

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE POSGRADO
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN



**APLICACIÓN DE MATERIALES AMIGABLES CON EL AMBIENTE,
SUSTITUTOS AL POLIESTIRENO EXPANDIDO PARA USO EN HIDROPONÍA**

**PRESENTACIÓN DEL TEMA DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

Por:

Evelin Alexandra Tamayo Gutiérrez

2018

LIMA- PERÚ

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darme la bendición y fortaleza para haber concluido con éxito este programa de doctorado, a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por abrirme las puertas y darme la oportunidad de seguir creciendo desde el punto de vista profesional y al Doctor Eulogio Santos por su guía y apoyo incondicional en los pasos dados a lo largo de estos años.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, ya que a pesar de la tristeza, la fortaleza de estar juntos nos llevará a realizar cosas importantes en la vida.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación problemática.....	1
1.1.1 El Poliestiretoreno expandido (EPS)	1
1.1.2 Utilización del poliestireno expandido en la hidroponía	3
1.1.3 Importancia de la propuesta de investigación	4
1.1.4 Novedad y originalidad de la propuesta de investigación	5
1.1.5 Interés y viabilidad de la propuesta de investigación	5
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Formulación del problema general.....	6
1.2.2 Formulación de problemas específicos.....	6
1.3 Justificación	7
1.3.1 Justificación teórica.....	7
1.3.2 Justificación práctica	8
1.4 Objetivos de la investigación.....	9
1.4.1 Objetivo general.....	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	11
2.1 Marco filosófico de la investigación.....	11
2.2 Antecedentes de la investigación.....	16
2.2.1 Estudios desarrollados sobre reemplazo del poliestireno por materiales biodegradables.	17
2.2.2 Propuestas en estudio	21
2.3 Bases teóricas	22
2.3.1 Poliestireno expandido.....	22
2.3.2 Micelio de hongos: Hongos <i>Pleurotus spp.</i>	23
2.3.3. Sustratos para crecimiento fúngico.	24
2.3.4 Ceras orgánicas.....	25

2.3.5 Arroz	27
2.3.6 Caña de azúcar.....	29
2.3.7 Coco.....	30
2.3.8 Banano.....	31
2.3.9 Palma aceitera	32
2.3.10 Procesos para la elaboración de aglomerados	33
2.3.11 Parámetros físicos de los materiales	35
2.3.12 Cultivos hidropónicos	36
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	39
3.1 Hipótesis	40
3.1.1 Hipótesis general:	40
3.1.2 Hipótesis específicas:	40
3.2 Identificación de variables.....	41
3.3 Tipo y diseño de la investigación	42
3.3.1 Población y muestra.....	42
3.4 Unidades de análisis	43
3.4.1 Evaluación 1: Fibras vegetales y micelio de hongo.	43
3.4.2 Evaluación 2: Arroz como aglutinante.....	43
3.4.3 Evaluación 3: Evaluación del material en campo.....	43
3.5 Operacionalización de las variables.....	44
3.5.1 Evaluación 1: Fibras vegetales y micelio de hongo	45
3.5.2 Evaluación 2: Arroz como aglutinante.....	50
3.5.3 Evaluación 3. Evaluación del material en campo.....	53
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1 Resultados evaluación 1: Fibras vegetales y micelio de hongo.	62
4.1.1 Evaluación de eficiencia biológica	62
4.1.2 Evaluación del material.....	64
4.2 Resultado evaluación 2: Arroz como aglutinante	66
4.2.1 Análisis resultados de almidón en arrocillo.....	67
4.2.2 Análisis resultados de sólidos hidrosolubles en arrocillo.....	68

4.2.3 Análisis de resultados de los aglomerados de fibra vegetal y arrocillo	70
4.3 Resultado Evaluación 3. Evaluación del material en campo.....	79
4.3.1 Análisis de resultados de las pruebas de dureza superficial con penetrómetro.....	79
4.3.2 Análisis de resultados de las pruebas de compresión	81
4.3.3. Análisis de resultados de las pruebas de resistencia a la flexión con carga transversal	85
4.3.4 Análisis de resultados de la evaluación microbiológica.....	87
4.4. Contraste de hipótesis	93
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	¡Error! Marcador no definido.....106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Contenido de almidón (n=5) en variedades de arrocillo.....	66
Tabla 4.2: Análisis de varianza de solidos hidrosolubles en el arrocillo (n=5).....	68
Tabla 4.3: Análisis de varianza de dureza en aglomerados (Kgf).....	70
Tabla 4.4: Dureza en Kgf de diferentes materiales.....	72
Tabla 4.5. Análisis de varianza de flexión con carga transversal en Kgf en aglomerados	73
Tabla 4.6: Tracción en N de diferentes materiales	74
Tabla 4.7: Análisis de varianza de los valores de la densidad de aglomerados.....	75
Tabla 4.8. Densidad en g/cm ³ de diferentes materiales.....	76
Tabla 4.9. Análisis de varianza de promedios de dureza del material	

flotante.....	78
Tabla 4.10. Análisis de varianza de valor de carga.....	80
Tabla 4.11. Análisis de varianza de fuerza media.....	82
Tabla 4.12: Análisis de varianza de resistencia media KN/m ²	83
Tabla 4.13: Análisis de varianza de pruebas de resistencia a la flexión con carga transversal. Carga [KN].....	85
Tabla 4.14: Análisis de varianza de muestras microbiológicas de mesófilos aerobios a los 15 días de cultivo.....	87
Tabla 4.15. Análisis de varianza de muestras microbiológicas de mesófilos aerobios a los 30 días de cultivo.....	88
Tabla 4.16 Análisis de varianza de muestras microbiológicas de E. coli / coliformes a los 15 días de cultivo.....	89
Tabla 4.17 Análisis de varianza de muestras microbiológicas de E. coli / coliformes a los 30 días de cultivo.....	90
Tabla 4.18: Análisis de varianza de la proliferación de mohos y levaduras a los 15 días de cultivo.....	91
Tabla 4.19. Análisis de varianza de la proliferación de mohos y levaduras a los 30 días de cultivo.....	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Composición química de la cera de carnauba.....	26
Cuadro 2.2. Composición química de la cera de abeja.....	27
Cuadro 3.1. Identificación de variables.....	42
Cuadro 3.2. Operacionalización de las variables.....	45
Cuadro 3.3. Diseño experimental de crecimiento del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> y <i>Pleurotus djamor</i>	47
Cuadro 3.4. Descripción de los tratamientos de estudio en campo.....	51
Cuadro 3.5. Descripción de los tratamientos de estudio en campo.....	53

Cuadro 3.3. Diseño experimental de pruebas en campo.....	58
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Código de identificación del poliestireno expandido.....	2
Figura 2.1. La coevolución del conocimiento, los valores, la organización social, la tecnología y los sistemas biológicos.....	15
Figura 2.2. Estructura del poliestireno.....	22
Figura 2.3. Descripción gráfica del ciclo de vida del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	23
Figura 2.4. Representación gráfica del cultivo hidropónico en agua profunda.....	37
Figura 2.5. Representación gráfica del cultivo hidropónico NFT.....	37
Figura 2.6. Representación gráfica del cultivo aeropónico.....	38
Figura 2.7. Cultivo hidropónico a raíz flotante.....	39
Figura 3.1. Incubación del sustrato inoculado con hongo <i>Pleurotus</i> en cámaras de estabilidad.....	48
Figura 3.2. Pruebas de dureza superficial con penetrómetro.....	54
Figura 3.3. Equipo para medición de resistencia a la compresión.....	55
Figura 3.4. Procedimiento de resistencia a la compresión.....	55
Figura 3.5. Equipo universal.....	56
Figura 3.6. Procedimiento de toma de datos flexión con carga transversal.....	56
Figura 3.7. Materiales de soporte desarrollados.....	57
Figura 3.8. Sistema de flujo continuo para siembra de lechuga.....	57
Figura 3.9. Siembra de lechuga en el sistema de recirculación.....	58
Figura 3.10. Análisis microbiológico del material de soporte.....	59
Figura 4.1. Eficiencia biológica del desarrollo del <i>Pleurotus</i> en diferentes sustratos.....	62

Figura 4.2. Promedio en gramos del contenido de almidón (n=5) en 100 gramos de arrocillo obtenida mediante Tukey	67
Figura 4.3 Promedio en gramos del contenido de sólidos hidrosolubles (n=5) en 100 gramos de arrocillo obtenida mediante Tukey	69
Figura 4.4 Promedio en Kgf de dureza superficial de aglomerados (n=5) obtenida mediante Tukey.....	71
Figura 4.5. Promedios de flexión con carga transversal (N) en aglomerados obtenida mediante Tukey	73
Figura 4.6 Promedio de densidad (g/cm ³) de los aglomerados obtenido con Tukey.....	76
Figura 4.7 Promedios de dureza de los materiales de soporte obtenidos con Tukey.....	79
Figura 4.8 Promedios de valor de carga KN obtenidos mediante Tukey.....	81
Figura 4.9 Promedios de valor de fuerza media KN obtenidos por Tukey.....	82
Figura 4.10 Promedios de valores de resistencia media N/mm ² obtenido por Tukey.....	84
Figura 4.11. Promedios de valores de resistencia a la flexión con carga transversal medidos en carga KN.....	85
Figura 4.12 Análisis funcional de mesófilos aerobios por el método de Tukey medido en Unidades Formadoras de Colonias (UFC).....	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Eficiencia biológica.....	46
Ecuación 2. Densidad.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos generales de resistencia a la flexión obtenidos de las pruebas mecánicas:.....	123
Anexo 2. Valores obtenidos por evaluación de dureza superficial por cada tratamiento propuesto:.....	126
Anexo 3. Valores obtenidos por evaluación de resistencia a la compresión por cada tratamiento propuesto.....	131
Anexo 4. Resumen de promedios de variables medidas en las propuestas de materiales.....	134
Anexo 5. Resultados de pruebas físicas. Universidad Salesiana.....	134

Resumen

El presente trabajo tuvo por objeto el generar alternativas ecológicas biodegradables que puedan ser utilizadas como sustituto al uso del poliestireno expandido en cultivos hidropónicos del sistema raíz flotante en la ciudad de Quito, Ecuador.

Se desarrolló un trabajo secuencial, de tipo exploratorio en dónde se evaluaron alternativas de materiales de soporte desde la producción de materiales en base a micelio de hongo en diferentes sustratos, hasta la elaboración de aglomerados con fibras vegetales y recubrimientos con ceras orgánicas.

Fue necesario también evaluar un material orgánico que sustituya el uso de aglutinantes artificiales como la urea-foraldehido que es el más utilizado en la industria, el mismo que se logró con el uso de arrocillo de la variedad INIAP15.

Las evaluaciones realizadas consistieron en la medición de las características mecánicas de las propuestas: dureza, resistencia a la flexión con carga transversal, resistencia a la compresión; y, además se evaluó la contaminación del material en campo durante el ciclo de cultivo de la lechuga: contaminación por mesófilos aerobios, mohos y levaduras, y *E. coli*/coliformes

Luego de realizar las pruebas de los materiales en campo se concluyó que el mejor material fue el elaborado a base de fibra del fruto de palma aceitera, aglutinado con arrocillo INIAP15 en proporción 60% - 40% respectivamente y con cobertura de cera carnauba.

Palabras clave: Poliestireno expandido, aglomerados, hidroponía, dureza, flexión con carga transversal, resistencia a la compresión.

SUMMARY

The objective of this work is to generate biodegradable ecological alternatives that could be used as a substitute for expanded polystyrene in hydroponic crops for the “floating root” system in the city of Quito, Ecuador.

For this investigation, a sequential exploratory work was developed. Support materials alternatives were evaluated from the production of materials based on mushroom mycelium in different substrates for the elaboration of agglomerates with vegetable fibres and coatings with organic waxes.

Additional this dissertation also assessed an organic material that replaces the use of artificial binders such as urea-formaldehyde, which is the most used in the industry. This was achieved with the use of arrocilla of the INIAP15 variety.

The carried-out evaluations consisted in the measurement of the mechanical characteristics of the proposals: hardness, tensile strength, resistance to compression. In addition, the contamination of the field material during the growing cycle of the lettuce was evaluated using the following parameters: contamination by aerobic mesophiles, moulds and yeasts, and *E. coli* // coliforms

After testing the resources in the field, it was concluded that the best material was made from the fiber of the oil palm fruit, agglutinated with INIAP15 arrocillo in 60% - 40% proportion respectively with carnauba wax coverage.

Keywords: Expanded polystyrene, agglomerates, hydroponics, hardness, tensile strength, compressive strength.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

1.1.1 El Poliestirestireno Expandido (EPS)

El poliestireno expandido (EPS), material desarrollado por Otis Ray McIntire en 1941 y consiste en un plástico espumado derivado del petróleo basado en la polimerización no reversible del estireno, el cual debido a sus características de resistencia, inocuidad y durabilidad es utilizado actualmente en el sector del envase y la construcción (Álvarez ,2006).

A diferencia de materiales como el PET, el poliestireno expandido es el material más contaminante para el ambiente. Su símbolo de clasificación para el reciclado está dado por el número 6, como se denota a continuación:



Figura 1.2. Código de identificación del poliestireno expandido

Fuente: Sociedad de la Industria de Plástico, 1988

Es importante considerar que su afección en el ambiente está correlacionado con la estabilidad que posee el material en el tiempo, es decir por la escasa capacidad de degradabilidad del mismo.

Este material causa daños irreparables cuando ingresa a ecosistemas marinos y acuáticos, genera afecciones de tipo mecánicos y biológicos para la fauna debido a que con frecuencia se encuentra poliestireno expandido en los intestinos de los animales y eso provoca bloqueos en sus sistemas y por consiguiente la muerte.

Los plásticos en general son materiales de gran difusión entre los consumidores, y se estima que su producción mundial aumenta anualmente un 5%; estimándose para el 2010, 265 millones de toneladas de desechos (Vaikathusseril , 2012).

Actualmente la creciente conciencia ecologista a nivel internacional trata de disminuir los impactos ambientales producidos por el hombre, esto ha generado que en los últimos años el EPS llegue a ser prohibido en más de 70 las ciudades en los Estados Unidos y Europa, mientras que en ciudades como Toronto y París el tema está en debate (Jiménez, 2015).

En Ecuador también hay iniciativas de políticas amigables con el ambiente, es así que desde el año 2014 se resolvió prohibir el uso de fundas plásticas y envases de poliestireno expandido en las Islas Galápagos, siendo la primera provincia ecuatoriana que adopta esta resolución debido a que no tiene capacidad suficiente para el tratamiento de residuos sólidos (Salvador, 2014).

En Quito, al año 2012 reporta la Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito (EMASEO EP), que se han desechado 16.6 toneladas de residuos de poliestireno expandido al mes (Castillo, 2014),

Los inconvenientes que impiden que los procesos de reciclaje del poliestireno expandido (EPS) sean eficientes son: El gran volumen que este material representa debido a su baja densidad, ya que el requerimiento de superficies, recursos para acopio y traslado tienen costos muy altos, por tanto su reciclaje no es redituable. Al tratar de reducir su volumen a través de la fragmentación, estas partículas son esparcidas al ambiente.

A nivel nacional, existe un manejo ineficiente de residuos sólidos y además no existe una cultura de disminución ni clasificación de los residuos por parte de la población. Sin embargo, con respecto al reciclaje, según la estimación de EMASEO EP, solo se reciclan 9,73% del total de desechos generados. Sin embargo, Ecuador actualmente no cuenta con plantas de reciclaje de poliestireno expandido, por lo que no se puede gestionar de manera local los procedimientos de tratamientos y reutilización del material (Castillo, 2012).

Los problemas asociados con el manejo de los residuos del medio ambiente, sobre todo la gran cantidad de productos plásticos desechables y el volumen limitado de instalaciones de rellenos sanitarios, ha dado énfasis en el desarrollo de productos biodegradables o reciclables para aliviar los problemas de eliminación de residuos (US Patent 4863655, 1989).

1.1.2 Utilización del poliestireno expandido en la Hidroponía

La hidroponía es la técnica de cultivo de plantas sin utilizar suelo, sino más bien materiales inertes o agua, en los cuales se prepara una solución sintética de nutrientes vitales para la planta (Izquierdo, 2003).

Existen varios métodos para cultivos hidropónicos, de los cuales el sistema de cultivo a raíz flotante es el más utilizado en la producción de hortalizas de ciclo

corto. Para este sistema de producción son empleadas como material de soporte planchas de poliestireno expandido que se encuentran suspendidas en el medio nutritivo acuoso durante el período total de la producción del vegetal. La condición de que el poliestireno expandido sea un material de larga vida y sus propiedades se mantienen inalterables durante varios ciclos de cultivos, hace que sea un material óptimo para este tipo de producción agrícola (Marulanda, 2003).

En Ecuador son limitadas las opciones que sustituyan al poliestireno expandido utilizado en este tipo de cultivo hidropónico y, las pocas alternativas existentes aún son derivados del petróleo.

Este trabajo de investigación busca y propone sustitutos al poliestireno expandido utilizado en la producción hidropónica de lechugas en sistema de raíz flotante, que cuente con propiedades físicas semejantes pero que sean amigables con el ambiente en el ámbito de biodegradabilidad, biocompatibilidad.

1.1.3 Importancia de la propuesta de investigación

En este contexto, se propone desarrollar, diseñar, adaptar e implementar variantes tecnológico-ingenieriles sustentables en Ecuador con materiales orgánicos y residuales de la industria agropecuaria de importancia económica del país, considerando como base conceptual la elaboración de aglomerados vegetales.

Se desarrollan y evalúan alternativas biodegradables para reemplazar

funcionalmente a materiales poliméricos (poliestireno expandido) en la producción hidropónica de vegetales de ciclo corto, reutilizando residuos agroindustriales vegetales de las producciones de importancia económica en el país, como materias primas con alto grado de biodegradabilidad por lo que, permitirán minimizar todo impacto ambiental a largo plazo, facilitándose los procesos de obtención y aplicación en condiciones locales.

Estas alternativas ingenieriles serán la pauta para nuevas investigaciones sobre materiales de reemplazo de los polímeros a base de petróleo, y puede ser aplicada en cualquier parte del mundo en dónde se realice la producción de vegetales hidropónicos de ciclo corto.

1.1.4 Novedad y originalidad de la propuesta de investigación

En la investigación se estudia determinar, diseñar y obtener nuevos materiales poliméricos naturales que sustituyan al poliestireno expandido, generados con aglomeración de residuos vegetales como materiales biodegradables aplicables a procesos de cultivos hidropónicos en condiciones sostenibles.

1.1.5 Interés y viabilidad de la propuesta de investigación

La factibilidad técnico-económica e ingenieril de la propuesta es altamente viable dada la simplicidad y flexibilidad operativa, recursos a emplear, gasto energético y escalabilidad para generar los materiales naturales a escala de laboratorio y artesanal, pudiendo proyectarse a futuro a escala masiva.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Formulación del Problema General

¿Qué relación existe entre la concentración de los elementos componentes y las propiedades mecánicas de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017?

1.2.2 Formulación de Problemas Específicos

¿Qué relación existe entre la concentración de los elementos componentes y la dureza de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017?

¿Qué relación existe entre la concentración de los elementos componentes y la resistencia a la compresión de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017?

¿Qué relación existe entre la concentración de los elementos componentes y la resistencia a la flexión con carga transversal de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación teórica

Los esfuerzos para disminuir la contaminación ambiental en todos sus ámbitos han tomado rumbo para convertirse en políticas de Estado y acuerdos internacionales, es el caso del protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo acuerdo es reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global, así mismo reducir el uso de productos derivados del petróleo cuyos residuos afectan el medio ambiente (ONU, 1998).

La importancia del presente estudio reside en proponer un aporte a las alternativas de producción más limpia, aprovechando racionalmente los recursos renovables naturales y además aportar al cumplimiento de las políticas ambientales de Ecuador que reconocen mediante Decreto Ejecutivo No. 1589 *“...que el principio fundamental es el compromiso para promover el desarrollo hacia la sustentabilidad y minimizar los riesgos e impactos negativos ambientales mientras se mantienen las oportunidades sociales y económicas del desarrollo sustentable”* (Mae, 2007).

En la actualidad, el Ecuador destina \$128 millones de dólares para sustentar la investigación y el desarrollo de tecnologías. Dentro de la inversión de recursos naturales se plantean varias alternativas como la utilización de residuos agroindustriales, investigación de metabolitos (moléculas), entre otros (Ramírez, 2014).

1.3.2 Justificación práctica

En este contexto, y considerando las condiciones objetivas del Ecuador, la justificación de la propuesta de investigación doctoral se centra en:

- La posibilidad de generar materiales de soporte celulósico-lignocelulósicos basados en residuales agropecuarios subutilizados, biodegradables en las condiciones de Ecuador y a escala de laboratorio.
- Aplicación de operaciones unitarias simplificadas (mínimo número de pasos) orientada a la sostenibilidad energética y máxima eficiencia de proceso.
- Aplicación de los materiales generados en procesos de hidroponía para ciclos cortos de cultivo y cosecha. Como propuesta se ha elegido a la producción hidropónica de lechuga, ya que es uno de los cultivos de importancia económica en cuanto al área alimenticia se trata, dejando abierta la posibilidad de la utilización del aglomerado vegetal generado, en cultivos de ciclo mayor de cultivo como: tomate, fresas, entre otros.
- La creación de nuevas ofertas de trabajo a nivel industrial de alternativas viables de reemplazo del poliestireno expandido, constituyendo un aporte importante a la responsabilidad civil y jurídica y el desarrollo sustentable económico, para una estabilidad económica para los agentes que intervienen en este proceso.
- La posibilidad de extender esta alternativa de producción de materiales a nivel internacional.

Con el fin de aportar con alternativas ecológicas y amigables con el ambiente, se pretende ofrecer el material generado como sustituto del poliestireno

expandido dentro de las producciones hidropónicas de sistema de raíz flotante en cualquier parte del mundo. Al desarrollar un material 100% biodegradable se reduce el riesgo de que al final de la cadena estos materiales terminen como contaminantes. Incluso pueden ser utilizados para enriquecer la tierra (Rodríguez, 2011).

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Determinar las relaciones entre la concentración de los componentes y las propiedades mecánicas de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la relación que existe entre la concentración de los elementos componentes y la dureza de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017.
- Determinar la relación que existe entre la concentración de los elementos componentes y la resistencia a compresión de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos

al poliestireno expandido en Quito en el año 2017.

- Determinar la relación que existe entre la concentración de los elementos componentes y resistencia a la flexión con carga transversal de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Filosófico de la investigación

Arano (2007) describe dentro de su obra: *Hidroponía: algunas páginas de su historia*, el rastreo de la información para el desarrollo de las ciencias agrícolas, desde la primitiva teoría atómica de Demócrito (460 – 360 AC), quien busca una explicación a los fenómenos naturales basado en los principios básicos. Y hace referencia además de premisas que sugieren a Demócrito como "el padre de la ciencia moderna".

Inconscientemente desde el principio, los seres humanos, en su propia necesidad de sobrevivir, comenzaron por a mejorar las condiciones naturales para el desarrollo de las plantas.

Longar (2014) hacen referencia también a Aristóteles y su discípulo Teofrasto, quienes plasmaron sus ideas sobre el control del crecimiento de vegetales y los factores que lo inducían. Menciona que Teofrasto incluso llegó a proponer algunas curas para mejorar los cultivos.

Una de las obras más importantes de este discípulo de Aristóteles fue su famoso libro *Sistema Naturae*, y entre los más representativos trabajos fue la

primera clasificación sistemática de las plantas basada en sus propiedades médicas. Debido a todos estos estudios, Teofrasto es a menudo considerado el "padre de la botánica" (Longar, 2014).

Bunge (2007) hace referencia a ciertos datos ejemplares de la indagación de la realidad, y en él se expresa las incesantes interrogantes de cómo se ha llegado a una actualidad tan diferente como la que se vive ahora. Describe cómo los científicos y tecnólogos se proponen descubrir cómo funcionan las cosas, cuáles son sus mecanismos o *modi operandi*.

En la búsqueda de las raíces de la producción hidropónica es importante resaltar los conocimientos ancestrales que muchas culturas desarrollaron a través de los tiempos.

Es así que varias publicaciones hidropónicas aceptan como antecesoras de estas técnicas a tres lugares importantes: los lagos de Kashmir, en donde poblaciones indias habrían cultivado hortalizas en lugares arenosos y secos utilizando irrigación y en sus aguas utilizaban estiércol para beneficiar a las plantas, los Jardines Colgantes de Babilonia y los métodos de cultivos Aztecas mediante la elaboración de chinampas en el lago Xochimilco de México (Arano, 2007).

La palabra hidroponía deriva del griego ὑδωρ [*hýdōr*]: agua; πόνος [*ponos*]: trabajo, labor; lo cual en conjunto indica el trabajo en el agua Beltrano (2012).

Existen fuentes que mencionan como precursor de la hidroponía al geólogo John Woodward, quien en 1699 logra cultivar plantas en medio líquido al que había añadido diferentes cantidades de suelo (Vega, 2010).

Arano (2011) menciona que los científicos alemanes Carl C. Sprengel y Justus von Leibig realizan investigaciones sobre la nutrición de las plantas y publican

en los resultados de sus investigaciones definiendo 15 elementos químicos como importantes para el crecimiento de las plantas, y establece que el suelo aporta solo compuestos solubles e inorgánicos, además del soporte de las plantas.

En 1929, W.F. Gericke, profesor de la Universidad de California publica un artículo denominado: "*Acuacultura, un medio de producción de cosechas*", el cual brinda un aporte importante al desarrollo actual de este tipo de producción sin suelo, es así que Gericke es catalogado como el padre de la hidroponía moderna (Arano 2011).

Aun cuando la agronomía es considerada la disciplina de la cual se deriva la hidroponía, esta tecnología ha recibido sin duda alguna, influencia de la agroecología la cual abarca ideologías del ambientalismo y de los estudios ecológicos (Altieri, 1999).

En los años 60-70 inicia un movimiento ambientalista que critica de manera importante la producción agrícola convencional, asuntos relacionados con los recursos, englobando los problemas de contaminación en estos procesos agro productivos (Altieri,1999).

La perspectiva Maltusiana, es crucial en este estudio epistemológico, ya que es imprescindible acotar que esta teoría, la cual se basa en la teoría demográfica, económica y sociopolítica desarrollada por Thomas Malthus (1766-1834), explica que "crecimiento poblacional responde a una progresión geométrica, mientras que el ritmo de aumento de los recursos para su supervivencia lo hace en una progresión aritmética" (Altieri,1999).

El rendimiento de la producción agrícola se obtiene a costa de numerosos gastos, que incluyen insumos, combustibles fósiles y el agua.

La hidroponía encaja dentro de los asuntos tecnológicos que requieren prácticas agrícolas autosuficientes y sustentables frente al medio ambiente, y su congruencia con el desarrollo y protección tanto ambiental como participativa con perspectivas filosóficas.

Altieri (1999) explica que existen varias premisas filosóficas que respaldan el estudio y avance de la agricultura en todas sus etapas evolutivas. Dentro de la agricultura convencional menciona que sus avances tecnológicos están de la mano con el atomismo, el mecanicismo, el universalismo y el objetivismo.

Sin embargo Longar (2014) hacen un análisis interesante en dónde indica que en la actualidad, se encuentra muy cuestionada la aplicación de dichas bases filosóficas ya que los aportes desarrollados carecen de un sentido holístico de la agricultura en la que debería incluir al agricultor como actor de estos procesos productivos.

Altieri (1999) coincide con este punto de vista y presentan premisas alternativas intuitivas y cercanas al sentido común, las mismas que contrastan radicalmente con las premisas dominantes, y por tanto, su aplicación en los temas de investigación y avance de la tecnología agrícola se ven mayoritariamente inmersos.

En la figura 2.1 se presenta un esquema gráfico del desarrollo como un proceso co-evolucionista holístico.

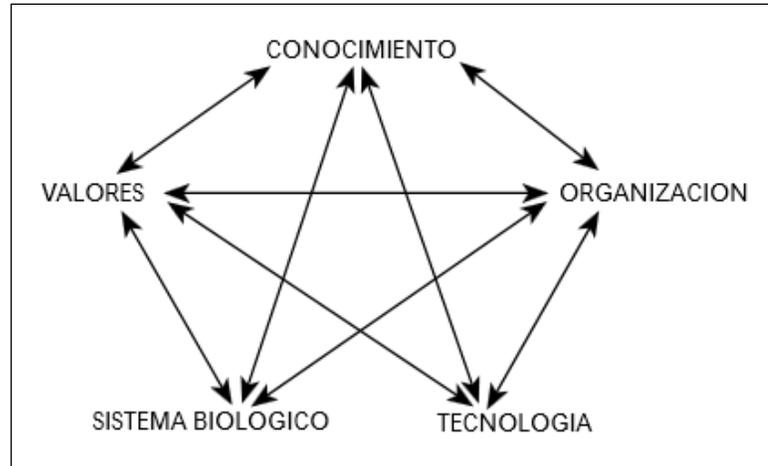


Figura 2.1. La coevolución del conocimiento, los valores, la organización social, la tecnología y los sistemas biológicos

Fuente: Datos tomados de Altieri (1999)

Cuando se trabaja en una investigación experimental, el método utilizado en la está sustentado con el método científico, de dónde el primer paso es la observación de los fenómenos que se presentan, mientras que la experimentación es la constatación de los fenómenos generados por el investigador.

Bernard considera que la observación muestra y la experiencia instruye. Tanto para la observación como para la experiencia realiza una clasificación en activa y pasiva, en dónde recalca que la experimentación pasiva es aquella en la que el investigador constata fenómenos que ha provocado artificialmente y en la activa considera los efectos que aunque no fueron planificados sucedieron.

2.2 Antecedentes de la investigación

Es difícil imaginar la vida moderna sin plásticos y es indiscutible que el avance en la tecnología de dichos materiales ha traído innumerables beneficios a la humanidad. Esos avances tecnológicos han vuelto la vida moderna mucho más confortable, dado que se han reemplazado materiales tradicionales como madera, vidrio, gomas y fibras naturales por polímeros sintéticos, más resistentes y versátiles. Por otra parte, la mayoría de los plásticos han sido diseñados para ser resistentes a todo tipo de degradación. Resulta evidente que a la hora de deshacerse de ellos, los ecosistemas resultan seriamente dañados (Giusti, 2005).

El poliestireno expandido (EPS), material constituido de carbono e hidrógeno en ausencia de grupos polares, constituye un material muy estable al estar en contacto prolongado con agua, pese a que el agua presente un medio básico o ácido (ANAPE, 2003).

Considerando todos los beneficios del material y su amplia adaptabilidad al trabajo, es necesario preguntarse por qué se realizan esfuerzos para reemplazar el material.

Según lo explica Giusti (2010), “el poliestireno no sólo utiliza sustancias cancerígenas en su producción, como el benceno, sino que requiere cloro-fluoro-carbonos (CFC), e hidro-cloro-flúor-carbonos (HCFC)”, constituyendo moléculas pueden durar hasta 150 años en la atmósfera, repercutiendo nocivamente a la capa de ozono.

En la composición del poliestireno expandido, es común encontrar al HBCD (hexabromo ciclo decano), el mismo que se emplea como aditivo

pirorretardante.

Según el Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes de la Séptima reunión Ginebra, desarrollada en octubre de 2011, explica sobre la evaluación de riesgos del hexabromociclododecano; este pirorretardante bromado disponible en el mercado es un material lipofílico y tiene una alta afinidad por la materia particulada y baja solubilidad en agua, y ha suscitado la atención de diversos foros internacionales sobre el medio ambiente y la comunidad académica por ser un contaminante preocupante en varias regiones.

El HBCD es muy tóxico para los organismos acuáticos. Diversos estudios han demostrado que afecta la reproducción, el desarrollo y el comportamiento de los mamíferos, y que algunos de esos efectos inclusive son transgeneracionales (Naciones Unidas, 2011).

Nuevos estudios de la toxicidad inducida por el HBCD cabe mencionar la mayor comprensión del potencial del HBCD de interferir con el eje hipotalámico hipofisario tiroideo (HHT), su posible capacidad de alterar el desarrollo normal, afectar el sistema nervioso central e inducir efectos reproductivos y en el desarrollo (Naciones Unidas, 2011).

2.2.1 Estudios desarrollados sobre reemplazo del poliestireno por materiales biodegradables.

El auge de las investigaciones desarrolladas con el fin de reemplazar los materiales poliméricos derivados de materias primas no renovables, se ha incrementado, siendo muchas las propuestas desarrolladas, desde el manejo de microorganismos hasta el manejo y reciclaje de materiales, aunque la

mayoría aún no son propuestas comerciales.

- Greensulate

En 2007, Eben Bayer y Gavin McIntyre inician sus proyectos de obtención de materiales orgánicos a partir del micelio de hongo para obtener materiales rígidos de manera rápida y económicamente viable. Los hongos son organismos vivos que poseen velocidad de crecimiento y su capacidad de utilizar cualquier fuente de nutrientes de origen orgánico, ricos en lignina como medio de alimentación (Illana, 2014).

Bayer y McIntyre presentan su propuesta como “Method for producing grown materials and products made thereby” (US 20080145577 A1), y con el éxito de estos materiales, han presentado hasta la fecha más de dieciséis patentes de la técnica de producción de materiales a base de hongos, entre los cuales se destacan: fabricación de productos de soporte (US 20140069004); fabricación de paneles (US20130224840); métodos de desarrollo de materiales a partir de micelio deshidratado (WO/2012/148995A1), entre otros (Illana, 2014).

La metodología de sus trabajos se basa en el crecimiento y desarrollo vegetativo de hongos filamentosos, los cuales desarrollan hifas sobre materiales lignocelulósicos, formando una red fúngica entre el micelio y el sustrato, la misma que genera materiales compactos considerando que la pared celular del hongo está compuesta por quitina y proporciona resistencia. Luego de un proceso de secado, se puede obtener materiales rígidos, de baja densidad que pueden reemplazar funcionalmente a materiales derivados del petróleo como el poliestireno expandido (Illana, 2014).

La empresa Ecovative Design fundada por estos investigadores, actualmente trabajan con convenios de producción en diferentes empresas como: Puma®, Ford, Crate & Barrel entre otras, quienes adquieren estos materiales para

utilizarlos como protectores de embalajes en el proceso de transporte de productos manufacturados, e incluso se han sumado empresas de la construcción quienes adquieren materiales como paneles aislantes térmicos y de sonido. Estos materiales han sido bautizados como Greensulate (Illana, 2014).

Según los datos que presenta Ecovative Design, Greensulate consume la décima parte de la energía y de emisiones de dióxido de carbono que el poliestireno expandido, y se considera además que si los paneles a base de derivados de petróleo fueran reemplazados por paneles de Greensulate, las emisiones de CO₂ se alcanzarían a reducir una cantidad aproximada de 25.000.000 kg en dos años (Illana, 2014).

El beneficio de estos materiales es que son biodegradables y no son nocivos para el medio ambiente, pueden desintegrarse fácilmente en el contacto con agua y una vez cumplida su función puede ser utilizado como fertilizante orgánico para el suelo.

- Polímeros traslúcidos

Javier Fernández, científico de la Universidad de Harvard, propone un material polimérico traslúcido, basado a las características de la cutícula de los insectos, y la ha nombrado Shrilk (Aradas, 2013).

El Shrilk que está compuesto de quitosano (desacetilación parcial de la quitina), y de fibroína, es un material biocompatible, biodegradable y micromoldable (Ashley, 2013).

En el año de 2013, Fernández demostró cómo la quitina puede ser utilizada como base para reproducir compuestos naturales complejos como la cutícula de los insectos. Pudo reproducir un compuesto considerado natural-artificial

mediante el diseño jerárquico y biomoléculas, obteniendo un material con propiedades mecánicas de alta resistencia similar a la de una aleación de aluminio a la mitad de su peso; más tarde demostró que estos materiales pueden ser modificados y dirigidos hacia la fabricación de objetos tridimensionales de quitina de manera sostenible.

El Shrilk dentro del ámbito científico es considerado un material de importancia a futuro, es así que la revista Scientific American lo cataloga como "uno de los materiales que cambiarán el futuro de la fabricación" (Ashley, 2013), National Geographic lo menciona en su artículo "Supermateriales" (Williams, 2013), y la revista The Guardian ha elegido al material, conjuntamente con el grafeno y los metamateriales, como uno de los "cinco materiales que podrían cambiar el mundo" (Sample, 2014).

- Polímeros a partir de *Bacillus megaterium uyuni* S29

La investigación sobre elaboración de materiales orgánicos sustitutos a los plásticos convencionales se han centrado también a nivel microscópico, es así que se ha estudiado la morfología celular durante el proceso de biosíntesis del *Bacillus megaterium uyuni* S29, microorganismo que habita en los "ojos de agua" del salar de Uyuni, en el sur de Bolivia (Aradas, 2013).

Esta bacteria es la responsable de la elaboración de Poly-3-hidroxi-butirato (PHB) perteneciente al grupo de polihidroxialcanoatos que son poliésteres lineales producidos mediante el proceso de fermentación de azúcares, utilizados en la producción de biopolímeros pudiendo conformar plásticos naturales biodegradables (Rodríguez, 2013).

Este tipo de plástico es utilizado en las industrias alimentaria y farmacéutica para producir nanoesferas para transportar antibióticos (Redrobit, 2013).

Para el 2014 continúan en las investigaciones de industrialización de estos compuestos tratando de disminuir los costos de producción, los cuales limitan esta propuesta a escala de laboratorio.

- Polímero a partir de almidones vegetales

Jurgen Denecke, científico de la Universidad de Leeds en Reino Unido, desarrolló bases químicas de polímeros a partir de *Solanum tuberosum*, mediante la fermenta del almidón para lograr alcohol y proteína. Básicamente es una resina desarrollada a partir de calor y presiones controladas de los materiales fermentados (Smink, 2010).

Ruiz (2005) investigadora de la Universidad de Medellín propone un polímero biodegradable en base a diferentes mezclas de almidón modificado de yuca con glicerina como plastificante y agua, procesadas de manera artesanal un molino abierto, generando tiras de espesor reducido que luego pasan al proceso de cortado y molienda para obtener escamas de pequeña longitud, las cuales mediante presión y temperaturas específicas logran un ordenamiento de las moléculas de tal forma que sus características físicas sean comparables con las del plástico convencional.

2.2.2 Propuestas en estudio

Con el objetivo de potenciar e implementar estrategias ecológicamente sustentables con menor impacto energético y máximo aprovechamiento de residuales agropecuarios, en los últimos años se han desarrollado procesos tipo tecnología para la elaboración de aglomerados vegetales como materiales de soporte.

2.3 Bases Teóricas

Como bases teóricas aplicativas al estudio fueron consideradas las siguientes: poliestireno expandido, micelio de hongos, ceras orgánicas, fibras vegetales, residuos agroindustriales, y procesos de elaboración de aglomerados.

2.3.1 Poliestireno Expandido

El poliestireno expandido EPS, es un material proveniente de los hidrocarburos con radicales aromáticos, de característica rígida, fabricado a partir perlas pre expandidas de poliestireno. Presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire (ANAPE, 2011), y su estructura química se presenta en la figura 2.2.

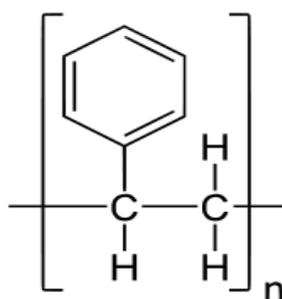


Figura 2.2. Estructura del poliestireno

Fuente: Datos tomados de Ossa (2009)

2.3.2 Micelio de Hongos: Hongos *Pleurotus* spp.

Estos hongos comestibles se encuentran distribuidos a nivel mundial. Es conocido como setas y que su uso ha sido principalmente en alimentación y medicina. A partir del año de 1917 en Alemania se promueven a investigaciones para la producción en sustratos artificiales. (Job, 2004).

Los hongos pertenecen reino Fungi, y su descripción taxonómica es la siguiente:

Reino: Fungi

Filo: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Agaricales

Familia: Pleurotaceae

Género: *Pleurotus*

Especies: *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*,

Una descripción gráfica del ciclo de vida del *P. ostreatus* se la puede observar en la figura 2.3.



Figura 2.3. Descripción gráfica del ciclo de vida del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Fuente: Tomado de Hernández (2007).

El cultivo del hongo *Pleurotus spp*, también conocido como hongo ostra, se ha incrementado de manera exponencial por su fácil adaptación, bajos costos de producción y por su potencial alimenticio y medicinal.

Posee enzimas celulósicas que ayuda a la degradación de nutrientes del medio donde se desarrollan que, generalmente son residuos madereros y desechos agroindustriales (García, 2006).

2.3.3. Sustratos para crecimiento fúngico.

Son considerados sustratos para crecimiento fúngico a cualquier material de textura sólida que difiere al suelo pudiendo ser orgánico o mineral, que permite el crecimiento y nutrición del hongo (Pastor, 2000). Específicamente para el cultivo del hongo ostra el sustrato que se utiliza es de desechos agroindustriales, por su alto contenido de nutrientes que favorecen para su fructificación (Pérez, 2005).

El cultivo de *Pleurotus spp* está dado generalmente bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y pH, además de los polisacáridos para su nutrición:

- Temperatura entre 10°C y 23 °C
 - Humedad entre el 50% y 80%
 - Rango de pH de 5,5 y 6,5
 - Polisacáridos: entre 60% y 70% de celulosa y hemicelulosa
-
- Sustratos de cáscara de café (*Coffe acanephora*):

El exocarpio del fruto del café, actualmente considerado como producto residual de la producción de café, ha sido utilizado como elemento idóneo para la producción de hongos, debido a la presenta altas cantidades de compuestos fenólicos los cuales permiten acelerar el metabolismo de la absorción de nutrientes (Garzón, 2008).

- Sustratos de hoja de plátano (*Musa paradisiaca*):

Las hojas de plátano son usadas en las industrias química y medicinal, para la extracción de látex destinado al tratamiento de aftas y fuegos bucales (Moran, 2011). La hoja de plátano es utiliza ampliamente en el campo de producción de hongos alimenticios ya que contiene concentraciones de fibra importantes que oscilan entre 40%-45%, cumpliendo con los requerimientos del cultivo (Granda, 2005).

- Sustratos de tamo de cebada (*Hordeum vulgare*) :

El tamo de cebada, constituido por los tallos de la gramínea, posee propiedades nutricionales que son propicias para el crecimiento de hongos por su contenido de polímeros y carbono importantes: 25% de hemicelulosa, 8% de lignina y 0,2% de cutina, componentes importantes en el desarrollo de la fase micelial del hongo. Se menciona además que el tamo de cebada es empleado para control del crecimiento de algas debido a que en su proceso de degradación libera cantidades sustanciales de carbono que afectan la propagación de las mismas (Newman, 2015).

2.3.4 Ceras orgánicas

Las ceras son macromoléculas pertenecientes al grupo de los lípidos y al subgrupo de las grasas por la forma sólida que presenta. Son materiales con puntos de fusión altos dentro de su categorización y con características

hidrofóbicas. Pueden ser de origen inorgánico, animal o vegetal, y se obtienen mediante la esterificación entre ácidos carboxílicos (ácido graso) y alcoholes monovalentes lineales de cadena larga (Gómez, 2011).

- Cera de carnauba

Obtenida de las hojas de la palma *Copernicia prunifera* originaria de Brasil. Ampliamente utilizada en la cosmetología, industria alimenticia como material de recubrimiento de alimentos y además de uso medicinal. Una de las características de esta cera es que posee un punto de fusión elevado (Excipients, 2009).

La fórmula química es $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{COO}-\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_{28}-\text{CH}_3$ y su composición se presenta en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.4. Composición química de la cera de carnauba

Compuesto	Porcentaje
Ésteres de ácidos grasos	80% a 85%
Alcoholes grasos	10% a 15%
Ácidos	3% a 6%
Hidrocarburos	1% a 3%
Dioles esterificados grasos	20%
Ácidos grasos hidroxilados	6%
Ácido cinnámico	10%

Fuente. Datos tomados de Excipients (2009).

- Cera de Abeja

Esta cera es llamada también cera blanca o cera virgen, es un producto graso

secretada por las glándulas ventrales de la abeja, y se sintetiza como una reducción de azúcares de origen alimenticio. Es utilizada para fines medicinales e industrialmente para cosmetología, recubrimiento de alimentos, placas base entre otros (Guanin, 2006).

Cuadro 2.5. Composición química de la cera de abeja

Compuesto	Porcentaje
Monoésteres	35%
Hidrocarburos	14%
Diésteres	14%
Ácidos libres	12%
Hidróxidos poliésteres	8%
Hidróxidos monoésteres	4%
Triésteres	3%
Ácidos poliestéricos	2%
Ácidos estéricos	1%
alcoholes libres	1%
materiales sin identificar	6%

Fuente. Datos tomados de Guanin (2006).

2.3.5 Arroz

El arroz (nombre científico: *Oryza sativa*) es una gramínea alimenticia ampliamente distribuida alrededor del mundo, existen aproximadamente 24 variedades cultivadas para consumo humano. Junto con el trigo están consideradas como los cereales de mayor utilización en la industria alimentaria (Acevedo, 2006).

Se considera un consumo mundial de arroz es de 58 kg/hab/año con un crecimiento anual promedio de 2,5% (Mendez, 2008). La composición nutricional del arroz se presenta en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.6. Composición química del arroz

Compuesto	Porcentaje
Proteína	6,7% a 8,3%
Lípidos	2,1% a 2,7%
Fibra cruda	8,4% a 12,1%
Cenizas	3,4% a 6,0%
Almidón	62%
Fibra dietaria	19%

Fuente. Datos tomados de López (2012).

En el proceso de pilado del arroz se pueden obtener subproductos como el arrocillo, el germen y la cascarilla, materiales que son utilizados en la elaboración de alimentos balanceados para animales, extracción de almidón, y también dentro de la industria cosmética para la producción de aceites y cremas (Mendez, 2008).

En Ecuador se han desarrollado variedades de arroz de alto rendimiento, adaptadas específicamente a las condiciones climáticas y edafológicas de las zonas costeras. La entidad dedicada al mejoramiento genético del arroz en Ecuador es el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), el mismo que capacita a los productores sobre estas nuevas semillas y se estima que ha existido un crecimiento en el uso de semilla certificada por parte de los productores de un 20% para el año 2015.

Entre las variedades más cultivadas en la costa ecuatoriana están INIAP 9, INIAP 14 e INIAP 15. (Barona, 2015).

- Almidón de arroz

El almidón es un polisacárido constituido por amilopectina y amilosa, el cual sirve de reserva energética y que es generado únicamente por plantas. Este compuesto orgánico tiene propiedades de insolubilidad en agua, sin embargo al estar en contacto con ella, el almidón es dispersado y forma suspensión (López, 2012).

El almidón de arroz contiene una composición microscópica de gránulos poliédricos de aproximadamente 3-8 μ de diámetro, los cuales, al contacto con el ambiente húmedo pueden endurecerse. Posee también presencia de formaldehído en su estructura, lo que le provee de una condición bactericida (López, 2012).

El arrocillo presenta un comportamiento de gelificación, mediante el cual, al modificar la cantidad de humedad y temperatura interna, produce una pasta por el hinchamiento de los gránulos de almidón y la disolución de la amilosa, proveyendo una alta viscosidad. (Ramírez, 2015).

2.3.6 Caña de azúcar

Nombre científico: *Saccharum officinarum*. En Ecuador es considerada uno de los cultivos con mayor impacto social, generador de fuentes de trabajo para la población rural principalmente. El último censo agropecuario realizado en el año 2010, refleja que el Ecuador se encuentran sembradas 110 mil hectáreas

de caña de azúcar, de las que el 70% son destinadas para la producción de azúcar y el resto lo dedican a la producción de panela, alcohol y biocombustibles (Pilco, 2015).

Dentro del proceso de obtención del sumo de la caña, se estima que del total del peso del tallo que entra a la extracción, el 20% corresponde al bagazo, constituyendo el principal subproducto de este proceso industrial (Roca, 2012).

- Bagazo de la caña de azúcar

Este subproducto se caracteriza por tener dos tipos de estructuras: una fibrosa, compuesta principalmente por tejido vascular y células cilíndricas, y otra de tejido blando compuesta de células parenquimáticas.

El residuo fibroso es utilizado en la industria azucarera como combustible de calderas dentro del propio proceso de industrialización del azúcar, de dónde las cenizas son utilizadas como abono para los suelos. Además, se está iniciando la producción de papel blanco, como reemplazo del papel obtenido por el cultivo de eucalipto. Dentro del campo de la farmacéutica, se está utilizando la fibra de caña de azúcar para la elaboración de píldoras para el colon (Arango, 2014).

La parte blanda conocida como “meollo”, por su característica de porosidad, puede absorber hasta 20 veces su peso en agua (Roca, 2012).

2.3.7 Coco

Nombre científico: *Cocos nucifera*, produce un fruto rico en grasa, es así que su

producción está siendo destinada a la elaboración de aceites Por otro lado, en la industria alimenticia, es aprovechado el agua interior y el endocarpio carnosos (Tomala, 2015).

En el Ecuador, el coco es producido en las regiones costa y oriente en donde existen condiciones óptimas para su cultivo, estimándose una producción aproximada de 3500 toneladas/año, las cuales cubren la demanda interna del fruto y además se están iniciando exportaciones del fruto principalmente a Estados Unidos (Tomala, 2015).

El coco es un cultivo del que se puede aprovechar en su totalidad: la palma sirve como materia prima para la construcción de muebles, las hojas para la elaboración de techos de las viviendas rurales, las raíces tienen un uso medicinal y el fruto es aprovechado en la industria alimenticia y cosmética o para la elaboración de carbón activado (Quintanilla, 2012).

- Estopa de Coco

Constituye el exocarpio del fruto, está constituido de fibra de gran dureza formadas por lignina y celulosa. Este material ha sido utilizado en la elaboración artesanal de cuerdas, colchones, entre otros, además en el área agrícola es utilizada para el mejoramiento y elaboración de sustratos por sus condiciones de bajo peso, pH entre 5,5 y 6,5, y su gran capacidad de retención de agua (Quintanilla, 2012).

2.3.8 Banano

Nombre científico: *Musa paradisiaca*. De origen asiático y actualmente cultivado Sudamérica y Centroamérica (ProEcuador, 2015).

El banano es el principal producto de exportación agrícola de Ecuador, y se estima que existe un crecimiento del cultivo del 4% anual, lo que ha colocado al país como el principal exportador del producto. Las principales exportaciones del banano ecuatoriano son a Estados Unidos, Rusia y Europa (MAGAP, 2015).

El banano es un cultivo aprovechable al 100%, es así que el fruto destinado en a la alimentación humana y animal (Padilla, 2013). Las hojas son utilizadas en la preparan platos típicos. La característica fibrosa del pseudotallo son destinados como abono para mejoramiento de los suelos, y como materia prima para la elaboración de artesanías (Morreira, 2013).

- La fibra del banano

Material constituido por lignina y celulosa, su mayor cantidad se encuentra en el pseudotallo de la planta, en la actualidad no tiene un uso industrial extensivo, por lo que se ha limitado a formar parte de la nutrición del suelo, en dónde se lo incorpora una vez que termina la cosecha del fruto (Manrique, 2012).

2.3.9 Palma aceitera

Nombre científico: *Elaeis guineensis*. Perteneciente al grupo de plantas oleaginosas, de la cual se obtiene un fruto con alto contenido de aceite, que es de uso alimenticio (Martín, 2017).

En Ecuador se estima que existen actualmente alrededor de 280.000 hectáreas sembradas (Agronegocios, 2016).

- Fibra de palma aceitera

La fibra de la palma constituye el exocarpio del fruto y se obtiene luego del

proceso industrial de extracción del aceite. Su composición está dada por: 69% de celulosa, 16% de lignina, 7% de grasas, 4,24% de cenizas y 4% de pentosanos (Escuela Politécnica Nacional, 2012).

Su utilización está dada hacia la generación de abonos para los cultivos y como combustible para las calderas que alimentan a las propias extractoras de aceite.

De manera experimental se ha estudiado la resistencia y viabilidad al utilizarlo como material de construcción en mezcla con el cemento, del cual se han obtenido favorables resultados en cuanto a tiempo de fraguado y resistencia del material (Joo-Hwa, 1995).

2.3.10 Procesos para la elaboración de aglomerados

El término aglomerado, procede del verbo aglomerar que significa reunir elementos o trozos. Un aglomerado está constituido por la compactación de diferentes partículas con el uso de materiales aglutinantes que cumple la función de pegamento, luego de lo cual, la estructura obtenida es sometida a tratamientos de presión y temperatura, con el fin de crear enlaces fijos entre los elementos constituyentes, formando una estructura sólida (Contreras, 1999).

Los proceso para la elaboración de tableros aglomerados a base de fibras de madera, fueron utilizados para la elaboración de los materiales de soporte para uso en hidroponía en el presente estudio, los cuales se los describe a continuación:

- Recolección y preparación del material

Los materiales fibrosos utilizados para la elaboración de aglomerados son recolectados y tratados, de acuerdo a su naturaleza, para disminuir al mínimo el porcentaje de humedad que pueda contener, y eliminar cualquier residuo extraño o diferente al de la fibra seleccionada.

- Proceso de astillado

Una vez limpia y seca la fibra, pasa al proceso de astillado el mismo que consiste en la reducción del material a partículas pequeñas mediante corte con cuchillas.

- Secado

El material astillado es sometido a secado mediante corrientes de aire caliente, con el fin de eliminar la humedad al máximo.

- Adhesivo

En este paso se pulveriza la viruta con resinas de urea formaldehído, y se mezcla hasta obtener un producto homogéneo.

- Proceso de formación

El material homogéneo es colocado en planchas extensas formando mantas de mayor grosor que el material final.

- Prensado

Al llegar a este paso, la mata es pre-prensada en frío, posteriormente pasa por unos rodillos calientes que reducen su grosor paulatinamente y va fraguando el pegamento del material por efecto de la temperatura.

- Enfriado

Finalmente el material entra en un proceso de enfriamiento que ayuda a la estabilización del aglomerado, previo al corte a la medida según la necesidad.

2.3.11 Parámetros físicos de los materiales

Los parámetros físicos en los que se basó esta investigación fueron: dureza, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión con carga transversal.

- Dureza:

Como concepto, la propiedad de dureza es “la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras” (Zünkler, 2003).

- Resistencia a la Compresión

Se describe como “el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento”, definida también como “la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria”. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta (Zünkler, 2003).

- Resistencia a la flexión con carga transversal

Se denomina flexión con carga transversal o tracción “al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular

a su eje longitudinal” (Zünkler, 2003).

2.3.12 Cultivos hidropónicos

Los cultivos realizados sin suelo, denominados cultivos hidropónicos son cultivos de alto rendimiento con optimización de espacios. La FAO conjuntamente con la Oficina de Programas de Naciones Unidas para el desarrollo en Santiago de Chile, inician con la difusión de esta tecnología con la finalidad de generar empleo y mejorar la seguridad alimentaria local (FAO, 2003).

Los métodos de cultivos hidropónicos más difundidos a nivel mundial son: Cultivo en agua profunda, cultivo en película de nutrientes (NFT), aeroponía y cultivo a raíz flotante.

- Cultivo en agua profunda

Este sistema conocido como sistema burbujeador, utiliza recipientes de capacidad entre 10 y 50 litros, sobre los cuales se encuentran materiales de soporte, generalmente de poliestireno expandido, que no tienen contacto directo con el agua pero que sostienen a la planta de tal forma que permite que la raíz tenga contacto directo con la solución nutritiva. Este método de cultivo es esquematizado en la figura 2.4 a continuación:

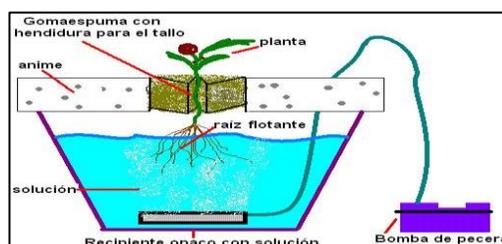


Figura 2.4. Representación gráfica del cultivo hidropónico en agua profunda.
Fuente. Tomado de García (2012)

- Cultivo hidropónico en película de nutrientes

Conocido como NFT (System Nutrient Film Thecnic), consiste en un sistema construido a base de tubos PVC, los cuales permiten tener una circulación continua de una fina lámina de solución nutritiva que se encuentra en contacto con las raíces del cultivo en un sistema de tipo cerrado (INCAP, 2006). La figura 2.5 es la representación gráfica del sistema NFT.

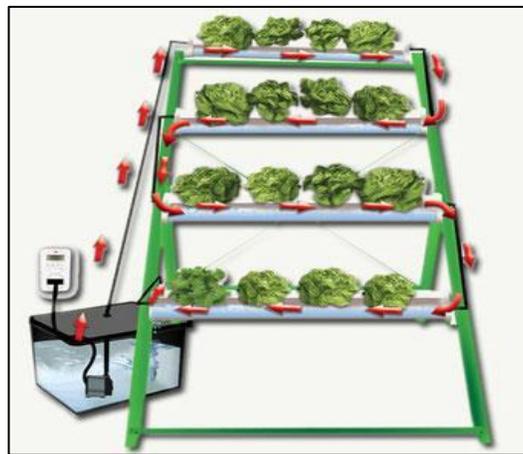


Figura 2.5. Representación gráfica del cultivo hidropónico NFT.

Fuente: Tomado de García (2012).

- Aeroponía

Este sistema consiste en el cultivo plantas en entornos cerrados de manera que las raíces cuelguen internamente, las cuales son expuestas a un microambiente con humedad relativa alta. En este método se rocía la solución acuosa nutritiva directamente a las raíces por medio de un spray o una niebla (Radicalnutrients, 2016), como se presenta en la figura 2.6.



Figura 2.6. Representación gráfica del cultivo aeropónico
Fuente: Tomado de García (2012).

- *Cultivo hidropónico a raíz flotante*

Este sistema es el de mayor difusión a nivel de productores locales. Consiste en colocar las plantas sobre materiales de soporte de poliestireno expandido que flota sobre la solución nutritiva, haciendo que las raíces permanezcan sumergidas en esta. Este método utiliza una recirculación constante de agua y nutrientes evitando el estancamiento y producción de algas en el sistema. En la figura 2.7 se muestra un ejemplo del cultivo hidropónico a raíz flotante.



Figura 2.7. Cultivo hidropónico a raíz flotante.
Fuente: Tomado de Tapia M. (2009).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La metodología del presente estudio fue de tipo cuantitativa experimental mediante fases secuenciales discriminatorias, en de dónde se descartaron las alternativas propuestas que no cumplían con requerimientos mínimos para continuar con su evaluación.

La investigación se desarrolló en tres evaluaciones complementarias:

Primeramente se elaboraron materiales de soporte a base de fibras vegetales, ligadas por el micelio del hongo *Pleurotus sp* y recubiertas con ceras de origen orgánico.

En segunda instancia, se evaluaron tres variedades de arroz producido en el Ecuador, y su comportamiento como material aglutinante para aglomerados de fibras vegetales.

Finalmente se desarrollaron prototipos de materiales de soporte utilizando fibras vegetales, aglutinantes probados y recubrimientos orgánicos, y se llevaron a cabo las pruebas de las características funcionales en el cultivo hidropónico de lechuga a condiciones de campo en la ciudad de Quito, Ecuador.

3.1 Hipótesis

El presente estudio se desarrolló bajo las siguientes hipótesis:

3.1.1 Hipótesis general:

Las propiedades mecánicas de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relacionan significativamente con la concentración de sus componentes.

3.1.2 Hipótesis específicas:

- La dureza de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relacionan significativamente con la concentración de sus componentes.
- La resistencia a la compresión de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relaciona significativamente con la concentración de sus componentes.
- La resistencia a la flexión con carga transversal de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relaciona significativamente con la concentración de sus componentes.

3.2 Identificación de variables

A continuación en el cuadro 3.1 se describen la identificación de las variables

Cuadro 3.1. Identificación de variables

Hipótesis	Variables y Dimensiones
Hipótesis General	
<p>Las propiedades mecánicas de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relacionan significativamente con la concentración de sus componentes.</p>	<p>V. Independiente: Concentración de los componentes del material de soporte generado.</p> <p>V. Dependiente: Propiedades mecánicas del material de soporte generado.</p>
Hipótesis Específicas	
<p>La dureza de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relacionan significativamente con la concentración de sus componentes.</p>	<p>V. Independiente: Concentración de los componentes del material de soporte generado.</p> <p>V. Dependiente: La dureza del material de soporte generado.</p>
<p>La resistencia a la compresión de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relaciona significativamente con la concentración de sus componentes.</p>	<p>V. Independiente: Concentración de los componentes del material de soporte generado.</p> <p>V. Dependiente: La resistencia a la compresión del material de soporte generado.</p>
<p>La resistencia a la flexión con carga transversal de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relaciona significativamente con la concentración de sus componentes.</p>	<p>V. Independiente: Concentración de los componentes del material de soporte generado.</p> <p>V. Dependiente: La resistencia a la flexión con carga transversal del material de soporte generado</p>

3.3 Tipo y Diseño de la investigación

Esta investigación fue de tipo cuantitativa experimental, en referencia a las variables planteadas. Para la etapa de evaluación de resultados se utilizará el programa estadístico InfoStat, y la prueba de Tukey.

Para la primera etapa el diseño experimental utilizado para esta evaluación del hongo fue el de bloques completamente al azar, con arreglo factorial de $2 \times 3 \times 2$ con 12 tratamientos y cinco repeticiones, con condiciones de humedad relativa, temperatura y luz controladas mediante una cámara de estabilidad.

En la segunda y tercera etapa de la evaluación, se utilizó el diseño experimental puro de bloques completamente al azar (DBCA), constituido por cuatro tratamientos, cuatro repeticiones de 6 observaciones cada uno con un total de unidades experimentales de 97

3.3.1 Población y muestra.

La población estuvo dada por las 97 unidades experimentales desarrolladas de los cuatro tratamientos planteados en la investigación y se realizó una evaluación total de la población ya que se contó con los recursos necesarios para su desarrollo.

3.4 Unidades de análisis

3.4.1 Evaluación 1: Fibras vegetales y micelio de hongo.

Para esta evaluación se consideraron dos unidades de análisis:

1. Los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.
2. Planchas del aglomerado desarrollado con los micelios e hongo y fibras vegetales de hojas de banano (*Musa paradisiaca*), cascarilla de café (*Coffea canephora*) y tamo de cebada (*Hordeum vulgare*).

3.4.2 Evaluación 2: Arroz como aglutinante

Las unidades de análisis para esta evaluación fueron:

1. Variedades de arroz: INIAP 9, INIAP 14 e INIAP 15.
2. Planchas aglomeradas con las fibras naturales de coco, banano y caña a diferentes porcentajes entre su composición de fibra y aglutinante.

3.4.3 Evaluación 3: Evaluación del material en campo

Las unidades de análisis fueron:

1. Aglomerados a base de fibras de banano y palma aceitera, aglutinados con arroz e impermeabilizados con ceras orgánicas: carnauba y cera de abeja.

3.5 Operacionalización de las Variables

Cada una de las evaluaciones fueron trabajos independientes y consecutivos, de dónde se evaluaron las características del material y finalmente se seleccionó el o los mejores materiales para continuar en el proceso de elaboración del material óptimo que pueda sustituir al poliestireno expandido en su uso en hidroponía.

Cuadro 3.2. Operacionalización de las variables

Variable dependiente: poder aglutinante del arrocillo		
Definición conceptual: El poder aglutinante será el responsable de aportar estabilidad y dureza al aglomerado.		
Dimensiones	Definición operacional	Indicador
Solidos solubles	Los sólidos solubles serán los responsables de aportar un mayor poder gelificante	% de solidos solubles
Presencia gluten	El gluten es la presencia de unión de proteínas que aportan dureza	Peso de gluten

Variable dependiente: presencia de microorganismos Definición conceptual: Agentes externos que pueden contaminar el producto final		
Dimensiones	Definición operacional	Indicador
Tipos de Microorganismos	Microorganismos patógenos que se presentan	# de colonias

Variable dependiente: propiedades físicas del aglomerado Definición conceptual: Variables que presenta el aglomerado a comparación de otros materiales de uso alimentario		
Dimensiones	Definición operacional	Indicador
Dureza	Capacidad de soportar peso antes de presentar ruptura o deformación	Medida con un Penetrómetro FT327 marca QA Supplies de escala 0-11 Kg. (0-24 lb) y con puntal de 3mm. Carga en kg
Densidad	Volumen y peso que ocupa el aglomerado	P/V
Resistencia a la compresión	Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	Medida con equipo de compresión a 3000 KN
Resistencia a la flexión con carga transversal	Esfuerzo máximo de la fibra desarrollado en una probeta justo antes de que se agriete o se rompa en un ensayo de flexión.	Medido con el equipo Universal obteniendo datos de: carga [KN] y resistencia [mm].

3.5.1 Evaluación 1: Fibras vegetales y micelio de hongo

3.5.1.1 Materiales, equipos y materia prima

a) Materiales

- Tinas de plástico

- Fundas de polipropileno
- Barril para pasteurización
- Balanza
- Materiales para desinfección de superficies
- Equipo de protección personal
- Mesas para preparación de inóculo

b) Equipos

- Equipo soxhlet
- Autoclave
- Estufa
- Secador
- Mufla
- Kjeldahl
- Titulador

c) Reactivos

- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_4$)
- Nitrato de plata ($AgNO_3$)
- Ácido etildiaminotetraacético (EDTA)
- Hidróxido de sodio (NaOH)

d) Materia prima

- Cáscara de café
- Tamo de cebada
- Hoja de plátano
- Yeso
- Afrechillo

3.5.1.2. Métodos. La metodología utilizada fue desarrollada en 2 fases que se describen a continuación:

- **Procedimiento Fase 1.**

En este primer procedimiento fue evaluada la eficiencia biológica mediante el crecimiento de biomasa por diferencia de pesos, para lo cual fue utilizada la fórmula presentada por Ripsnort (2010):

$$Eficiencia\ biológica = \frac{peso\ micelio}{peso\ sustrato\ inicial} * 100$$

Ecuación 1. Eficiencia Biológica

La cepa del hongo *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, se obtuvo de productores comerciales ubicados en Quito, Ecuador.

Las cepas fueron inoculadas en los sustratos a base de cáscara de café, hoja de plátano y tamo de cebada. Estos materiales previamente fueron evaluados en cuanto a humedad, materia orgánica y pH.

Los factores de estudio fueron:

- Factor 1: Variedad del hongo

H1: *Pleurotus ostreatus*

H2: *Pleurotus djamor*

- Factor 2: Medio de crecimiento

M1: Cáscara de café

M2: Hoja de Plátano

M3: Tamo de cebada

- Factor 3: Cepa de inoculación

C1: Cepa en aserrín

C2: Cepa en grano de cebada

Y se establecieron los siguientes tratamientos experimentales con 5 repeticiones cada uno, los mismos que se describen en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Diseño experimental de crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.

Tratamiento	Descripción
1 H1M1C1	<i>P. ostreatus</i> -Cáscara de café-Cepa en aserrín
2 H1M2C1	<i>P. ostreatus</i> -Hoja de Plátano-Cepa en aserrín
3 H1M3C1	<i>P. ostreatus</i> -Tamo de cebada-Cepa en aserrín
4 H2M1C1	<i>P. djamor</i> -Cáscara de café-Cepa en aserrín
5 H2M2C1	<i>P. djamor</i> -Hoja de Plátano-Cepa en aserrín
6 H2M3C1	<i>P. djamor</i> -Tamo de cebada-Cepa en aserrín
7 H1M1C2	<i>P. ostreatus</i> -Cáscara de café-Cepa en grano de cebada
8 H1M2C2	<i>P. ostreatus</i> -Hoja de Plátano-Cepa en grano de cebada
9 H1M3C2	<i>P. ostreatus</i> -Tamo de cebada-Cepa en grano de cebada
10 H2M1C2	<i>P. djamor</i> -Cáscara de café-Cepa en grano de cebada
11 H2M2C2	<i>P. djamor</i> -Hoja de Plátano-Cepa en grano de cebada
12 H2M3C2	<i>P. djamor</i> -Tamo de cebada-Cepa en grano de cebada

- Siembra

Para el proceso de siembra fue necesario previamente preparar y desinfectar del sustrato mediante procedimientos de pasteurización a 80°C por una hora, y

luego reposo para enfriar el mismo.

El proceso de siembra de las cepas de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* se realizó mediante la inoculación directa en el sustrato.

- Incubación

Se incubó el material inoculado a temperatura de 27°C y humedad superior del 75%, sin presencia de luz, como se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1. Incubación del sustrato inoculado con hongo *Pleurotus* en cámaras de estabilidad.

- **Procedimiento Fase 2**

Una vez seleccionado el mejor material para el desarrollo del micelio, se procedió a elaborar materiales de soporte, con coberturas impermeabilizantes a base de ceras orgánicas: cera de abeja y cera de carnauba. Este estudio

evaluó la manipulación, resistencia y manejo del material obtenido en la primera fase.

3.5.2 Evaluación 2: Arroz como aglutinante

3.5.2.1. Materiales, equipos y materias primas.

a) Materiales

- Variedades de arroz INIAP 9, INIAP 14 e INIAP 15.
- Fibras vegetales de caña de azúcar, coco y banano.

b) Equipos

- Balanza analítica
- Tamices
- Moldes para aglomerados
- Prensas.

3.5.2.2 Métodos. Las variedades de arroz INIAP 9, INIAP 14 e INIAP 15, son variedades mejoradas desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador y que actualmente son producidas en la costa del país. Las muestras de estas variedades provinieron específicamente de la provincia del Guayas ubicada a 22 m.s.n.m., con temperatura promedio de 24°C y con precipitación anual de 1500mm.

Para el presente estudio fue utilizado el arrocillo, que es uno de los subproductos del proceso del pilado del arroz, del cual se analizaron los porcentajes de sólidos hidrosolubles y de almidón.

Se realizó la evaluación de sólidos hidrosolubles mediante los procesos propuestos por Southgate (1991) que involucra: el peso de los residuos sedimentados, seguido del proceso de ruptura, tamizado, lavado con agua y alcohol y centrifugado de la muestra.

El porcentaje de almidón fue calculado también con los protocolos de Southgate (1991) que consisten en métodos polarimétricos, realizando la molienda de la muestra, tamizado y clasificación de los resultados obtenidos en porcentajes.

Los procedimientos descritos fueron determinantes en cuanto a la discriminación de las variedades, y la variedad seleccionada para continuar el proceso fue utilizada como material aglutinante en la elaboración de los aglomerados cuyas composiciones se describen en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Descripción de los tratamientos de estudio

Tratamiento	Tipo de fibra	Fibra en el aglomerado (% en peso seco)	Arrocillo en el aglomerado (% en peso seco)
1	Coco	70%	30%
2	Coco	60%	40%
3	Caña de azúcar	60%	40%
4	Caña de azúcar	50%	50%
5	Banano	70%	30%
6	Banano	60%	40%

La elaboración de los aglomerados se desarrolló en la ciudad de Quito que

posee una temperatura promedio de 18°C y humedad relativa del 70%.

La fibra de cada origen fue sometida a secado a temperatura ambiente por un periodo aproximado de 21 días, luego del cual fue triturada con la ayuda de la picadora de forraje TRAPP-TRF 700 con el fin de obtener dimensiones de fibras entre 0.5 y 3 mm de largo.

Con respecto al arrocillo, se procedió a cocción durante 1 hora y 30 minutos hasta obtener una mezcla viscosa, posteriormente se realizó la mezcla con la fibra en los porcentajes explicados en el cuadro 3.4, luego se procedió al moldeo de la masa y prensado a 20 Kgf/cm² con prensa manual.

Seguidamente el material fue secado durante 15 días a temperatura ambiente, luego de lo cual se procedió a su desinfección con autoclave durante 1 hora a 120°C y secado durante 2 días en condiciones ambientales.

De este material se realizaron las evaluaciones físicas de dureza superficial, resistencia a la flexión con carga transversal y densidad.

La dureza superficial fue medida con un Penetrómetro FT327 marca QA Supplies de escala 0-11 Kg (0-24 lb) y con puntal de 3mm. Fueron tomados 34 datos por cada una de las cajas elaboradas.

La prueba de resistencia a la flexión con carga transversal consistió en someter a la probeta de 82 x 56 x 5 mm de espesor a esfuerzo axial de tracción creciente hasta que la probeta es rota en el punto de impacto.

La densidad se calculó obteniendo las medidas de cada muestra en relación al peso aplicando la fórmula:

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Ecuación 2. Densidad

3.5.3 Evaluación 3. Evaluación del material en campo

3.5.3.1 Materiales, equipos y materia prima

a) Materiales

- Fibra de palma aceitera
- Fibra de pseudotallo de banano
- Arrocillo cocido
- Moldes de aluminio
- Picadora de forraje TRAPP-TRF 700
- Ollas
- Cera de abeja
- Cera de carnauba
- Balanza
- Placas para análisis microbiológico

b) Reactivos

- Sulfato de cobre

3.5.3.2 Métodos. Fueron elaborados aglomerados de 12 x 12 y 3 cm de grosor, utilizando las fibras vegetales de coco y de palma aceitera, las mismas que fueron aglutinadas con el arrocillo cocido INIAP 15 en proporción como se muestra en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Descripción de los tratamientos de estudio en campo

Tratamiento	Tipo de fibra	Fibra en el aglomerado (% en peso seco)	Arrocillo en el aglomerado (% en peso seco)
1	Palma aceitera	70%	30%
2	Palma aceitera	60%	40%
3	Palma aceitera	50%	50%
5	Banano	70%	30%

Estos aglomerados fueron sujetos a las pruebas mecánicas de resistencia a la flexión con carga transversal, resistencia a la compresión y evaluación de la dureza superficial, de los cuales, los que obtuvieron valores superiores a sus similares, pasaron a la fase de evaluación microbiológica en el cultivo hidropónico de lechuga.

La dureza superficial fue medida con un Penetrómetro FT327 marca QA Supplies de escala 0-11 Kg. (0-24 lb) y con puntal de 3mm.

La toma de muestras fue realizada en la superficie las dos caras de cada material de soporte evaluado, con la ayuda de una plantilla para tomar las muestras de los mismos lugares en cada material, evitando de esta manera errores en la toma de muestras. Fueron tomadas 32 medidas por cara. Su procedimiento se lo muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2. Pruebas de dureza superficial con penetrómetro.

Para las evaluaciones de resistencia a la flexión con carga transversal y resistencia a la compresión, los materiales de soporte fueron cortados en dos partes iguales

Para medir la resistencia a la compresión se utilizó un equipo de compresión a 3000 KN que se muestra en las figura 3.3. y 3.4. a continuación, mediante el cual se lo colocó la muestra y se midió la fuerza de compresión hasta que exista deformación en el material. Al realizar los procedimientos, este equipo proporcionó 3 datos: carga, fuerza y resistencia media.



Figura 3.3. Equipo para medición de resistencia a la compresión.



Figura 3.4. Procedimiento de resistencia a la compresión.

Para la evaluación de la resistencia a la flexión con carga transversal fue utilizado el equipo Universal que se muestra en la figura 3.5 de dónde fueron obtenidos los datos de: carga [KN] y resistencia [mm]. El procedimiento se presenta en la figura 3.6.



Figura 3.5. Equipo universal



Figura 3.6. Procedimiento de toma de datos de resistencia a la flexión con carga transversal.

La siguiente evaluación de los materiales consistió en su exposición ya en el cultivo hidropónico de lechugas, para ello, a los aglomerados se añadió una

cobertura de ceras orgánicas con el fin de impermeabilizar el material de soporte, el mismo que, para este estudio en campo se lo colocó en contacto directo con el agua (ver figura 3.7).



Figura 3.7. Materiales de soporte desarrollados

Para las pruebas en campo se construyeron sistemas de flujo continuo, compuestos por cajones de vidrio de 17cm x 17cm x 22cm, conectados entre sí por una manguera de 1,5cm de diámetro.

A los extremos fueron utilizados tanques plásticos de 10 litros cada uno, en los cuales fueron colocados motores de 6V para la recirculación y flujo continuo del agua, como se muestra en figura 3.8.



Figura 3.8. Sistema de flujo continuo para siembra de lechuga.

En cada recipiente de vidrio fue colocado el material flotante, con una plántula de lechuga (*Lactuca sativa*), como se muestra en la figura 3.9 a continuación:



Figura 3.9. Siembra de lechuga en el sistema de recirculación.

3.5.3.3 Diseño Experimental. El diseño experimental aplicado para esta experimentación fue el de bloques completamente al azar (DBCA), constituido de la manera descrita en el cuadro 3.6:

Cuadro 3.7. Diseño experimental de pruebas en campo.

Diseño de bloques	
Tratamientos	4
# Experimental	1 módulo (6 observaciones)
Repeticiones	4
Total Unidades experimentales	97

3.5.3.4 Análisis microbiológico del material de soporte. Al ser probado el material de soporte en campo mediante el cultivo hidropónico de lechuga, se consideró importante evaluar la contaminación por microorganismos patógenos que pudiera tener durante el periodo de cultivo, para lo cual fueron realizados los análisis microbiológicos respectivos.

En este estudio fueron analizadas las partes superficiales de los materiales de soporte, que ya fueron expuestos a la solución nutritiva y al contacto con la planta, mediante el procedimiento de frotamiento superficial con hisopos y cultivo de muestras. Los materiales fueron evaluados en dos periodos del cultivo: a los 15 y 30 días del cultivo.

Las placas utilizadas para el cultivo fueron de la marca compact Dry: EC (*E. coli* / coliformes), TC (Aerobios totales) y YM (hongos y levaduras) que fueron sustratos enzimáticos específicos para el desarrollo de microorganismos. Las muestras fotográficas se presentan en la figura 3.10



Figura 3.10. Análisis microbiológico del material de soporte.

- Procedimiento de toma de muestras para análisis microbiológicos:

La toma de muestras del material de soporte se lo realizó en las dos caras, escogido el material de manera aleatoria y en forma de zigzag con la finalidad de cubrir todos los posibles resultados.

Fue necesario el uso estricto del equipo de protección personal para laboratorio, y los protocolos desarrollados para esta actividad.

- Siembra de muestras
 - a) Los hisopos utilizados para el frotis superficial fueron sumergidos en tubos de ensayo 10ml con agua destilada.
 - b) Se diluye la solución a una concentración de 10^{-1} . Para reducir la concentración de colonias de microorganismos.
 - c) Se colocó 1ml de esta disolución en cada una de las placas de cultivo, se procedió a sellar y etiquetar. Las placas compact Dry TC Y EC, fueron encubadas a una temperatura de 35°C a 37°C por 24 ± 2 horas. Y las placas compact Dry YM a una temperatura de $25 - 30^{\circ}\text{C}$ por 2 a 3 días, de acuerdo a las recomendaciones del proveedor y de las fichas técnicas de cada una de las placas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados evaluación 1: Fibras vegetales y micelio de hongo.

4.1.1 Evaluación de eficiencia biológica

Como resultados de la primera fase de experimentación se determinó el sustrato óptimo para el crecimiento de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, mediante la diferenciación de eficiencia biológica de crecimiento en diferentes sustratos y con dos métodos de inoculación del micelio de hongo: en aserrín y en grano de cebada, de dónde se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la figura 4.1:

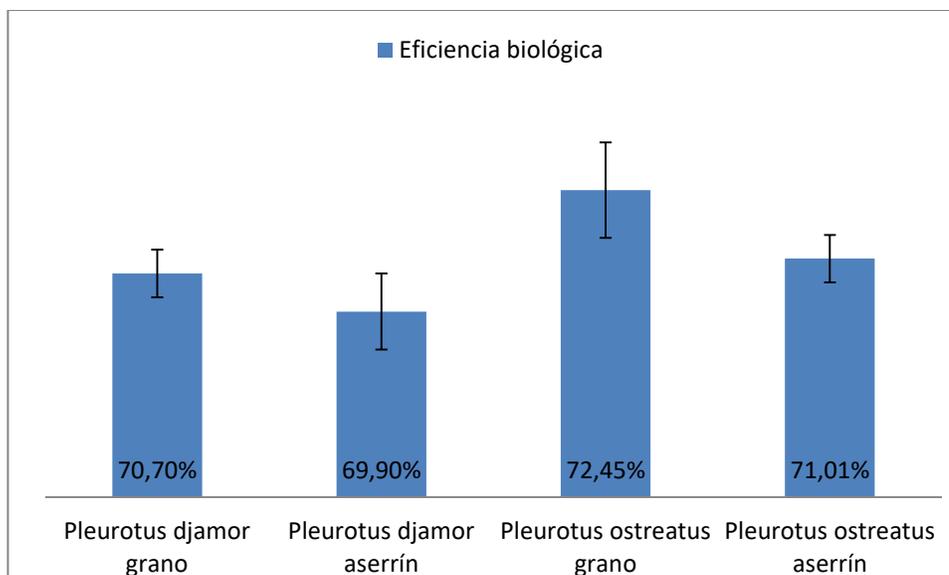


Figura 4.1. Eficiencia biológica del desarrollo del *Pleurotus* en diferentes sustratos

El gráfico muestra que el hongo de mayor desarrollo obtenido fue el *Pleurotus ostreatus* en sustrato de siembra tamo de cebada y método de inoculación de cepa en grano alcanzando una eficiencia biológica de 72,5%

García (2003) indica que el *Pleurotus ostreatus* es una especie ampliamente adaptable a métodos de sustratos ligno-celulósicos diferentes, por lo que su cultivo se lo realiza en casi todo el mundo. En América la técnica de producción se la ha desarrollado sobre el sustrato de aserrín del tronco del roble andino (*Quercus humboldtii*). El autor además reporta que el cultivo del hongo sobre este sustrato puede alcanzar una eficiencia biológica de 70%.

Realizando un análisis comparativo de los porcentajes de eficiencia biológica obtenidos frente a los de la literatura, el hongo cultivado en el sustrato de tamo de cebada alcanzó niveles superiores al reportado por el cultivo en roble, lo que

deduce que la cebada cumple con los requerimientos del hongo para su proliferación micelial.

Por otro lado, los resultados de la producción de micelio indican que pese a que las características del resto de los materiales utilizados como sustratos para esta investigación cumplen con los requerimientos básicos de nutrientes para el desarrollo del micelio, la cáscara de café con su aporte aproximado de 16% de proteína, y la hoja de banano con 30,59 mg de fibra, el *Pleurotus ostreatus* presenta una significativa preferencia hacia el tamo de cebada. En tal virtud, este tratamiento es el que se consideró adecuado para proseguir con las evaluaciones del material.

En cuanto al *Pleurotus djamor*, presenta valores menores de eficiencia biológica por lo que este hongo fue segregado de la consecución del estudio. Es importante mencionar además, que en los sustratos de tamo de cebada cuya longitud era menor a un centímetro, la colonización del micelio sobre la fibra tuvo mayor velocidad frente a los de mayor tamaño, lo que fue un referente para la preparación de los materiales de soporte a partir de los resultados obtenidos.

4.1.2 Evaluación del material.

Una vez seleccionado el tratamiento con mayor eficiencia biológica, se procedió a desarrollar materiales de soporte como primera opción al reemplazo del poliestireno expandido en el uso en hidroponía, por lo que se consideró que, además del material desarrollado a partir de tamo de cebada y micelio de *P. ostreatus*, se cuente con una cobertura de ceras orgánicas: cera de abeja, cera de carnauba y la mezcla entre ambas, con el fin de promover una capa de impermeabilización para soportar el contacto prolongado con el agua.

Sin embargo al realizar los procedimientos, existieron tres inconvenientes importantes que descartaron esta propuesta:

- Inactivación del hongo.

Pese a que la proliferación del micelio de hongo sobre la fibra de cebada fue muy exitosa, fue necesario realizar un procedimiento de inactivación del micelio con el fin de que suspenda sus actividades biológicas propias de la especie y que el tablero obtenido trabaje como material de soporte.

Según menciona Bayer (2007), creador de Greensulate, el método de inactivación del hongo puede basarse en procesos térmicos de pasteurización o autoclavado. Estas técnicas al ser implementadas en la presente investigación, trajeron consigo procesos no previstos y que en un análisis económico incluían un gasto importante y poco justificable si se lo quisiera ver como propuesta a ser industrializable.

- Estabilidad del material.

Guzmán (2004), quien explica sobre los procesos y materiales para uso en un sistema hidropónico en raíz flotante, refiere que un material de soporte debe ser suficientemente estable para sostener a la planta y mantenerla erguida durante todo su ciclo vegetativo, evitando que pueda hundirse en la solución nutritiva.

En la experimentación de la obtención de este tipo de material de soporte a base de micelio de hongo, al ser sometido al procedimiento térmico para su inactivación, las propiedades de adhesión y aglutinantes fueron totalmente inestables y presentaron rupturas internas y desprendimiento del material, lo que no permitió obtener una base sólida y mucho menos que pueda sostener el

peso de la planta sobre la solución nutritiva.

- Recubrimiento con ceras orgánicas.

La inestabilidad del material y su manipulación muy delicada pudo ser superada de cierta manera con el recubrimiento de ceras orgánicas, sin embargo la absorción de estas fue considerable ya que se contaba con una superficie demasiado porosa la cual, durante el proceso de impermeabilización, consumía demasiada cantidad de cera, por lo que se logró materiales muy pesados y muy caros de elaborar.

Es así que se promueve una segunda etapa de investigación en dónde se evaluaron alternativas de aglutinantes de fibras en base a materiales orgánicos, de dónde la propuesta seleccionada fue el arrocillo, que es un subproducto del pilado del arroz por su facilidad de obtención, sus costos bajos y sus resultados previos positivos.

4.2 Resultado evaluación 2: Arroz como aglutinante

Las variedades de estudio INIAP 9, INIAP 14 e INIAP 15, fueron evaluadas primeramente en la cantidad de almidón y sólidos hidrosolubles, estos datos que se describen a continuación:

4.2.1 Análisis resultados de almidón en arrozillo

El almidón del arroz promueve la gelatinización de la mezcla y aporta volumen, y los datos obtenidos de esta evaluación se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.2:

Contenido de almidón (n=5) en variedades de arrozillo.

Análisis de varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Porcentaje	15	0,35	0,24	2,8

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Total	75,96	14			
Variedad	26,43	2	13,21	3,2	0,0769
Error	49,53	12	4,13		

El análisis estadístico indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos, lo que sugiere que el contenido de almidón de las muestras de arrozillo no es un valor discriminante en la toma de decisiones para ser utilizado como material aglutinante. Los promedios del contenido de almidón se muestran en la figura 4.2.

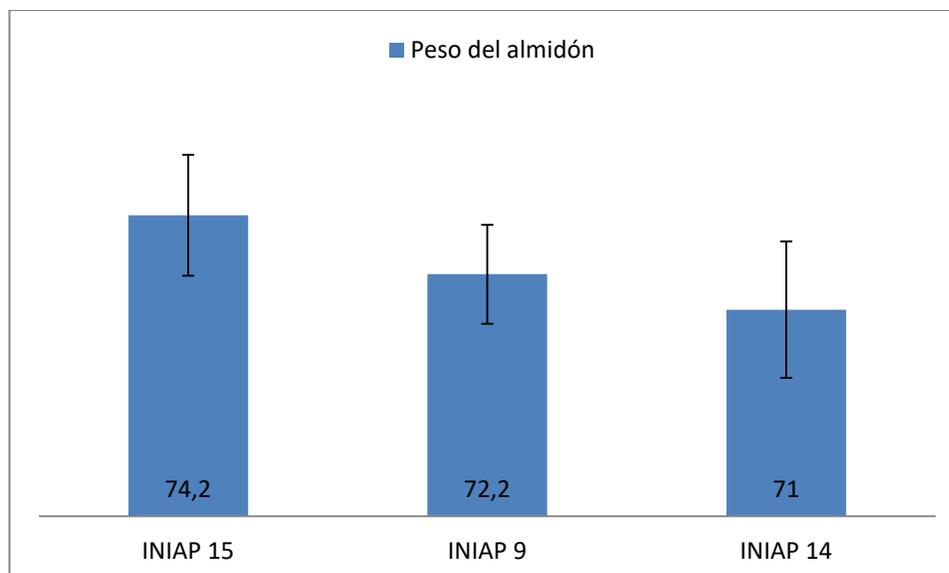


Figura 4.2. Promedio en gramos del contenido de almidón (n=5) en 100 gramos de arrozillo obtenida mediante Tukey

Según la literatura, el almidón en el arroz se encuentra alrededor del 70 al 80% (Latham, 2002). En la figura 4.2 se confirma estos valores, y sugiere que las variedades de arroz nacionales pueden contener el mismo poder gelatinizante que otras variedades producidas en diferente lugar del mundo.

4.2.2 Análisis resultados de sólidos hidrosolubles en arrozillo

La amilasa, contenida en los sólidos hidrosolubles del arrozillo, es la responsable de la característica aglutinante del mismo (Ramírez 2015), por lo que este análisis constituye de importancia para seleccionar la variedad con mejores características en cuanto a la cualidad que se está buscando. Los resultados son expuestos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Análisis de varianza de sólidos hidrosolubles en el arrozillo (n=5)

Análisis de varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Peso sólidos hidrosolubles	15	0,95	0,94	6,37

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Total	3,58	14			
Variedad	3,4	2	1,7	113,89	<0,0001
Error	0,18	12	0,01		

El análisis estadístico presenta una diferencia altamente significativa entre los contenidos de sólidos hidrosolubles de cada variedad, por lo que sugiere que este valor sea el de importancia para diferenciar la variedad de arrozillo con características aglutinantes superiores.

En la figura 4.3 se describen los valores promedio de cada una de las variedades de arrozillo estudiadas, las cuales alcanzaron valores entre 1,5 y 2,6 gramos por cada 100 gramos de arrozillo.

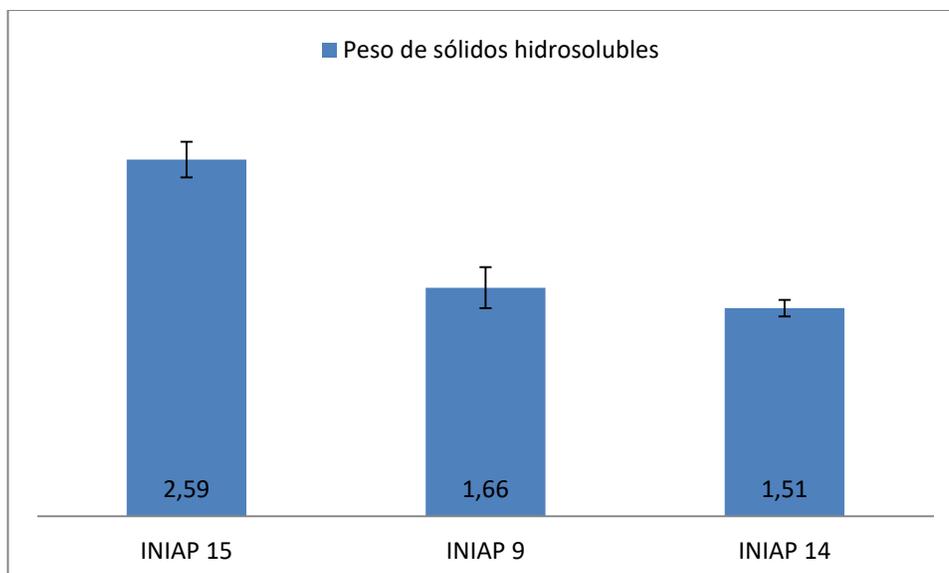


Figura 4.3 Promedio en gramos del contenido de sólidos hidrosolubles (n=5) en 100 gramos de arrocillo obtenida mediante Tukey

Este análisis destaca una superioridad entre los contenidos de sólidos hidrosolubles de la variedad INIAP 15 frente a las variedades INIAP 9 e INIAP 14.

Este resultado permitió que la variedad INIAP 15 sea considerada como la más óptima y por tanto, pasó a la siguiente etapa de evaluación que consistió en la fabricación de materiales aglomerados con fibras de coco, banano y bagazo de caña de azúcar.

4.2.3 Análisis de resultados de los aglomerados de fibra vegetal y arrocillo

Las pruebas físicas a las que fueron sometidos los aglomerados fueron: densidad, dureza y resistencia a la flexión con carga transversal y los resultados obtenidos se detallan a continuación:

4.2.3.1 Dureza. El análisis estadístico de los datos obtenidos de dureza medidos en Kgf, presentan diferencias altamente significativas entre los tratamientos, representados por la obtención de un p-valor menor a 0.0001 (ver tabla 4.3).

Tabla 4.3:

Análisis de varianza de dureza en aglomerados (Kgf)

Análisis de varianza					
Variable	N	R ^a	Aj	CV	
Dureza (Kgf)	204	0,49	0,48	24,47	

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Total	445,43	203			
Variedad	217,75	5	43,55	37,87	<0,0001
Error	227,69	198	1,15		

Los resultados demuestran que los tratamientos con mayor dureza corresponden a T2: Coco 60% Arrocillo 40%, y T6: Banano 60% Arrocillo 40%. La dureza puede relacionarse directamente con las características de soporte que presentan los materiales.

Está claro que la composición de las fibras de coco y banano, a base de lignina y celulosa proveen de un carácter semileñoso al material, y proporcionan mayor dureza frente al material conformado por fibra de caña de azúcar.

Esta característica es muy favorable en cuanto a la selección del mejor prototipo ya que, el material que se busca, requiere sostener a una planta con

peso específico creciente durante al menos un mes, sobre la solución nutritiva. Los resultados promedios de la medición de dureza se presentan en la figura 4.4

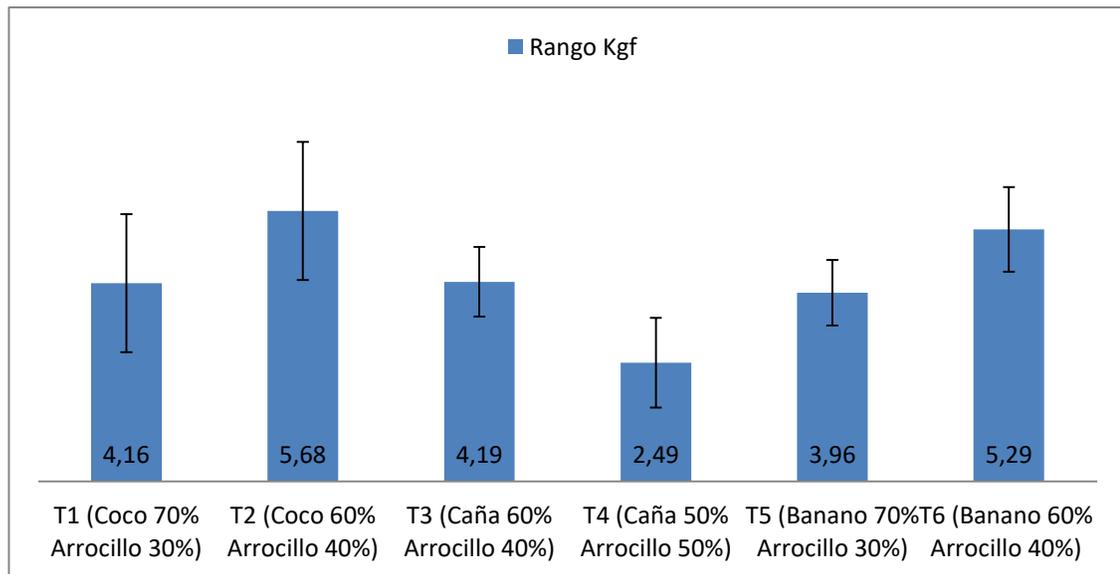


Figura 4.4 Promedio en Kgf de dureza superficial de aglomerados (n=5) obtenida mediante Tukey

Es importante el comparar estos resultados obtenidos frente a otros materiales de similares características de uso como son: cartones simples y corrugados, espuma de poliuretano y otro tipo de aglomerados promedio. En la tabla 4.4 se pone consideración de los rangos establecidos de dureza bajo normativas de regulación estandarizadas.

Tabla 4.4:

Dureza en Kgf de diferentes materiales

Material	Dureza (Kgf)	Bibliografía
Cartón corrugado simple	7	Global Buyer, 2012
Cartón corrugado doble	12	Global Buyer, 2012
Cartón simple	1.55	Global Buyer, 2012
Papel Kraft	4	Asociación de Corrugadores del Caribe, 2014
Espuma de poliuretano	3,6 – 7,2	INEN, 1995
Aglomerados promedio	2 - 4	Meraz, Quintanilla, Garcia, 2014

Con el contraste de estos datos se puede mencionar que los resultados de los tratamientos T2 y T6 son superiores ante e cartón simple, papel kraft e incluso aglomerados promedio; se encuentran dentro del promedio de dureza esperado para la espuma de poliuretano pero son de menor dureza que el cartón corrugado.

Por tanto estos datos presentan características positivas para el desarrollo de materiales de soporte

4.2.3.2 Análisis de resistencia a la flexión con carga transversal en aglomerados. Los ensayos realizados de resistencia a la flexión con carga transversal, muestran la fuerza tangencial que puede soportar el material evaluado antes de romperse. En la tabla 4.5 se detallan los resultados estadísticos.

Tabla 4.5.

Análisis de varianza de resistencia a la flexión con carga transversal en Kgf en aglomerados

Análisis de varianza				
Variable	N	R ^a	Aj	CV
Ruptura (Kgf)	30	0,94	0,92	7,11

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Total	404,47	29			
Variedad	378,47	5	75,69	69,87	<0,0001
Error	26	24	1,08		

Al obtener como resultado un p-valor es menor a 0,0001 se puede deducir que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Estos valores promedios se los presenta en la figura 4.5.

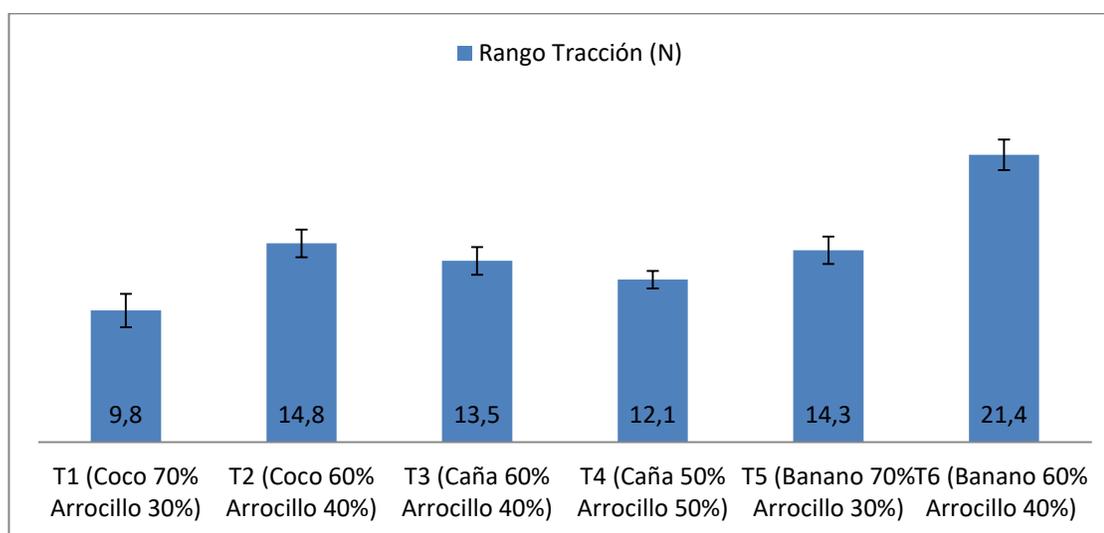


Figura 4.5. Promedios de valores de resistencia a la flexión con carga transversal (N) en aglomerados obtenida mediante Tukey

En la figura 4.5 se muestra una superioridad del valor de la resistencia a la flexión con carga transversal en el tratamiento T6: Banano 60% Arrocillo 40% en comparación con los demás tratamientos. En contraste se presenta que el tratamiento T1: Coco 70% Arrocillo 30% es el tratamiento que presenta el menor valor de esta variable evaluada.

Para el caso de este estudio es importante que el valor de resistencia a la flexión con carga transversal sea alto ya que el uso del aglomerado será para el cultivo de plantas sobre el agua, el mismo que deberá soportar pesos diferentes y crecientes a través del tiempo.

Para tener un referente de resultados frente a otros materiales, se comparan los valores, de la misma manera que se realizó con los valores de dureza anteriormente mencionados, para lo cual se presenta la tabla 4.6.

Tabla 4.6:
Resistencia a la flexión con carga transversal en N de diferentes materiales

Material	Resistencia a la flexión con carga transversal (N)	Bibliografía
Cartón corrugado simple	13,1	Zanuttini, Antúez, & Clemente, 2008
Cartón corrugado doble	16	Zanuttini, Antúez, & Clemente, 2008
Papel Kraft	9,7	Zanuttini, Antúez, & Clemente, 2008
Espuma de poliuretano	4,5 – 6	Chavez, 2016
Aglomerado promedio	13 - 23	Januário 2010

Bajo este análisis es importante comentar que las composiciones de aglomerados utilizadas se encuentran en valores iguales o superiores a los establecidos para otros materiales, lo que es un factor positivo en cuanto a la metodología y materiales utilizados en la elaboración de los aglomerados experimentales. Se destaca que la composición de T6 se encuentra dentro del promedio de resistencia a la flexión con carga transversal para aglomerados promedios y es superior a los datos de resistencia a la flexión con carga transversal de los otros materiales comparativos y que los aglomerados T1:Coco 70% Arrocillo 30% presenta valores más bajos.

4.2.3.3 Análisis de densidad en aglomerados. Los resultados estadísticos de las evaluaciones de densidad de los aglomerados se presentan en la tabla 4.7.

Tabla 4.7:

Análisis de varianza de los valores de la densidad de aglomerados

Análisis de varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Densidad g/cm ³)	30	0,86	0,83	10,15

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Total	0,62	29			
Variedad	0,53	5	0,11	29	<0,0001
Error	0,09	24	0,3		

El presente análisis estadístico también muestra diferencias altamente

significativas entre las densidades de los tratamientos, es decir, se obtienen un p-valor menor a 0.001. Los valores promedios son presentados en la figura 4.6.

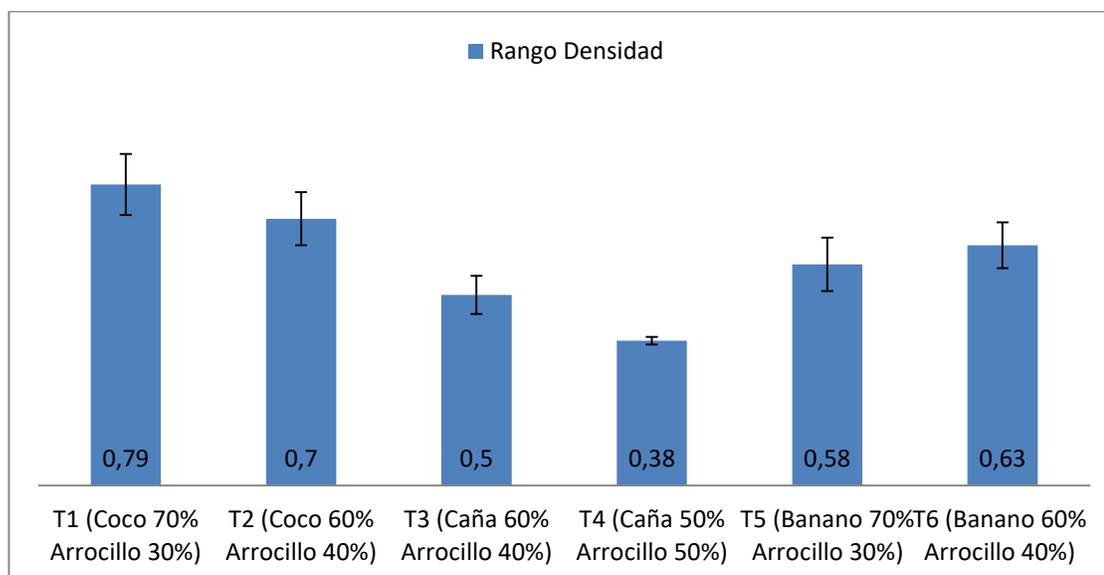


Figura 4.6 Promedio de densidad (g/cm³) de los aglomerados obtenido con Tukey

La característica de la fibra de caña de azúcar al contener material poroso en mayor cantidad, influye de manera directa en la densidad del material, presentando el valor más bajo que sus similares, por el contrario, la composición celular más compacta de las fibras de coco constituyen materiales más compactos y por tanto su densidad es mayor. Continuando con el comparativo de valores entre los aglomerados experimentales y los materiales estandarizados, se presenta la tabla 4.8.

Tabla 4.8.

Densidad en g/cm³ de diferentes materiales

Material	Densidad	Bibliografía
Cartón corrugado simple	0,126	Stem, 2016
Cartón corrugado doble	0,295	Stem, 2016
Papel Kraft	0,05	Rock Wool, 2016
Espuma de poliuretano	0,04	INEN, 1995
Aglomerados varios	0,70	Januário & Beraldo, 2010

Las densidades obtenidas son superiores a las de los cinco primeros materiales que muestran en la tabla 4.8, pero son muy comparativos frente al valor presentado para los aglomerados varios, aunque se destaca que el material desarrollado T1 supera en 0,09 a este valor.

De estos resultados presentados en las tablas descritas, se puede discutir que el arrocillo constituyó un material aglutinante de excelentes características, muy comparable con los aglutinantes a base de urea-formaldehido que actualmente son utilizados en la elaboración de aglomerados industriales.

Los valores de dureza, resistencia a la flexión con carga transversal y densidad se encuentran comparativamente entre los rangos que presentan los materiales usualmente utilizados para las mismas utilidades de los aglomerados y materiales de soporte por lo que este material de origen orgánico y 100% biodegradable constituye una alternativa ecológica a los materiales convencionales.

4.3 Resultado Evaluación 3. Evaluación del material en campo

Una vez seleccionado el mejor material aglutinante, se realizó la prueba en campo probando la condición aglutinante con diferentes fibras y elaborando un prototipo con molde único para mantener las condiciones uniformes.

A continuación se presentan los datos obtenidos de las pruebas de dureza, resistencia a la flexión con carga transversal y resistencia a la compresión.

4.3.1 Análisis de resultados de las pruebas de dureza superficial con penetrómetro

Esta evaluación se desarrolló sobre 6 repeticiones (n=6) de cada tratamiento y sus resultados se los muestra en la tabla 4.9:

Tabla 4.9:

Análisis de varianza de promedios de dureza del material flotante

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Dureza	30	0,52	0,23	41,06

Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Material	2025,00	11,00	184,09	1,78	0,13
Error	1856,87	18,00	103,16		
Total	3881,87	29,00			

La diferencia entre los promedios de dureza del material flotante no es significativa ya que se obtuvo un p-valor de 0,13.

Los promedios de dureza de los materiales de soporte obtenidos con Tukey se muestran en la figura 4.7, en la cual se muestra claramente que, pese a no tener diferencia significativa, el aglomerado compuesto de 50% fibra de palma y 50% arrocillo presenta un valor superior al de los otros tratamientos.

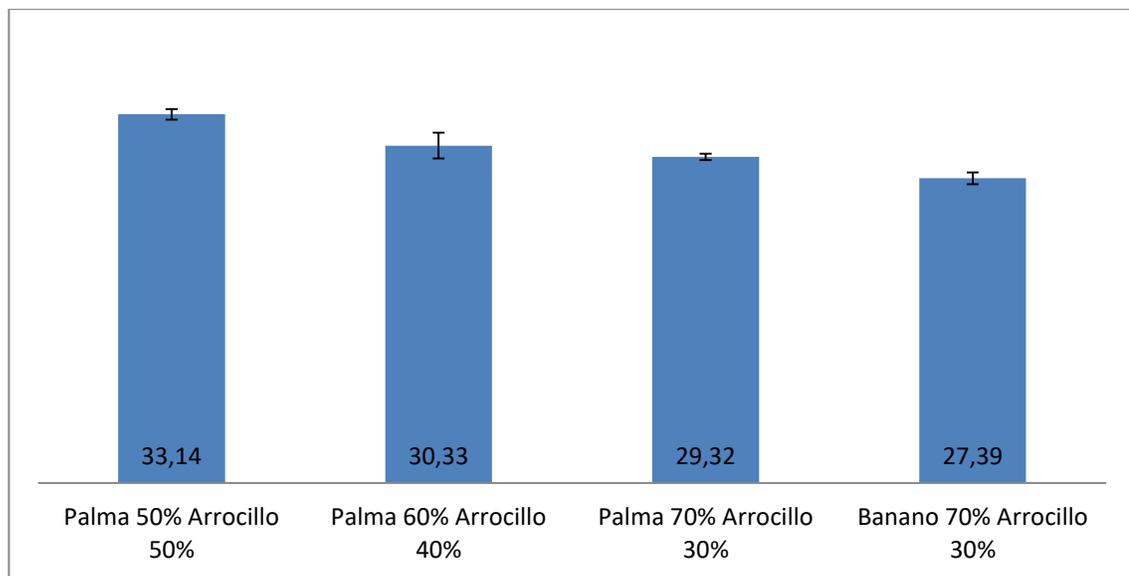


Figura 4.7 Promedios de dureza de los materiales de soporte obtenidos con Tukey

Álvarez (2016) indica que los valores de oscilación de la dureza superficial en el poliestireno expandido oscila entre 10 y 30 kg/cm² lo que muestra que todos los tratamientos están dentro de este rango presentado por el testigo.

4.3.2 Análisis de resultados de las pruebas de compresión

El equipo utilizado para la prueba de compresión de los materiales de soporte arrojó los datos de Carga (KN), Fuerza Media (KN), Resistencia Media (N/mm²). La comparación frente al testigo se basó en los datos de la ficha técnica del poliestireno expandido.

4.3.2.1. Análisis de varianza de prueba de compresión: Carga (KN). Los resultados de este parámetro fueron evaluados mediante el programa estadístico InfoStat, el mismo que muestra los datos presentados en la tabla 4.10.

Tabla 4.10.

Análisis de varianza de valor de carga

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Carga	24	0,32	0,22	11,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	20.344,40	3	6.781,40	3,1	0,05
Error	42.640,10	20	2.132,00		
Total	62.984,60	23			

El p-valor indica que no existe variabilidad entre los resultados. Sin embargo y por motivos de verificación, en la figura 4.8 se presentan los promedios de la

carga de los materiales evaluados, en dónde nuevamente se puede observar que el tratamiento de compuesto por 50% de fibra de palma y 50% de arrocillo tiene el valor más alto.

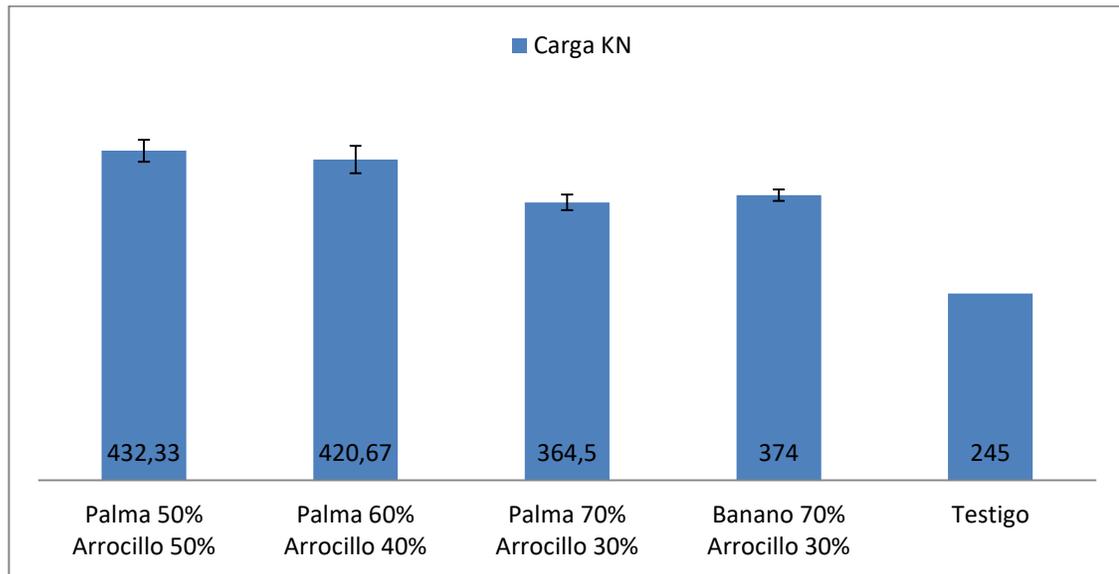


Figura 4.8 Promedios de valor de carga KN obtenidos mediante Tukey

Los resultados entre los tratamientos no tienen diferencia significativa pero su comportamiento es mayor comparado con el testigo: poliestireno expandido, el cual, de acuerdo a la ficha técnica del material posee un valor de carga de 245 KN (JQ, 2016).

4.3.2.2 Análisis de varianza de prueba de compresión: Fuerza media [KN]. La fuerza media es la segunda característica medida mediante la prueba de compresión, de dónde, aplicando el análisis de varianza, se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 4.11.

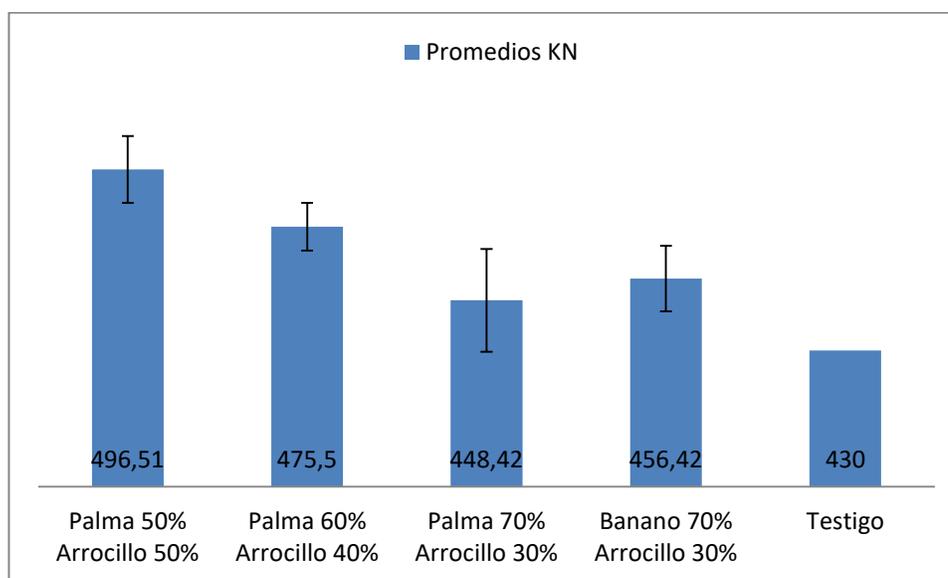
Tabla 4.11.

Análisis de varianza de fuerza media

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Fuerza media	24	0,08	0	10,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	4.657	3	1.552,33	0,61	0,6135
Error	50.517	20	2.525,85		
Total	55.174	23			

Al presentar los resultados con p-valor mayor a 0,05 se indica que no existe diferencia significativa entre los valores de fuerza media medidos en KN de los tratamientos evaluados. En la figura 4.9 se presentan los promedios de la fuerza media de los tratamientos evaluados obtenidos mediante la prueba de Tukey.

**Figura 4.9** Promedios de valor de fuerza media KN obtenidos por Tukey

El testigo poliestireno expandido presenta un valor menor de fuerza media en comparación con los materiales propuestos en el estudio.

4.3.2.3 Análisis de varianza de prueba de compresión: Resistencia media. El análisis de varianza de los valores de resistencia media de los materiales propuestos, se presentan en la tabla 4.12.

Tabla 4.12:
Análisis de varianza de resistencia media KN/m²

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Resistencia Media	24	0,24	0,13	12,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	1.130,45	3	376,82	2,16	0,1242
Error	3.484,05	20	174,2		
Total	4.614,50	23			

Este análisis de varianza presenta un p-valor mayor a 0,05 por tanto no existe diferencia significativa entre la resistencia media obtenida de los prototipos analizados, sin embargo es importante presentar los promedios alcanzados en cada uno de los tratamientos para poder entender las características que los materiales desarrollados alcanzaron y sus perspectivas como materiales de soporte (Ver figura 4.10).

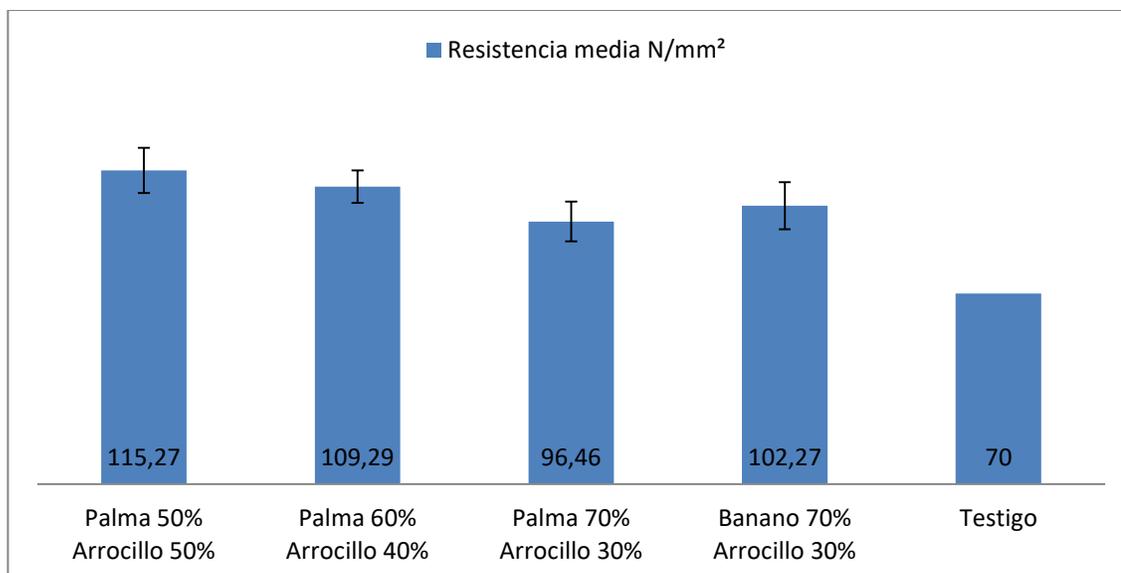


Figura 4.10 Promedios de valores de resistencia media N/mm² obtenido por Tukey

Al igual que los resultados anteriores, los valores de resistencia media son superiores al valor del testigo, y entre ellos, el valor del aglomerado elaborado con palma 50% y arrocillo 50% es mayor que sus semejantes.

4.3.3. Análisis de resultados de las pruebas de resistencia a la flexión con carga transversal

En este análisis se evaluaron los valores de carga medidos en KN. La evaluación de los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza son presentados en la tabla 4.13.

En estos resultados se muestra que el p-valor es mayor a 0,05 por lo que los resultados no presentan diferencias significativas entre ellos, es decir que independientemente de los materiales utilizados para la formación del aglomerado, estos no tienen variabilidad en cuanto a la resistencia a la flexión con carga transversal se trata.

Tabla 4.13:
Análisis de varianza de pruebas de resistencia a la flexión con carga transversal: Carga [KN]

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Carga	24	0,13	0	39,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	0,12	3	0,04	0,99	0,4193
Error	0,84	20	0,04		
Total	0,96	23			

En la figura 4.11 se muestran los promedios medidos en KN, obtenidos por cada tratamiento mediante la prueba de Tukey:

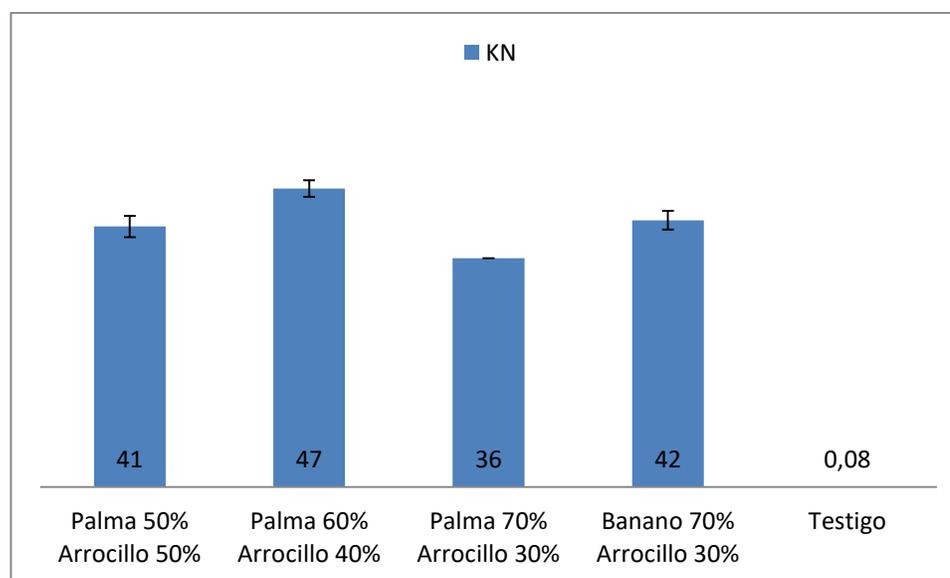


Figura 4.11. Promedios de valores de resistencia a la flexión con carga transversal medidos en carga KN

Los resultados muestran que pese a que la resistencia a la flexión con carga

transversal es similar entre los aglomerados, y entre ellos el material desarrollado con 60% de fibra de palma aceitera y 40% arrocillo es el que presenta superioridad. Comparando los resultados frente al testigo, todos los aglomerados presentan valores considerablemente superiores frente al poliestireno expandido.

Como se mencionó anteriormente, siendo el objetivo del uso del material el soporte de pesos crecientes durante el tiempo, y estar expuesto a un medio acuoso durante al menos 30 días, este valor de resistencia a la flexión con carga transversal se considera como el valor determinante para la toma de decisiones en cuanto al material a utilizar en la experimentación en cultivo, por lo que se considera que el aglomerado del tratamiento 2 es idóneo para este fin.

4.3.4 Análisis de resultados de la evaluación microbiológica

Esta evaluación podría considerarse exclusivamente del comportamiento de las ceras de recubrimiento en el desarrollo del cultivo hidropónico de lechuga en condiciones ambientales normales de producción.

Los parámetros evaluados para el estudio microbiológico fueron el crecimiento de mesófilos aerobios, mohos y levaduras, y *E. coli*//coliformes. Para el análisis se tomó las muestras a los 15 y 30 días.

4.3.4.1 Resultados del análisis microbiológico de mesófilos aerobios.

El análisis de varianza de los resultados se los realizó de manera individual a los 15 y a los 30 días de haber iniciado el proceso de cultivo de la lechuga en el medio nutritivo acuoso. En la tabla 4.14 se muestran los resultados estadísticos evaluados a los 15 días de siembra:

Tabla 4.14:

Análisis de varianza de muestras microbiológicas de mesófilos aerobios a los 15 días de cultivo

Análisis de Varianza					
Variable	N	R ^a	Aj	CV	
Mesófilos aerobios	15	0,7	0,5	90,9	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	18.228,40	4	4.557,10	4,55	0,0237
Error	10.012	10	1.001,20		
Total	28.240,40	14			

El análisis estadístico muestra que el p-valor es menor a 0,05, esto indica que si existe una diferencia significativa entre los tratamientos y que el crecimiento de colonias varía entre ellos. Su análisis funcional se observa en la figura 4.12.

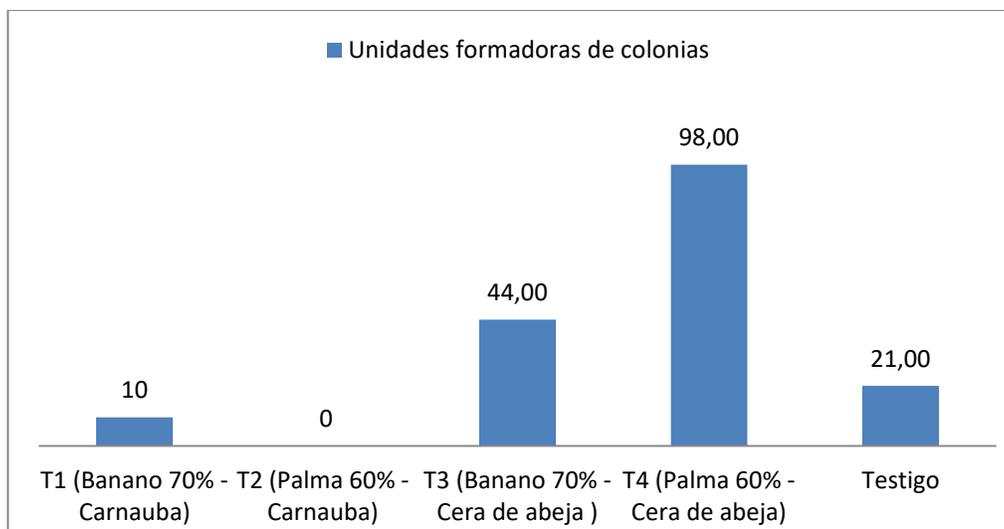


Figura 4.12 Análisis funcional de mesófilos aerobios por el método de Tukey medido en Unidades Formadoras de Colonias (UFC)

Se muestra claramente que el tratamiento 2 constituido por el aglomerado de palma 60% y arrocillo 40% con una cobertura de cera carnauba, al día 15 de cultivo no presenta unidades formadoras de colonias de mesófilos aerobios, mientras que el tratamiento 4 constituido por el aglomerado de palma 60% y arrocillo 40% con una cobertura de cera de abeja presenta a la fecha 98 UFC.

Estos datos pueden respaldarse en las características de la cera orgánica de recubrimiento

El análisis estadístico del segundo resultado del muestreo de presencia de mesófilos aerobios obtenido a los 30 días de cultivo como se presenta en la tabla 4.15.

Tabla 4.15.

Análisis de varianza de muestras microbiológicas de mesófilos aerobios a los 30 días de cultivo.

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Mesófilos aerobios	15	0,29	0,01	240,43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	5.662,40	4	1.415,60	1,02	0,4413
Error	13.839,33	10	1.383,93		
Total	19.501,73	14			

Al presentar un p-valor es mayor a 0,05, indica que no existe una diferencia significativa entre los valores promedios de presencia de UFC de mesófilos aerobios entre los prototipos y el testigo. Esto indica que al finalizar el cultivo, se cuenta con el mismo comportamiento del material alternativo con el del testigo en cuanto a su contaminación por estos microorganismos.

4.3.4.2 Resultados del análisis microbiológico de *E. coli*/coliformes.

Las muestras tomadas para este análisis microbiológico fueron incubadas de acuerdo a los protocolos establecidos para el efecto. Los resultados obtenidos fueron analizados independientemente a los 15 y 30 días contados desde el inicio del cultivo. El primer análisis estadístico de los resultados a los 15 días se lo presenta en la tabla 4.16.

Tabla 4.16

Análisis de varianza de muestras microbiológicas de *E. coli* / coliformes a los 15 días de cultivo.

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
<i>E. coli</i> / coliformes	15	0,27	0	189,3

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	48,93	4	12,2	0,91	0,4
Error	134	10	13,4		
Total	182,9	14			

Este análisis comprueba que no existe diferencia significativa entre los resultados de las UFC de *E. coli* / coliformes entre los tratamientos y el testigo, lo que significa que este valor no será considerado como determinante al proponer el reemplazo del poliestireno expandido. Al día 30 se evalúa nuevamente la cantidad de UFC y los datos se analizaron mediante el análisis de varianza presentado en la tabla 4.17.

Tabla 4.17

Análisis de varianza de muestras microbiológicas de *E. coli* / coliformes a los 30 días de cultivo.

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
<i>E. coli</i> / coliformes	15	0,38	0,13	204,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	5.199,33	4	1.299,83	1,51	0,27
Error	8.590	10	859		
Total	13.789,33	14			

Se obtiene un p-valor mayor 0,05, es decir, que, de la misma manera que los resultados del análisis realizado a los 15 días de cultivo, no existe una diferencia significativa entre el desarrollo de colonias de los tratamientos y el testigo.

4.3.4.3 Análisis microbiológico de mohos y levaduras. Los resultados presentados al analizar la proliferación de mohos y levaduras, medidos en UFC se presentan en el análisis de varianza de la tabla 4.18, en dónde se muestra que el p-valor presentado indica que no existe diferencia entre los promedios de las UFC de los tratamientos frente al testigo.

Los mohos crecen generalmente sobre materiales principalmente en presencia de alta humedad (Álvarez, 2012) es por eso que su evaluación ya en campo es importante. Los resultados estadísticos muestran que el comportamiento de los aglomerados propuestos como alternativa al poliestireno expandido, no presentan comportamientos diferentes al testigo.

Tabla 4.18:

Análisis de varianza de la proliferación de mohos y levaduras a los 15 días de cultivo

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	A _j	CV
Mohos y levaduras	15	0,27	0	333,7

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Material	141,82	4	35,45	0,91	0,5
Error	387,92	10	38,79		
Total	529,73	14			

Se realizó la evaluación a los 30 días de cultivo y los datos se presentan en el la tabla 4.19

Tabla 4.19.

Análisis de varianza de la proliferación de mohos y levaduras a los 30 días de cultivo

Análisis de Varianza				
Variable	N	R ^a	Aj	CV
Mohos y levaduras	15	0,39	0.14	255.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Material	248,67	4	114,7	1,59	0,25
Error	722,67	10	72,27		
Total	1.181,33	14			

De la misma manera que las evaluaciones anteriores, no existen diferencias significativas entre los resultados analizados.

4.4. Contraste de hipótesis

Dentro del análisis es importante el contrastar de manera objetiva las hipótesis planteadas para el estudio frente a los resultados obtenidos, las cuales se describen a continuación:

Hipótesis general:

- Las propiedades mecánicas de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relacionan significativamente con la concentración de sus componentes.

Al finalizar la investigación, se concluyó que en conjunto, las propiedades mecánicas de los materiales desarrollados y evaluados con las técnicas adecuadas para cada caso si se relacionan con las concentraciones de sus componentes, ya sea de la cantidad de aglutinante o de fibra que conformen el material, por lo tanto se acepta la hipótesis planteada en el estudio.

Hipótesis específica 1:

- La dureza de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relacionan significativamente con la concentración de sus componentes.

Para contrastar este enunciado, los resultados presentados en la tabla 4.3 de la evaluación de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, la dureza está dada de manera proporcional por la cantidad de aglutinante que contenga el aglomerado, es decir, mientras mayor cantidad de arrocillo, mayor dureza superficial posee, con esto se aprueba la hipótesis de la investigación.

Hipótesis específica 2:

- La resistencia a la compresión de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relaciona significativamente con la concentración de sus componentes.

Esta segunda hipótesis se demuestra mediante el análisis de datos de las pruebas desarrolladas para el efecto, lo que afirma que la relación entre los elementos componentes y la resistencia a la compresión de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido está relacionada significativamente en cuanto a la cantidad de aglutinante que posee; destacando que material aglomerado conformado por fibra de palma al 50% y arrocillo al 50% presenta una resistencia a la compresión superior a la de las demás muestras evaluadas.

Hipótesis específica 3:

- La resistencia a la flexión con carga transversal de los materiales de soporte, generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido, se relaciona significativamente con la concentración de sus componentes.

La evaluación de esta variable presentó una afirmación contundente en la relación entre la concentración de los componentes y los valores de resistencia a la flexión con carga transversal, pero enfocado en la cantidad de fibra que posee el material mas no de aglutinante, por lo cual sobresale como material óptimo al elaborado con fibra de palma al 60% y arrocillo al 40%.

CAPÍTULO 5: IMPACTOS

Actualmente se vive en un mundo con economías de crecimiento rápido y alto consumo, lo que ha permitido que las materias primas utilizadas para muchos productos son sustituidas al final del ciclo por montañas de basura.

Se está trabajando bajo los conceptos de reducir, reutilizar y reciclar, sin embargo esto da la premisa de estar aceptando la generación de basura y elementos perjudiciales para el ambiente, en palabras comunes se puede decir que el ser menos malo no es igual que ser bueno McDonough (2002).

La sostenibilidad, uno de los conceptos que se encuentran en auge, se basa en tres pilares fundamentales: acción social, medio ambiental y económico.

Hoy en día una nueva generación de profesionales viven la sensibilidad de los problemas ambientales que años de producción industrial ha formado, y aportan al cambio aplicando una nueva visión de producción, iniciando una nueva “revolución verde” basado en el ecodiseño de materiales, trabajando de manera holística durante todo el ciclo de vida del producto: desde su fabricación hasta el fin de la vida útil McDonough (2002)

Es poco probable que la generación de basura disminuya o se elimine en la sociedad por un aspecto moral o tecnológico, pero seguramente cambiará por el potencial económico que la basura pueda generar

La finalidad de esta “revolución verde” es que se construyan fábricas no

contaminantes, productos reciclables y amigables con el medio ambiente, abriendo las puertas al uso de nuevos materiales como fibras naturales, materiales reciclables y subproductos agrícolas McDonough(2002)

Esta visión impulsada mundialmente por Bill McDonough y Michael Braungart (2002) lleva ahora una nueva marca de certificación: Cradle to Cradle™ (C2C) que engloba parámetros exigentes de fabricación de productos, totalmente amigables con el ambiente y que constituyan una solución dentro de los ejes de la sostenibilidad.

La filosofía de C2C se basa en los principios del equilibrio de los sistemas naturales, en dónde los desperdicios le sirven como alimento. Aplicado al área de producción quiere decir que todo debería volver a la tierra sin elementos nocivos.

Una vez que acaba al vida útil del producto, su materia prima puede ser convertida en un nuevo producto para la biósfera que es la envoltura viva de la tierra, y los materiales que no se descomponen serán materia prima para la tecnósfera, considerada el área industrial dónde se desarrollan los productos, generando de esta manera una economía circular que no afecte al medio ambiente porque las materias primas no biodegradables son usadas cíclicamente en procesos productivos consecutivos McDonough(2002)

Esta certificación está ya siendo acogida con muy buenos resultados en grandes empresas como Ford, Nike, Rohner, entre otras, quienes ven en estos nuevos cambios que no solamente se obtiene un beneficio ambiental, sino social y principalmente económico.

La presentación de propuestas que puedan apoyar a este nuevo cambio son aceptables en todo tipo de industrias, desde la producción primaria de materias primas hasta productos con valor agregado.

Esta investigación, de generación y aplicación de materiales alternativos,

amigables con el ambiente como sustitutos al uso del poliestireno expandido, desarrolló aglomerados de fibras y aglutinantes naturales, producidos de manera artesanal, con mínimo impacto energético y máximo aprovechamiento de materias primas sin generación de residuos tóxicos, por lo que constituye una propuesta de beneficio sostenible, no solo desde el punto de vista ambiental, sino también económico dando valor agregado a desperdicios agroindustriales; y también social, por la generación de empleo para las áreas rurales en dónde se obtiene este tipo de materia prima que actualmente es subutilizada.

Dentro de los procedimientos desarrollados para la elaboración de este nuevo material se destacan las siguientes premisas:

- Las materias primas constituyen exclusivamente desperdicios agroindustriales, pudiendo ser de suministro continuo y de bajo costo.
- Los procesos de elaboración de los materiales se los puede realizar de manera artesanal con maquinaria de fácil acceso.
- Los procesos no requieren mano de obra especializada, por lo que cualquier persona puede elaborar este tipo de materiales.
- La composición de aglomerados propuestos, no solamente pueden ser utilizados en la hidroponía, sino que pueden darse diversos usos como empaques secundarios, materiales de soporte, aislantes térmicos o de sonido, etc.
- Estos materiales al ser de origen orgánico son 100% biodegradables y al final de la vida útil pueden ser utilizados como abono para las plantas.
- Al ser una opción viable para la sustitución del poliestireno expandido, su valor está dado además por los costos evitados de reciclaje, transporte y manejo de desechos.

La propuesta está basada en la fabricación de los aglomerados considerando que el crecimiento mundial de esta industria alcanzó el 5,7% en los últimos 10 años ya que se pueden obtener resistencias mecánicas por unidad de peso superiores a materiales convencionales. Su manejo puede ser más favorable

desde el punto de vista que se pueden fabricar piezas únicas de diferentes formas y dimensiones y principalmente porque, para su fabricación poseen menor consumo energético y generación de CO₂ (López, 2010).

García (2009), expone que las energías utilizadas para la fabricación de aglomerados son: fibras vegetales: 106 J/kg, fibra de vidrio: 107 J/kg y fibra de carbono 108 J/kg; es decir, el gasto energético para los aglomerados de fibras vegetales, es menor que las otras alternativas.

Sin embargo hay que considerar que estos materiales también poseen desventajas importantes, y según Puglia et al. (2004) las describe como:

- diferencia en la calidad de las materias primas utilizadas que dependen de las condiciones edafoclimáticas del cultivo de donde provengan
- limitada temperatura en el procesamiento,
- bajas propiedades al esfuerzo comparadas con las fibras minerales,
- baja durabilidad en el tiempo,
- bajo punto de ignición,
- la susceptibilidad de absorber agua por los altos contenidos de hidroxilos (Nguong, 2013).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio se concluye que:

- La relación que existe entre la concentración de los elementos componentes y la dureza de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017 está dada de manera proporcional por la cantidad de aglutinante que contenga el aglomerado, es decir, mientras mayor cantidad de arrocillo, mayor dureza superficial posee.
- La relación que existe entre la concentración de los elementos componentes y la resistencia a compresión de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017 también está dada por la cantidad de aglutinante que posee; pese a que en los resultados no exista una diferencia significativa entre los tratamientos, se destaca que el aglomerado conformado por fibra de palma al 50% y arrocillo al 50% presenta una resistencia a la compresión mayor que sus semejantes.
- La relación que existe entre la concentración de los elementos componentes y resistencia a la flexión con carga transversal de los materiales de soporte generados para uso en hidroponía como sustitutos al poliestireno expandido en Quito en el año 2017 presentan relación entre ellos, siendo el tratamiento con valores superiores el conformado por fibra de palma al 60% y arrocillo al 40%.
- El crecimiento micelial de *Pleurotus ostreatus* en tamo de cebada alcanzó una eficiencia biológica de 72,45%, superando en porcentaje al crecimiento en sustratos convencionales como el de aserrín de roble andino, por lo que su

proliferación constituyó un estudio exitoso, sin embargo la función aglutinadora de fibras del micelio no fue suficiente para generar un material de soporte estable que pueda ser aplicado en el cultivo hidropónico de lechuga por la inestabilidad, fragilidad y dificultad de manipulación que presentó.

- La evaluación del arrocillo como material aglutinante de fibras presentó resultados muy interesantes. La cantidad de almidón presente en las variedades de estudio no presentan diferencias significativas entre sí, por lo que esta característica se hace irrelevante al momento de su evaluación como material aglutinante.

- La cantidad de sólidos hidrosolubles y amilosa que aportan con el poder gelificante del arroz, presentado en la variedad INIAP 15, supero de manera importante a las variedades INIAP14 e INIAP9 que fueron analizadas, y al ser utilizado en la fabricación de aglomerados con fibras naturales, sus propiedades mecánicas fueron similares a las obtenidas en aglomerados aglutinados con urea formaldehído que es el adhesivo común utilizado en la industria, por lo que se concluye que el uso del arrocillo cocido puede reemplazar este pegamento sin afectar las condiciones mecánicas en el aglomerado resultante.

- La dureza del material está dada por la concentración de los elementos componentes pero además interviene el tipo de fibra utilizada, es así que la fibra de banano y de coco al ser fibras largas constituyen materiales de mayor dureza frente a los elaborados con caña de azúcar, sin embargo existe también diferencia que apunta a que a mayor concentración del aglutinante: arrocillo INIAP15, presenta mayor dureza del material. En esta evaluación se concluye que los materiales a base de fibra de coco y de banano, ambos a una concentración de aglutinante del 40% presentan superioridad frente al resto de tratamientos evaluados.

- Los datos arrojados por la evaluación de resistencia a la flexión con carga transversal indican que los dos tratamientos a base de fibra de banano: Banano

al 60% - Arrocillo 40% y Banano 70% - Arrocillo 30%, son los materiales de mayor resistencia frente a los elaborados a base de fibra de coco y fibra de caña de azúcar, es decir que en esta evaluación no depende de la concentración de los componentes sino más bien del tipo de fibra utilizada para la elaboración del aglomerado.

- La evaluación de densidad, también está relacionada directamente con el tipo de fibra, y no con la cantidad de los elementos constituyentes, es así que los tratamientos a base de fibra de coco: Coco 70%- Arrocillo 30% y Coco 60%- Arrocillo 40% constituyeron los materiales más densos y entre estos dos, el de mayor densidad fue el que tiene mayor cantidad de fibra es decir Coco al 70%.

- Pese a que las características que presentó la fibra de coco fueron adecuadas para el desarrollo de los materiales de soporte, este fue separado de la consecución de la investigación por las dificultades presentadas en el desarrollo de los procesos previos a la obtención de fibra como fueron: la obtención de la materia prima, el corte, secado y molienda, por lo que se optó por otro material fibroso proveniente de la misma familia Arecaceae como es la fibra del fruto de la palma aceitera, que luego del proceso de extracción de aceite constituye un desperdicio y es de fácil acceso y manipulación.

- Dentro de los resultados de características mecánicas se destaca que la dureza del material elaborado a base de fibra de palma aceitera y recubierto por cera carnauba fue superior frente al resto de tratamientos evaluados, sin embargo en las evaluaciones de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión con carga transversal, los valores obtenidos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos pero si frente al testigo: poliestireno expandido, mostrando valores muy superiores a este.

- En las evaluaciones microbiológicas de contaminación del material, la toma de muestras a los 15 días de mesófilos aerobios da como resultado que los dos tratamientos cuyos materiales fueron revestidos con la cera de carnauba

tuvieron menor proliferación de unidades formadoras de colonias UFC, que el resto de tratamientos e inclusive que el testigo. El resto de evaluaciones efectuadas como fueron el de E. coli / coliformes y de mohos y levaduras, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo en las tomas de 15 y 30 días, por lo que se puede concluir que el comportamiento frente al poliestireno, en cuanto a la contaminación superficial es muy similar.

- La evidencia inferencial indica que no existen diferencias significativas dentro de los resultados de las evaluaciones mecánicas de la última etapa de investigación, sin embargo existe diferencias descriptivas que sugieren la selección del material en cuanto a su disponibilidad en campo.

RECOMENDACIONES

- Realizar nuevos estudios para el desarrollo de materiales de soporte a base de micelio de hongos en los que involucren diferentes tipos de fibras, tamaño de fibra y métodos artesanales para la inactivación del crecimiento micelial, las cuales pueden basarse en los estudios desarrollados por Bayer (2009).
- Los materiales desarrollados pueden sustituir al poliestireno expandido en su uso en la hidroponía bajo condiciones controladas de temperatura ya que en pruebas de campo se encontró que al estar expuesto el material a temperaturas superiores a 20°C, las ceras de recubrimiento se fragilizan y permiten la hidratación del material fibroso interno, lo que hace que pierda sus propiedades de flotabilidad y se hunda.
- Realizar el escalamiento industrial de los procedimientos de elaboración del material mediante equipos y materiales de mayor precisión y estandarizados para eliminar los problemas de imperfección del material obtenido al realizarlos artesanalmente.
- Realizar un análisis económico de la producción del material pero a escala industrial para que pueda ser comparable con los costos de los métodos tradicionales de cultivo hidropónico que existen actualmente.
- Complementar el estudio de sustitución del poliestireno expandido con materiales alternativos, amigables con el medio ambiente, con la evaluación de las características organolépticas y de mercado de la lechuga obtenida bajo

este sistema alternativo de producción frente a las de un sistema tradicional hidropónico.

- Evaluar los tiempos de biodegradabilidad del material luego de su tiempo de vida útil en el cultivo.
- Realizar pruebas el material para otro tipo de cultivo de hortalizas de ciclo corto.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Achillas D., Giannoulis A. y Papageorgiou G. (2009). Recycling of polymers from plastic packaging materials using the dissolution –reprecipitation technique Polym. Bull. 63, 449 -465. DOI: 10.1007/s00289-009-0104-5
- Aguilar Villamizar, N. (2012). *Evaluación de crecimiento de Pleurotus pulmonarius y Pleurotus ostreatus en dos sustratos bajo condiciones naturales en la granja el hangar del municipio de Piedecuesta (Santander)*. Bucaramanga: Universidad industrial de Santander.
- Aguinaga, P. (2012). Evaluación de cuatro sustratos para la producción de hongo ostra (Pleurotus Ostreatus), en tres ciclos de producción de la zona de Tambillo, Provincia de Pichincha. Quito.
- Álvarez, A., et. al (2012). Poliestireno expandido EPS. Recuperado de <http://www.ifuap.buap.mx>
- Anape. (2011). Propiedades del EPS. Recuperado de <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>
- Aradas, A. (2013) Ideas para reemplazar plástico. Recuperado de http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2013/12/131217_ciencia_tres_ideas_para_reemplazar_plastico_np
- Ashley (20013). 9 Materiales que cambiarán el futuro de la fabricación. Scientific American. Recuperado de <https://translate.google.com/translate?depth=1&hl=it&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&tl=es&u=http://www.scientificamerican.com/article.cfm%3Fid%3D9-materials-that-will-change-manufacturing>

- Asociación de Corrugadores del Caribe (2014). Métodos e Instrumentos de Prueba para el Cartón Corrugado. Recuperado de <http://www.elempaque.com/revista-digital/>
- ASTM D 3418-12e1. Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. ASTM Book of Standards. 08.02. DOI: 10.1520/D3418-12E01
- ASTM E 1131-08 Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. ASTM Book of Standards. 14.02. DOI: 10.1520/E1131-08
- Barona, J. (2015). Se incrementa producción arroceras de Ecuador. Ministerio de Agricultura. Recuperado de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/incrementa-produccion-arrocera-ecuador-entrega-semilla-certificada-e-insumos-asegura>
- Benavidez, R. A. (2006). El Arroz su Cultivo Y Sustentabilidad En Entre Ríos (Vol. 2). Universidad Nacional del Litoral.
- Bernal, P. (2012). Mycobond, hongos el nuevo plástico. Recuperado de <http://mycobond.wikispaces.com/El+producto+Mycobond>.
- Besednjak, A. (2005). Materiales Compuestos. Catalunya: edicions-upc@upc.edu.
- Bilbao, M. D. (2013). Patente nº WO2013004873 A1.
- Boullosa, N. (2011), MycoBond: cómo los hongos podrían sustituir a los plásticos. Recuperado de <http://faircompanies.com/news/view/comohongos-podrian-sustituir-aplasticos/>
- Caram, J. (11 de Septiembre de 2011). Materiales que garantizan el futuro: micelio. Recuperado el 6 de Junio de 2015, de <http://www.unaus.eu/blog/19-materiales-que-garantizan-futuro-micelio-cuerpo-vegetativo-de-hongos>
- Carchi, D. (2014). Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa. Recuperado de

- <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5292/1/tesis.pdf>
- Carvajal, G. (2010). Evaluación de la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* sobre cinco sustratos. Ibarra.
- Castillo M. (2012). Informe Ejecutivo -Consultoría para la realización de un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos Domésticos y Asimilables a Domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado de http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf
- Castillo, M. (Enero de 2014). Informe Ejecutivo - Consultoría para la realización de un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos Domésticos y Asimilables a Domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado de http://www.emaseo.gob.ec/documentos/pdf/Caracterizacion_residuos.pdf
- Chávez, R. (2016). Espuma de Poliuretano: aislante industrial. Recuperado de http://www.kaefer.pe/Binaries/Binary1820/Kostec_PUR.pdf
- CINCAE (2013). Caña de Azúcar: Cultivo para la sostenibilidad. Recuperado de <http://cincae.org/cana-de-azucar-cultivo-para-la-sostenibilidad/>
- Cistone D., Moore L. y Carreras E. (2003). Polystyrene reclamation process. Patente EP1325066 (B1). Recuperado de http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=EP&NR=1325066B1&KC=B1&FT=D&ND=3&date=20050119&DB=EPODOC&locale=es_LP
- COMMISSION, E. (2014). Union Guidelines on Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles. Recuperado de http://ec.europa.eu/food/food/chemicalsafety/foodcontact/docs/10-2011_plastic_guidance_en.pdf
- Contreras W y M.de C. OWEN. 1997. Elaboración de un elemento estructural laminado, tipo parallam, con tiras de caña brava *Gynerium sagittatum* y adheivo fenol-formaldehído. Revista Forestal Venezolana. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela 41(1): 20-32.

- Contreras, W., (1999). Elaboración de Tableros Aglomerados de Partículas de Caña Brava. (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo urea-formaldehído. Recuperado de http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24194/1/articulo43_2_1.pdf
- Cornini, V. (6 de Noviembre de 2014). Oficina Española de Patentes y marcas. Recuperado de http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/34/43/ES-2344335_T3.pdf
- Coulson J., y Richardson J. (2003), Ingeniería Química, Operaciones básicas Tomo II. Barcelona España: Reverté S.A.
- Dacosta, Q. (2008). II Taller la bomba bistrot : hacia una alimentación más sana y sostenible. Recuperado de www.noselepuedellamarcocina.com/2008/07/04/la-harina-de-arroz-como-espezante-estabilizante-y-gelificante-intantaneo/
- Dirección Gestión de la Calidad Ambiental. (2013).Listado de Gestores – Actualizado 05-03-2013. Recuperado de <http://www.cip.org.ec/en/topicos-de-interes/2012-11-07-17-16-48/ambiente-y-seguridad-industrial/255circulares-marzo-2013/741-gestores-autorizados-de-residuos,-consultoresambientales-y-laboratorios-ambientales-egistrados-dentro-del-distrito-metropolitano-de-quito.html>
- Enciclopédico, D. (2015). Web Conocimiento. Recuperado de <http://elantivirus.com/letra-p/poliestireno.php>
- Escobar, S. (2010). Materiales de construcción para edificación y obra civil. Alicante: Editorial club Universitario. pág. 298
- FAO. (2004). Arroz y nutrición Humana. Recuperado de <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf>
- FAO. (2005). La apicultura y los medios de vida sostenible. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/008/y5110s/y5110s0>
- FAO. (2005). La cera de abejas - Un producto útil y valioso. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/008/y5110s/y5110s07.htm#Contents>
- FAO. (2012). Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas

- Banano. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y5143s.pdf>.
- FAO. (2015). Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>
- Fernández JG, Ingber DE. Unexpected Strength and Toughness in Chitosan-Fibroin Laminates Inspired by Insect Cuticle. *Advanced Materials* [Internet]. 2012;24 :480-484.
- Fernández, J. (2011). Biocombustibles derivados del maíz. España: Mundi Prensa.
- Gaceta Parlamentaria, Número 3706-VIII, martes (2013) <http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2013/feb/20130212-VIII/Proposicion-3.html>
- García, A. (2010). Principio de Arquímedes. Recuperado de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/arquimedes/arquimedes.htm>
- García, G. (2006). Estudio de factibilidad para la producción de aceite de palmiste en Quinindé provincia de Esmeraldas. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/191/1/81021.pdf>
- García, J. J.: "Influencia de las Fibras Naturales en Composites Biodegradables". En: Congreso Cidemco-Tecnali, Madrid, 2009.
- García L. (2012) Características del agua a usarse en hidroponía Recuperado de: <https://agriculturamecanizada.jimdo.com/articulos/>
- García M., et. al. (2009). Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents. *Journal Mater Cycles Waste Manag*11:2–5 (2009), 2. DOI:10.1007/s10163-008-0210-8.
- García M., et. al. (2009). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Journal Waste Management*. 29(2009), 1814 -1818. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09000038>.
- García, m. 2003. Cultivo de setas y trufas. Editorial Mundi-Prennsa. Madrid. España. 239

- García, N. (2006). Revista mexicana de micología. Recuperado de <http://revistamexicanademicrologia.org/wp-content/uploads/2009/10/15.%20RMM%20TR-077.pdf>
- García, S. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. Recuperado de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE09/garcia.pdf>
- García, W. (2012). El Sistema Agroalimentario del Banano en el Ecuador. Recuperado de <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2012/04/el-sistema-agroalimentario-del-banano.html>
- Garzón, J. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos lignocelulósicos de diferente procedencia. Bogotá.
- Garzón, J. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos. Recuperado de http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA10_ARTORIG2_pleur.pdf
- Gasa, J., Castrillo C. (2002). Criterios de utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes. Universidad de Zaragoza. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1991_13.pdf
- Girón, C. et al.(2001). Efecto de diferentes residuos vegetales en la computación de cáscaras de cacao. Recuperado de: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5104/art/giron_c.htm
- Giusti, M. (2005), El uso de las bandejas de corcho blancas de poliestireno representa un riesgo toxicológico para el consumidor. Recuperado de <http://www.eraecologica.org/msole/empaque.htm>
- Gualdrón, V. (2009). El medio ambiente nuestra responsabilidad. Recuperado de <http://mavigudi.blogspot.com/2009/01/informacin->
- Guzmán G. (2004) Hidroponía en casa: Una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. Recuperado de: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/Hidroponia.pdf

- Guzmán, G. (2004). Hidroponía en casa: una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica. Recuperado de: http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/Hidroponia.pdf
- Harvard, U. (2008). Polystyrene Fast Facts. Recuperado de <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic967858.files/PolystyreneFactSheets.pdf>
- Hernández R. (2007). *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis257.pdf>
- Hernández, R., (2005) Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Illana, C. (2014). Hifas de hongos como material de empaquetado y de construcción. Yesca 26: 21-26, Recuperada de <http://somican.com/wp-content/uploads/2016/10/revista-micologia-somican-cantabria-yesca-26.pdf>
- INEN. (1995). Norma técnica ecuatoriana para tableros de partículas. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/n-te_inen_3110.pdf
- Insulfoam. (2010). Properties, performance and design fundamentals of expanded polystyrene. Recuperado, de <http://insulfoam.com/wp-content/uploads/2014/05/Properties-Performance-and-Design-Fundamentals-of-Expanded-Polystyrene-Packaging.pdf>
- Izquierdo J. (2003) ¿Qué es la hidroponía?, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado de <http://www2.mgap.gub.uy/BibliotecasdelMGAP/BibliotecaCentral/Boletines/B6Publicaciones/Hidroponia.pdf>
- James, C. (2009). Banano, origen e influencia en la economía ecuatoriana. Recuperado de <http://carlosjames-carlosjames-1.blogspot.com/>
- Januário, F. (2010). Tableros de partículas de bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad) y resina poliuretana a base de aceite de rícino (*Ricinus communis* L.). Recuperado de

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400018&script=sci_abstract&lng=es

Jiménez, V.(2015) Nueva York prohíbe los envases de poliestireno de la comida rápida. Recuperado de: https://elpais.com/internacional/2015/01/08/actualidad/1420745260_408510.html

Larrahondo, J.,(1995).Calidad de la caña de azúcar. Cali, Colombia. CENICAÑA. Recuperado de:http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p337-354.pdf

Latham, M. (2002). Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Ithaca.

León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. Colombia: Agroamérica. pág. 517

López D., et. al. (2013). Tratamiento de residuos de Poliestireno expandido utilizando solventes verdes. Recuperado de [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulo/\(A\)Ingeniar_2013_Tratamiento_de_Residuos_Comerciales_e_Industriales_de_Poliestireno_Expandido_Utilizando_Solventes_Verdes_1278.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulo/(A)Ingeniar_2013_Tratamiento_de_Residuos_Comerciales_e_Industriales_de_Poliestireno_Expandido_Utilizando_Solventes_Verdes_1278.pdf). (Enero, 2014)

López, M. (2010) Los composites son los materiales que más innovan eMagazines Plástico. [en línea] 2010, Recuperado de: www.interempresas.net/Plastico/Articulos/40358-Luis-Lopez-Mateo-Los-composites-son-los-materiales-que-mas-innovan-en-todo-el-mundo.html

López, S. (2013). Extracción de Almidón de Arroz a partir de Arroz de Rechazo Molido como Viscosante en la Elaboración de Cinco Cosméticos. Guatemala.

López, S., y Díaz, G. (2012). Extracción de almidón a partir de arroz de rechazo molido como viscosante en la elaboración de cinco cosméticos. Guatemala.

MAGAP. (2013). SINAGAP. Recuperado de: http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/palma_afri_cana.pdf

- MAGAP. (2015). Ecuador aumenta exportación de banano en el 2015. Recuperado de http://ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=2818790105&umt=ecuador_aumenta_exportacion_banano_en_2015
- MAIPU, (2013). Huerto hidropónico urbano escolar. Recuperado de <http://huertohidroponicocch.jimdo.com/m%C3%A9todo-ra%C3%ADz-flotante/>
- Manrique, A. R. (2012). Aprovechamiento de los Residuos del Pseudotallo del Banano Común y del Bocadillo para la Extracción de Fibras Naturales. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1706/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-7.pdf>
- Martín, M. (2014). El aceite de palma como ingrediente en leches artificiales. Recuperado de <https://crianzaconapegonatural.blog/2017/03/29/el-aceite-de-palma-como-ingrediente-en-leches-artificiales/>
- Marulanda C. (2003) La Huerta Hidropónica Popular. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ah501s.pdf>
- McCauley (2015) ¿Por qué cada vez más ciudades prohíben el poliestireno? Recuperado de: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150701_poliestireno_prohibicion_lp
- McDonough(2002). Cradle to cradle. Recuperado de <http://www.cradletocradle.com/>
- Mejía, M. (2012). Elaboración de tableros aglomerados auto- adheridos a partir de fibra de raquis de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4638/1/CD-4269.pdf>
- Meraz, L., et. al. (2014). Estudio de la Humectación de Aglomerados de Malto dextrina a través del Ángulo de Contacto. México. Recuperado de www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/.../AREA.../CV-61.pdf
- Minaya, E., y Romero, C. (2015). Cultivo en raíz flotante de cilantro y lechuga,

- técnica hidropónica. Recuperado de <http://expociencias.com.mx/project/cultivo-en-raiz-flotante-de-cilantro-y-lechuga-tecnica-hidroponica/>
- Morán, P. (2011). Uso terapéutico del látex de la hoja de plátano (*Musa X paradisiaca* L. (pro sp.)) para las aftas y fuegos bucales. Recuperado el 6 de Junio de 2015, de http://www.tlahui.com/medic/medic32/platano_latex.htm
- Moreno, B. (2015) Rendimientos de arroz en cáscara en el Ecuador, primer cuatrimestre del 2015. Recuperado de: http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_arroz_2015.pdf
- Morreira, K. (2013). Reutilización de Residuos de la Cáscara de Bananos y Plátanos para la Producción de Alimentos para el Consumo Humano. Recuperado de http://www.academia.edu/20435157/REUTILIZACION_DE_RESIDUOS_DE_LA_CASCARA_DE_BANANOS .
- Muñoz, E. (2013). Comisión de proyectos y transferencia de tecnología ESPOCH.
- Nguong, C.; Lee, S. y Sujan, D. (2013). “A Review on Natural Fibre Reinforced Polymer composites” *International Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering*, ISSN: 1542-6580, (1): 33-40.
- Notari M. y Rivetti F. (2005). Use of dialkyl carbonates as solvents for expanded polystyrene. Patente WO 2005023922 A1. Recuperado de <http://www.google.st/patents/WO2005023922A1?cl=en>
- Nova chemical. (2005). Expandable polystyrene. Recuperado de http://www.novachem.com/Product%20Documents/DYLITE-EPS_Guide_AMER_EN.pdf
- Nova Chemicals. (2005). Expandable polystyrene. Recuperado de http://www.novachem.com/Product%20Documents/DYLITE-EPS_Guide_AMER_EN.pdf
- ONI. (2000). Tracción. Recuperado de

<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/Ensayos/flexion.htm>

- ONU, N. U. (1998). Protocolo de Kyoto. Tratado del protocolo de kyoto. Kyot.
- Organización Internacional del Café. (2005). Organización Internacional del Café. Recuperado de <http://www.ico.org/documents/ed1967c.pdf>
- Ortiz, J. (2008). Aprovechamiento de los residuos de la palma africana. Recuperado de <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/CONAMET-SAM2008/pdfs/a9.pdf>
- Ossa, A. (2009) Comportamiento mecánico del poliestireno expandido (EPS) bajo carga de compresión. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3461/ossalopez.pdf?sequence=1>
- Padilla, M. (2013). Utilización del Banano de Rechazo para la Alimentación de Cerdos. Recuperado de www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-0253.PDF
- Pajas de trigo y cebada. (2011). FEDNA. Recuperado de http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/paja-de-cereales-trigo-y-cebada
- Pastor, N. (2000). datateca.unad. Recuperado de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30161/Curso_AVA_2014-2_/Unidad_1/Referencias_bibliograficas_requeridas/Utilizacion_de_sustratos_en_viveros.pdf
- Perdomo, G. (2002). Plásticos y medio ambiente. Iberoamericana Polímeros , 11,12,13.
- Pérez, R. (2005). Revista mexicana de micología. Recuperado de [evistamexicanademicologia.org/wp-content/uploads/2009/10/Vol20%20\(9\).pdf](http://evistamexicanademicologia.org/wp-content/uploads/2009/10/Vol20%20(9).pdf)
- Pilco, J. (2015). Informe Técnico de Caña de Azúcar. Recuperado de <http://www.inbior.com/documentos/Agro-TLC.pdf>
- Pishgram. (2011). Pishgram Industrial Group. Recuperado de <http://www.pishgamgroup.com/en/history/Expandehistory>
- Plastics Europe. (2010). Plastics Europe. Recuperado de

<http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/expanded-polystyrene.aspx>

- Poletto M., Dettenborn J, Zeni M. y Zattera J. (2010). Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour. *Journal Waste Management*. 31(2011), 779–784. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10005817>.(Noviembre, 2013)
- Proecuador (2014). Aceite de palma y elaborados 2014. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/05/PROEC_AS2016_ACEITEPALMA.pdf
- PROEcuador (2015) Guía logística internacional. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. Quito. Ecuador
- PROEcuador (2016). Banano y plátano. Ecuador. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/compradores/oferta-exportable/banano/>
- Proecuador. (2016). Análisis Sectorial. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2016/09/PROEC_AS2016_BANANO.pdf
- Puglia, D., Biagiotti, J. y Kenny, M., “A Review on Natural Fibre-Based Composites– Part II: Application of Natural Reinforcements in Composite Materials for Automotive Industry”. *Journal of Natural Fibers*, ISSN: 1544-0478, 1 (3), 23-65, 2004
- Quiminet. (2011). Todo lo que quería saber de la cera carnauba. Recuperado de <https://www.quiminet.com/articulos/todo-lo-que-queria-saber-de-la-cera-de-carnauba-57200.htm>
- Quintanilla, M. (2012). Industrialización de la Estopa de Coco. Recuperado <http://ri.ues.edu.sv/431/1/10136579.pdf>
- Quintero, C. 2013. Reciclaje termo - mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/762/TE SIS%20CARLOS%20QUINTERO.pdf?sequence=1>

- Ramírez, B. (2015). Gelatinización y Gelificación de Almidones. Perú. Recuperado de http://www.academia.edu/17812160/04.-_GELATINIZACION_Y_GELIFICACION_DE_ALMIDONES
- Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s08.htm>
- Redrobit D. (2013). Bacterias De Salar De Uyuni En Bolivia Ocultan Bioplástico. Pensamientos bolivianos en un mundo emergente. Recuperado de <https://bolivianthoughts.com/tag/bacillus-megaterium-uyuni-s29/>
- Roca, G., (2012). Caracterización del Bagazo de Caña de Azúcar. Recuperado de http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100036&script=sci_arttext
- RockWool. (2016). RockPlus Kraft. Madrid. Recuperado de www.isolantieprofili.it/docs/rockwool/rockplus-kraft.pdf
- Rodríguez, A. (2013). Alta producción de poli (3-hidroxitirato) de una cepa boliviana salvaje de Bacillus megaterium. Pubmed, Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23360297>
- Rodríguez, B. (2017). Recubrimiento orgánico. Recuperado de <https://es.slideshare.net/bryandavid24/recubrimiento-organico>
- Rodríguez, J. (2013), Biomaterial sustituto del poliestireno expandido. Recuperado de <http://www.saberesyciencias.com.mx/sitio/component/content/article/10-portada/426-biomaterial-sustituto-del-poliestireno-expandido>
- Rodríguez, M. (2011). Reducir con plástico orgánico: MycoBond. Modelo de Transformación N° 3. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Acción Social.
- Rodríguez, M. (2013). Elasticidad y resistencia de materiales II Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia. (pág. 44).
- Román, D. (2010). Evaluación de cinco sustratos combinados con tres concentraciones de ceniza volcánica en dos tipos de bandejas para la obtención de plántulas de uvilla bajo invernadero. Riobamba. Recuperado de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/583>

- Saltos A. (2014) Futuro prometedor para el coco. Recuperado de:
<http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/304394-futuro-prometedor-para-el-coco/>
- Salvador, M. (2014) Ecuador prohíbe uso de vasos y fundas plásticas en las islas Galápagos Recuperado de
<http://www.eluniverso.com/noticias/2014/11/20/nota/4248931/gobierno-prohibe-uso-fundas-plasticas-galapagos>
- Samper M., Rico M., Ferrándiz S. y López J. (2008). Reducción y Caracterización del Residuo de Poliestireno Expandido. En I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Alcoy, España. Recuperado de <http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A27.pdf>. (Julio, 2013)
- Sample, I. (2014) cinco materiales que podrían cambiar el mundo. Theguardian Recuperado de <https://www.theguardian.com/science/2014/apr/15/five-wonder-materials-graphene-shrilk-spider-silk-stanene-could-change-world>
- Schmidt P., Cioffi M., Voorwald H. y Silveira J. (2011). Flexural Test on Recycled Polystyrene. Procedia Engineering.10, 930 –935. Recuperado de
https://libdigital.epn.edu.ec/+CSCO+ch756767633A2F2F6E702E7279662D702171612E70627A+3511632570@2940928@1371782074@893C7674B0F3653E37C424B725AE4AAC86522EC4+/S1877705811003419/1-s2.0-1877705811003419-main.pdf?_tid=61407aee-da1d-11e2-9f460000aacb360&acdnat=1371783229_cd34e1ab9ada076a0802d5ea47687098 (Julio, 2013)
- Schmitt T. (2012). MNL17-2ND: Methods for Polymer Molecular Weight Measurement. ASTM Book of Standards. Capítulo74. DOI:10.1520/MNL12254M (Febrero, 2014)
- Sigma-Aldrich Co. LLC. (2014). Tetrahydrofuran Physical Properties. Recuperado de
<http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/solvents/tetrahydrofuran-center.html>

- Sigma-Aldrich Co. LLC. (2014). Toluene Physical Properties. Recuperado de <http://www.sigmaaldrich.com/chemistry/solvents/toluene-center.html>
- Silva, B. M. (2011). Produção de poliestireno de propósito geral. Recuperado de universidad regional de Blumenau: http://www.bc.furb.br/docs/MO/2011/349015_1_1.pdf
- Smink V. (2010) Ideas para reemplazar el plástico. Recuperado de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/11/101129_argentina_plastico_biodegradable_maiz_mandioca_rb.shtml
- Society, A. (2015). Chemical Landmarks. Recuperado de <http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/staudingerpolymerscience.html>
- Song, B. (2005). Manual de cultivo de hongo *Pleurotus ostreatus*. Ambato: Minerva, Ambato-Ecuador.
- Southgate, D. A. (1991). Determination of food carbohydrates. ed. 2. Elsevier.
- Tapia M. (2009). Sistemas de cultivo sin suelo: hidropónicos. Recuperado el 07 de diciembre de 2014 de: http://www.sap.uchile.cl/descargas/prod_cultivos/FPC_Sistemas_de_cultivo_sin_suelo.pdf
- Tapia, C. (2007). Elaboración de Tableros de Partícula Fina a partir de Residuos Lignocelulosicos y Resinas Termoestables. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/28795572_Elaboracion_De_Ta_bleros_De_Partícula_Fina_A_Partir_De_Residuos_Lignocelulosicos_Y_Resinas_Termoestables
- Tocagón, M. (2010). Evaluación de la producción del Hongo *Pleurotus ostreatus* sobre cinco tipos de sustratos (tamo de trigo, tamo de cebada, tamo de vicia, tamo de avena y paja de páramo): enriquecidos con tuza molida, afrecho de cebada y carbonato de calcio. Ibarra. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/275261726/EVALUACION-DE-LA-PRODUCCION-DEL-HONGO-Pleurotus-ostreatus-SOBRE-CINCO-TIPOS-DE-SUSTRATOS-TAMO-DE-TRIGO-TAMO-DE-CEBADA-TAMO-DE-VICIA-TAMO-DE-AVENA>

- Tomala, W. (2015). Estudio para la Factibilidad de Siembra de 10 hectáreas de Coco en la comuna Valdivia, Península de Santa Elena. La Libertad. Recuperado de <http://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2257>
- Universidad Nacional Agraria La Molina Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral Recuperado de: http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que_es_hidropon%EDa.htm
- US Patent No. 2013/0224848 A1, 2013 Process for the preparation of bonding agents
- US Patent No. 4863655, 1989 Biodegradable packaging material and the method of preparation thereof PA Altieri, NL Lacourse
- Vaikathusseril R., Thattekatt B. y Thomas E. (2012). Utilization of waste expanded polystyrene: Blends with silican-filled natural rubber. *Journal Materials and Design*.40(2012), 221 -228. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306912002166> (Diciembre, 2013)
- Williams, 2013. Supermateriales. National Geographic. Recuperado de <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/05/125-explore/super-materials>
- Yau W., Kirkland J. y Bly D. (1979). Modern Size –Exclusion Liquid Chromatography. Practice of gel permeation and gel filtration chromatography. Delaware, Estados Unidos.
- Zanuttini, M. (2008). Propiedades del papel. Recuperado de <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/37903>
- Zünkler, B. (2003). Ejercicios sobre elasticidad y resistencia de materiales. Barcelona: Editorial Reverté S.A.

ANEXOS

Anexo 1. Datos generales de resistencia a la flexión obtenidos de las pruebas mecánicas:

RESISTENCIA A LA FLEXION

Tabla de datos:

Tratamiento	Repetición	Carga KN
Fibra de palma con cera de carnauba	1	0,52
Fibra de palma con cera de carnauba	2	0,32
Fibra de palma con cera de carnauba	3	0,42
Fibra de palma con cera de carnauba	4	0,43
Fibra de palma con cera de carnauba	5	0,42
Fibra de palma con cera de abeja	1	0,4
Fibra de palma con cera de abeja	2	0,39
Fibra de palma con cera de abeja	3	0,59
Fibra de palma con cera de abeja	4	0,47
Fibra de palma con cera de abeja	5	0,45
Fibra de banano con cera de abeja	1	0,35
Fibra de banano con cera de abeja	2	0,57
Fibra de banano con cera de abeja	3	0,46
Fibra de banano con cera de abeja	4	0,44
Fibra de banano con cera de abeja	5	0,39
Fibra de banano con cera de carnauba	1	0,31
Fibra de banano con cera de carnauba	2	0,39
Fibra de banano con cera de carnauba	3	0,59
Fibra de banano con cera de carnauba	4	0,48
Fibra de banano con cera de carnauba	5	0,48

Anexo 2. Prueba Anderson-Darling para la resistencia a la flexión

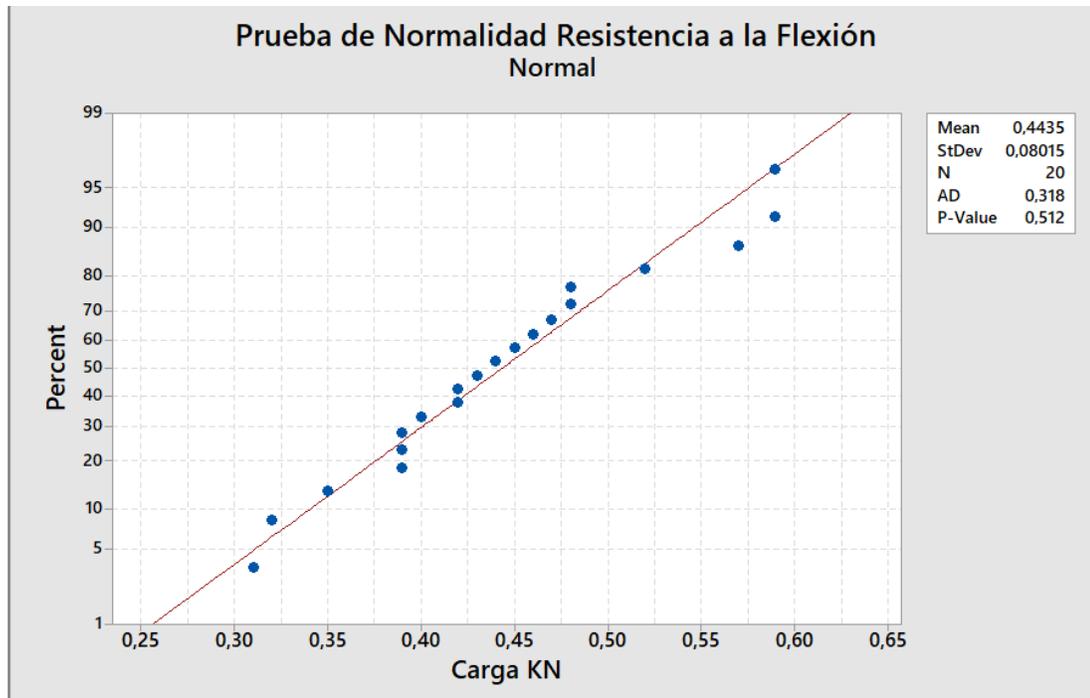
Para la prueba de Anderson-Darling se planteó dos hipótesis:

H_0 = Los datos del experimento tienen distribución normal

H_1 = Los datos del experimento no tienen distribución normal.

Al correr el análisis estadístico en el programa Minitab, se comprueba que el p-Value es mayor a 0,05 y por tanto demuestra que los datos corresponden a una

distribución normal, esto se muestra en la figura a continuación:

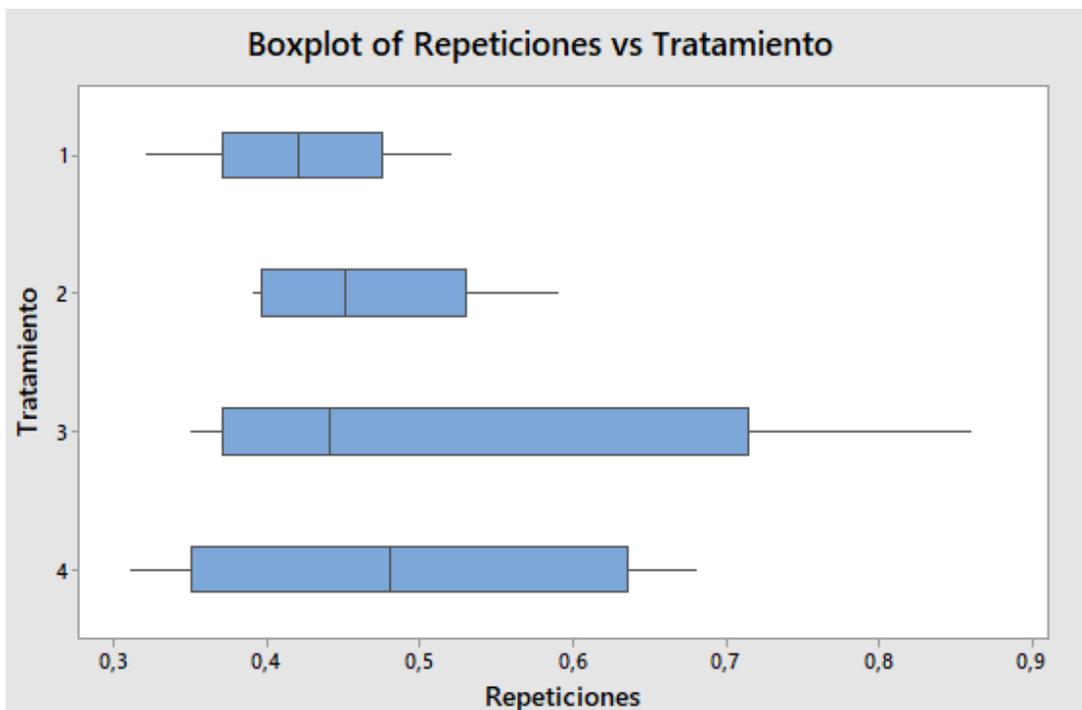
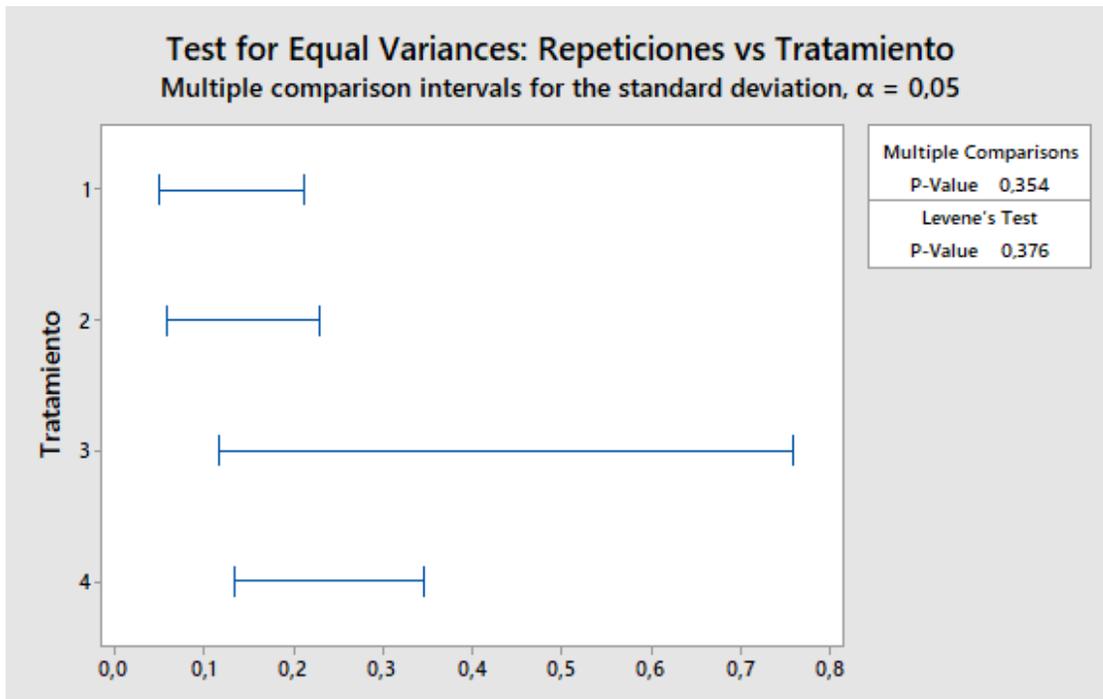


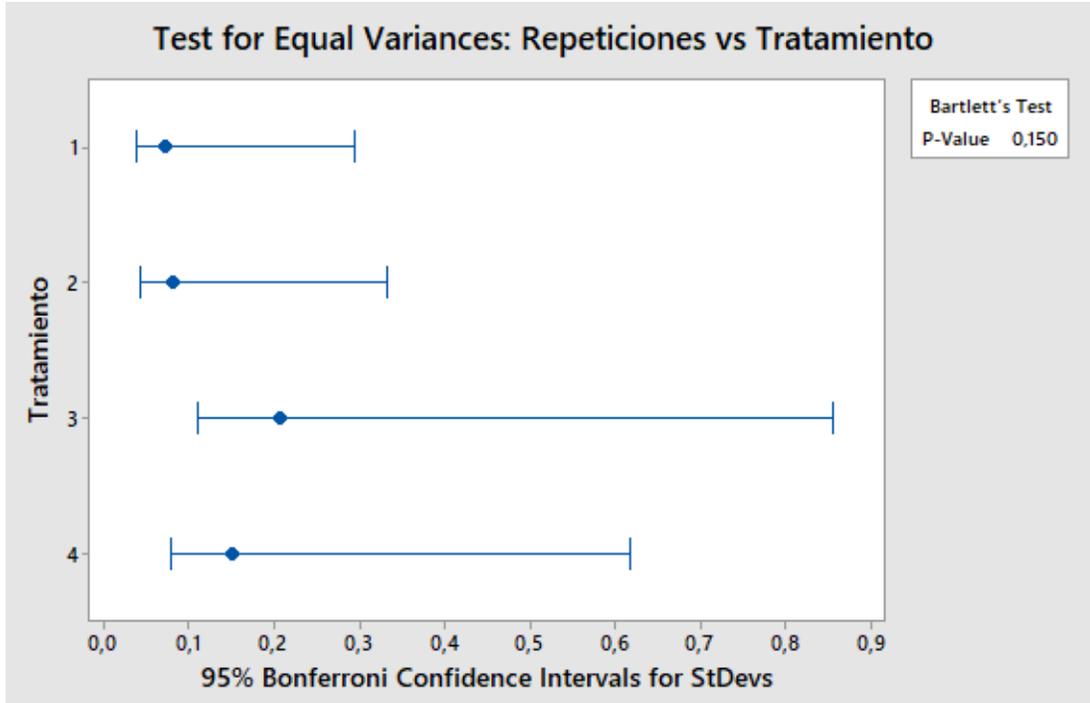
Anexo 3. Prueba de homogeneidad de varianzas para la resistencia a la flexión

Para la prueba de homogeneidad de varianzas de la variable resistencia a la flexión también fue realizada por el Minitab utilizando la prueba de Bartlett y la prueba de Levene. En ambos casos se observa que el p-Value es inferior al nivel de significancia establecido en esta investigación de 0,5 por lo que hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula planteada con un nivel de confianza del 95%.

En las gráficas que muestran a continuación se presenta un p-Value es mayor a 0,01 por lo tanto evidencia de que los datos si procede de una población normal. La evidencia sustenta la hipótesis de que los datos proceden de una

distribución de tipo normal.





Anexo 4. Valores obtenidos por evaluación de dureza superficial por cada tratamiento propuesto:

Tratamiento Fibra de Palma 50% Arrocillo 50%

CARA UNO										
#	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	32	33	36	34	32	34	32	32	33	32
2	31	30	31	30	34	33	34	32	31	30
3	33	34	35	34	34	32	36	32	32	32
4	32	33	35	36	32	31	35	34	31	35
5	31	33	32	30	36	33	34	31	32	34
6	35	36	37	34	33	35	36	34	31	33
7	32	31	34	35	33	36	34	35	32	34
8	34	33	34	31	35	32	37	36	34	35
9	32	33	32	34	35	31	34	35	33	34
10	32	33	35	31	34	35	34	35	31	33

CARA DOS

#	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
1	32	34	31	34	32	33	34	32	33	31
2	35	34	32	33	31	33	32	34	31	32
3	35	33	31	33	34	32	33	31	32	34
4	36	34	33	32	33	31	32	33	34	33
5	33	35	34	33	32	34	32	33	34	34
6	34	33	35	31	32	33	35	32	33	35
7	32	31	33	34	35	34	33	35	32	33
8	33	34	32	35	33	35	33	32	34	33
9	32	34	33	34	33	32	31	32	34	32
10	33	35	33	34	32	31	33	34	32	31

Tratamiento Fibra de Palma 60% - Arrocillo 40%

CARA UNO

#	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	27	28	27	25	26	28	27	27	28	29
2	31	32	31	29	31	35	30	29	30	31
3	30	29	32	30	28	30	32	31	33	34
4	33	32	29	30	31	32	30	29	31	28
5	29	30	31	28	32	32	34	31	29	31
6	27	31	33	29	30	32	28	31	32	33
7	30	31	28	32	27	29	31	33	32	29
8	31	27	30	32	29	30	32	33	29	30
9	29	31	33	34	31	29	31	28	29	30
10	32	31	29	30	32	30	33	30	32	29

CARA DOS

#	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
1	25	26	28	27	28	27	26	28	28	27
2	29	30	32	31	29	30	31	32	33	32
3	28	30	29	33	31	33	32	31	33	32
4	29	30	31	33	32	29	31	33	29	30
5	33	30	29	31	28	29	31	33	34	29
6	29	30	32	33	31	29	32	30	29	30
7	29	31	32	33	34	30	29	32	30	29
8	30	29	33	31	28	33	32	30	29	30
9	29	30	31	33	32	32	33	34	29	30
10	30	29	31	33	32	30	28	29	30	31

Tratamiento Fibra de palma 70% - Arrocillo 30%

CARA UNO										
#	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	29	28	30	27	28	30	30	29	28	29
2	29	30	28	30	28	29	30	29	30	29
3	27	29	30	28	30	28	29	30	29	28
4	29	30	28	27	30	28	29	30	29	28
5	29	30	27	30	29	28	30	31	28	30
6	28	30	31	30	29	28	30	31	29	30
7	30	28	31	29	30	30	28	29	31	29
8	29	30	28	31	29	29	31	28	29	30
9	30	29	31	29	30	29	29	30	31	29
10	28	29	31	31	30	29	28	28	30	31

CARA DOS										
#	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
1	30	31	29	28	30	29	29	28	30	29
2	28	30	29	28	30	29	30	28	30	32
3	29	30	30	29	28	28	30	31	29	29
4	30	26	28	31	30	29	30	29	29	28
5	28	27	31	29	30	31	28	29	31	29
6	28	27	31	29	30	31	28	29	31	29
7	31	29	28	30	31	30	29	31	30	28
8	30	31	29	28	28	30	31	29	30	31
9	29	32	31	28	31	30	28	29	31	30
10	27	29	31	29	28	31	29	29	30	28

DUREZA SUPERFICIAL:**Tabla consolidada de datos:**

Tratamiento	Repeticiones	Dureza
Fibra de palma con cera de carnauba	1	20,77
Fibra de palma con cera de carnauba	2	23,42
Fibra de palma con cera de carnauba	3	22,88
Fibra de palma con cera de carnauba	4	20,58
Fibra de palma con cera de carnauba	5	27,14
Fibra de palma con cera de carnauba	6	23,94
Fibra de palma con cera de abeja	1	19,19
Fibra de palma con cera de abeja	2	14,73
Fibra de palma con cera de abeja	3	16,44
Fibra de palma con cera de abeja	4	16,59

Fibra de palma con cera de abeja	5	17,11
Fibra de palma con cera de abeja	6	16,34
Fibra de banano con cera de abeja	1	15,03
Fibra de banano con cera de abeja	2	16,84
Fibra de banano con cera de abeja	3	17,58
Fibra de banano con cera de abeja	4	14,78
Fibra de banano con cera de abeja	5	16,42
Fibra de banano con cera de abeja	6	14,72
Fibra de banano con cera de carnauba	1	12,91
Fibra de banano con cera de carnauba	2	15,78
Fibra de banano con cera de carnauba	3	19,69
Fibra de banano con cera de carnauba	4	19,41
Fibra de banano con cera de carnauba	5	20,11
Fibra de banano con cera de carnauba	6	19,31

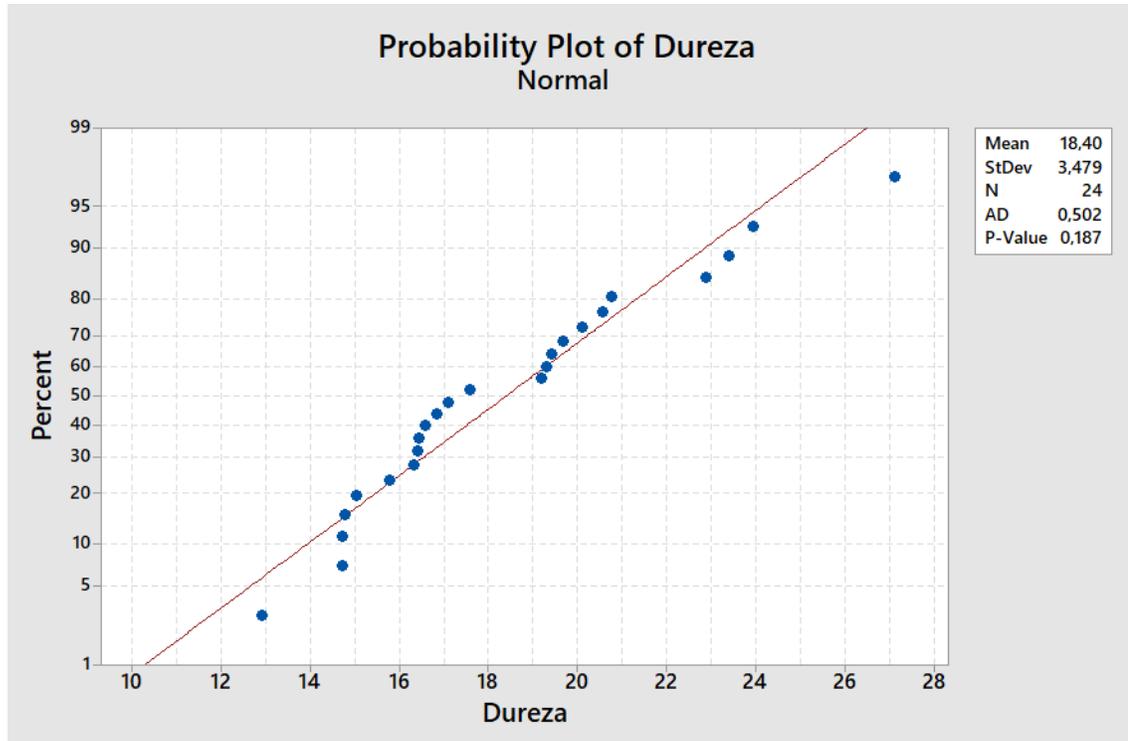
Anexo 5. Prueba Anderson-Darling para la dureza superficial

Para la prueba de Anderson-Darling se planteó dos hipótesis:

H_0 = Los datos del experimento tienen distribución normal

H_1 = Los datos del experimento no tienen distribución normal.

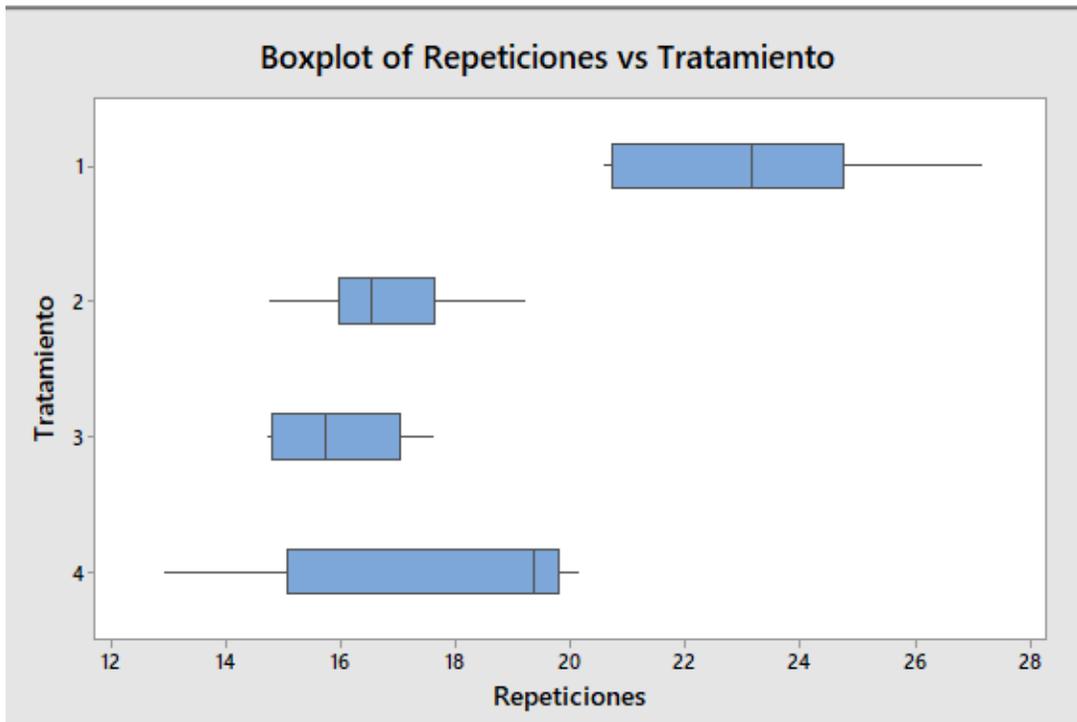
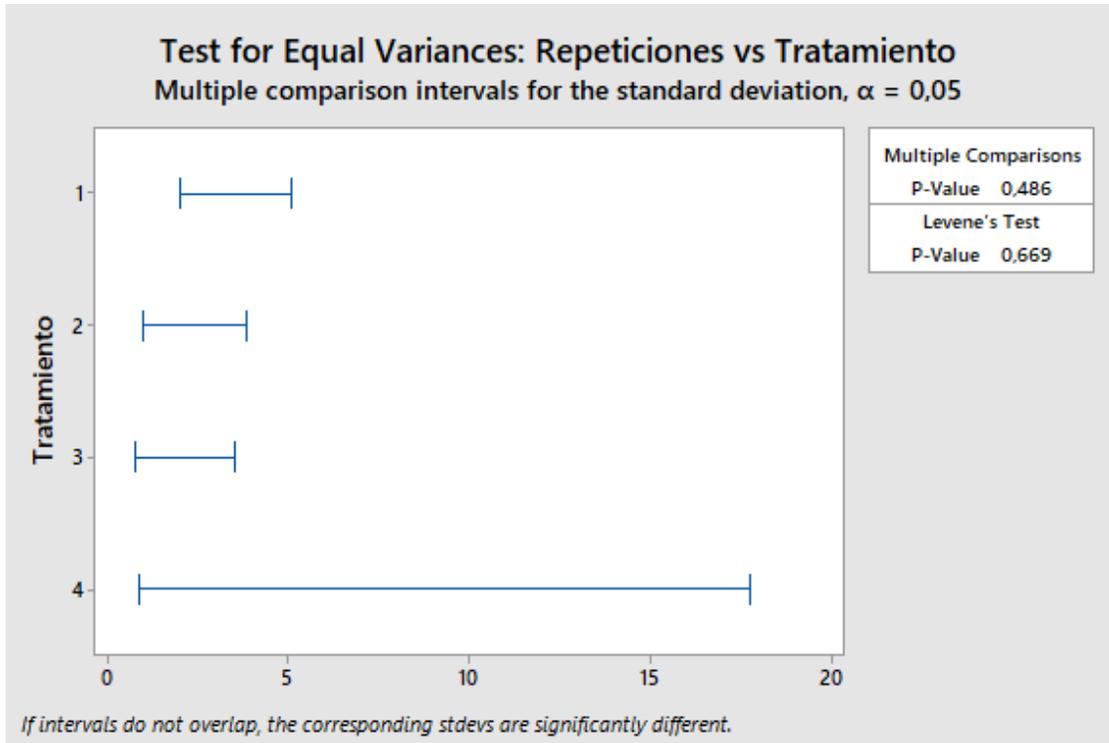
Al correr el análisis estadístico en el programa Minitab, se comprueba que el p-Value es de 0,187 que corresponde a valor mayor a 0,05 y por tanto demuestra también que corresponden a una distribución normal, esto se muestra en la figura a continuación:

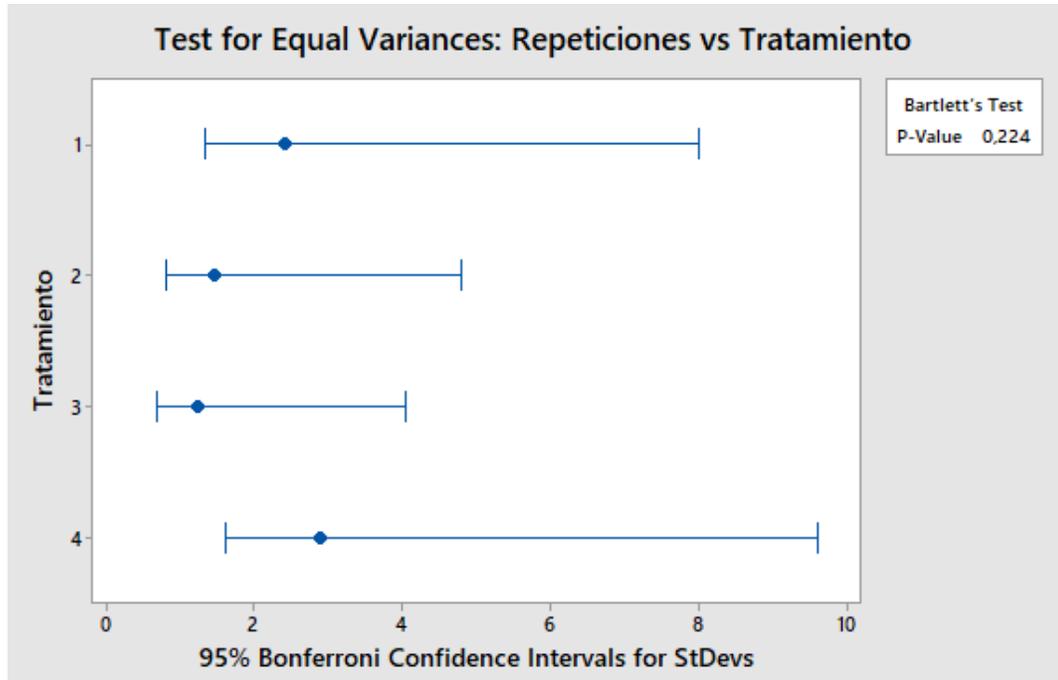


Anexo 6. Prueba de homogeneidad de varianza para dureza superficial

Para la prueba de homogeneidad de varianzas de la variable dureza superficial también fue realizada por el Minitab utilizando la prueba de Bartlett y la prueba de Levene, compartiendo también los resultados anteriores ya que se indica que el p-Value es inferior al nivel de significancia establecido en esta investigación de 0,5 por lo que hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula planteada con un nivel de confianza del 95%.

Se sustenta la hipótesis de que los datos proceden de una distribución de tipo normal ya que en las gráficas que muestran a continuación se presenta un p-Value es mayor a 0,01.





Anexo 7. Valores obtenidos por evaluación de resistencia a la compresión por cada tratamiento propuesto

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla de datos:

Tratamiento	Repeticiones	Resistencia Media
Fibra de palma con cera de carnauba	1	142,90
Fibra de palma con cera de carnauba	2	110,20
Fibra de palma con cera de carnauba	3	78,20
Fibra de palma con cera de carnauba	4	82,90
Fibra de palma con cera de carnauba	5	101,90
Fibra de palma con cera de carnauba	6	97,50
Fibra de banano con cera de abeja	1	111,40
Fibra de banano con cera de abeja	2	111,10
Fibra de banano con cera de abeja	3	131,40
Fibra de banano con cera de abeja	4	126,10
Fibra de banano con cera de abeja	5	107,40
Fibra de banano con cera de abeja	6	101,50
Fibra de palma con cera de abeja	1	109,20
Fibra de palma con cera de abeja	2	107,50
Fibra de palma con cera de abeja	3	104,90

Fibra de palma con cera de abeja	4	116,00
Fibra de palma con cera de abeja	5	111,50
Fibra de palma con cera de abeja	6	107,10
Fibra de banano con cera de carnauba	1	92,70
Fibra de banano con cera de carnauba	2	94,40
Fibra de banano con cera de carnauba	3	97,30
Fibra de banano con cera de carnauba	4	101,40
Fibra de banano con cera de carnauba	5	99,70
Fibra de banano con cera de carnauba	6	95,00

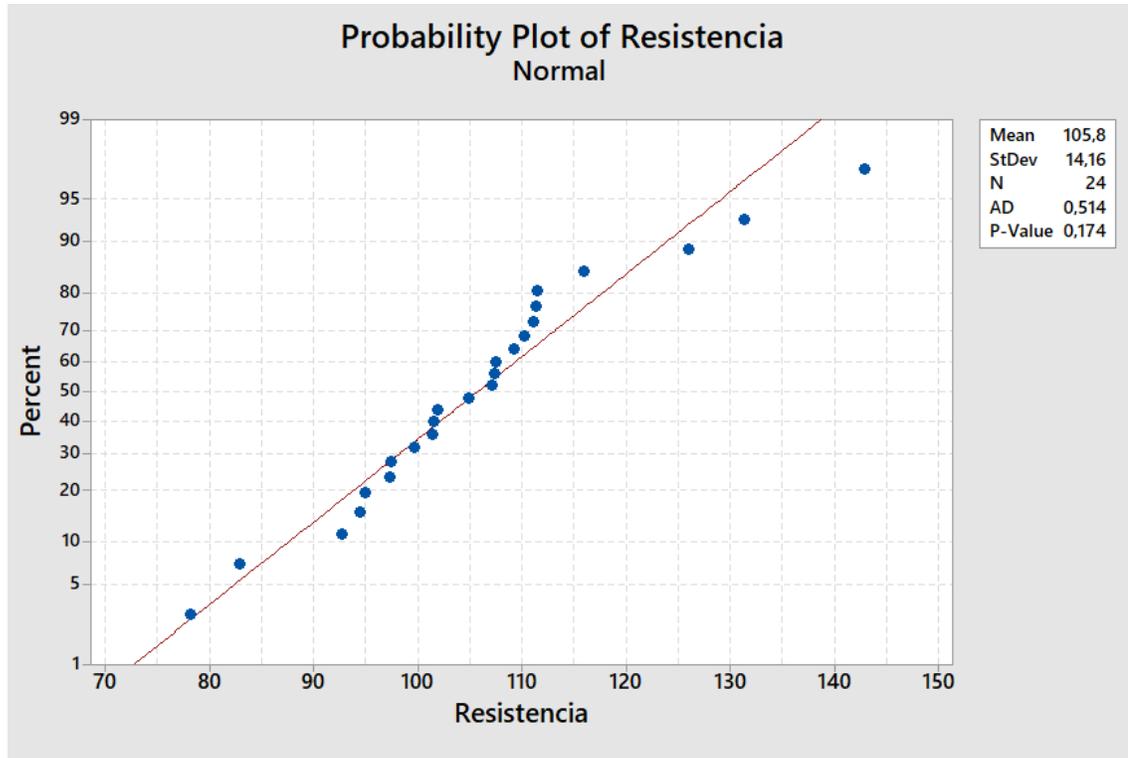
Anexo 8. Prueba Anderson-Darling para la resistencia a la compresión

Para la prueba de Anderson-Darling se planteó dos hipótesis:

H_0 = Los datos del experimento tienen distribución normal

H_1 = Los datos del experimento no tienen distribución normal.

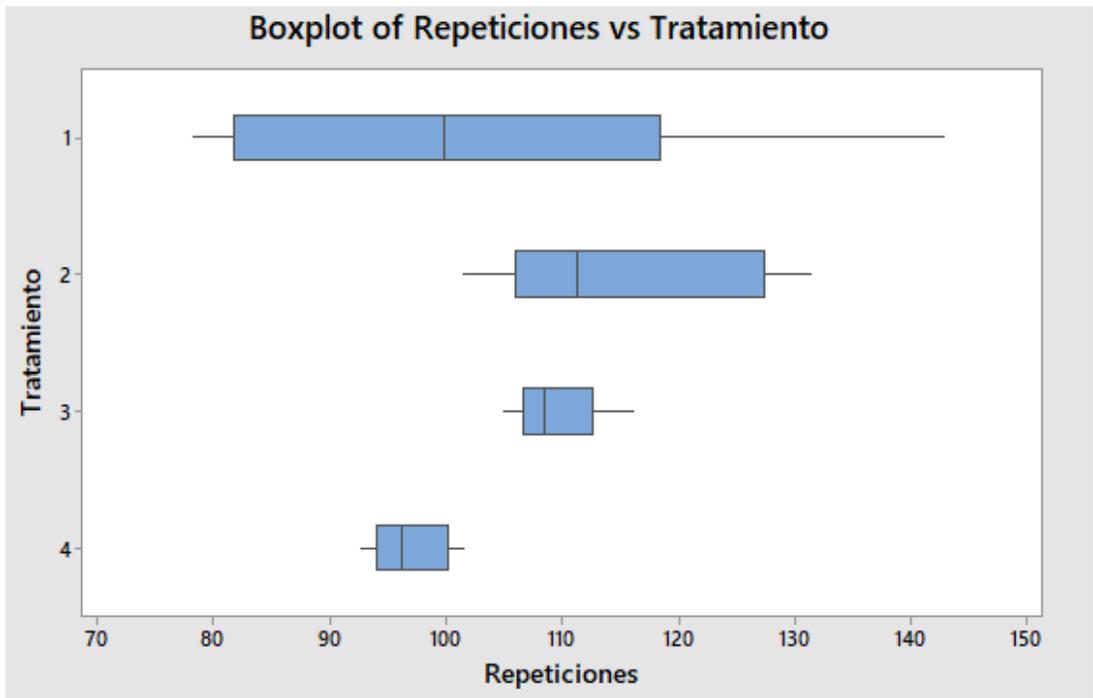
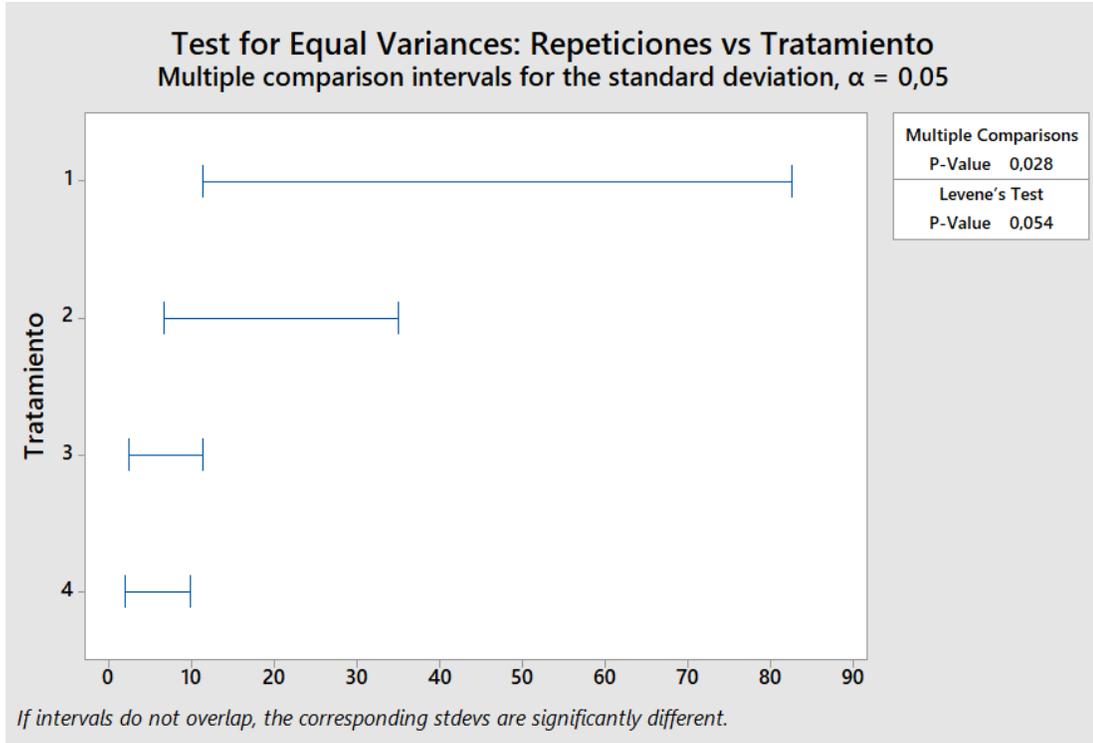
Al correr el análisis estadístico en el programa Minitab, se comprueba que el p-Value es de 0,174 que corresponde a valor mayor a 0,05 y por tanto demuestra también que corresponden a una distribución normal, esto se detalla en la figura a continuación:

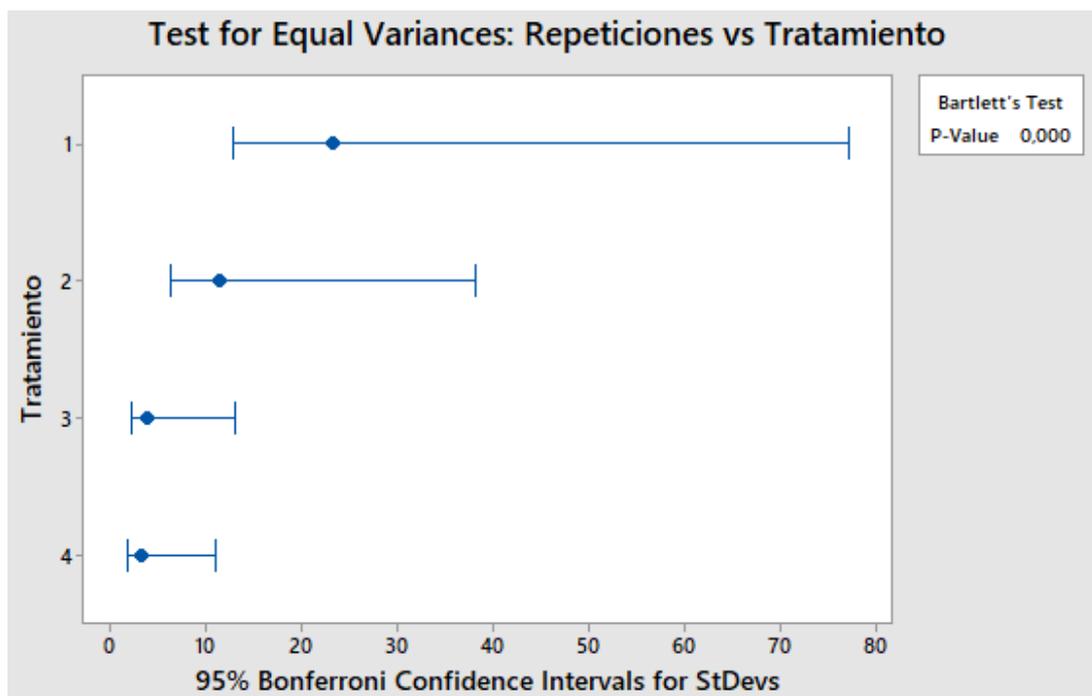


Anexo 9. Prueba de homogeneidad de varianza para resistencia a la compresión

Para la prueba de homogeneidad de varianzas de la variable resistencia a la compresión fue realizada por el Minitab utilizando la prueba de Bartlett y la prueba de Levene. El p-Value es inferior al nivel de significancia establecido en esta investigación de 0,5 por lo que hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula planteada con un nivel de confianza del 95%.

En las gráficas que muestran a continuación se presenta un p-Value es mayor a 0,01 por lo tanto evidencia de que los datos si procede de una población normal. La evidencia sustenta la hipótesis de que los datos proceden de una distribución de tipo normal.





Anexo 10. Resumen de promedios de variables medidas en las propuestas de materiales

Tratamientos		Dureza	Resistencia a compresión	Resistencia a flexión
T1	(Banano 70% - Carnauba 30%)	17,87 ± 0,98	96,46± 8,34	0,54± 0,11
T2	(Palma 70% - Carnauba 30%)	23,12 ± 2,12	102,27 ± 5,98	0,48 ± 0,08
T3	(Banano 70% - Cera de abeja 30%)	15,90 ± 0,86	115,27±7,34	0,63±0,04
T4	(Palma 70% - Cera de abeja 30%)	16,73 ± 1,02	109,29±8,66	0,44±0,06

Anexo 11. Resultados de pruebas físicas. Universidad Salesiana:



*CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD
 Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
 Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750
 Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email etoban@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Lote: 00

Reporte N°: C603

Colada: 00

Código de la probeta: C603

Forma de la Probeta: RECTANGULAR

Operador/Máquina: C.Z

Material: CAÑA

Tipo de sez [C,Q,R,X,E]: r

Lato h [mm]: 127

Lato b [mm]: 40

Area provino [mm²]: 5080

Distanza tra i supporti L [mm]: 110

Ve [mm/min]: 1

Vp [mm/min]: 2

RESULTADOS DE LA PRUEBA

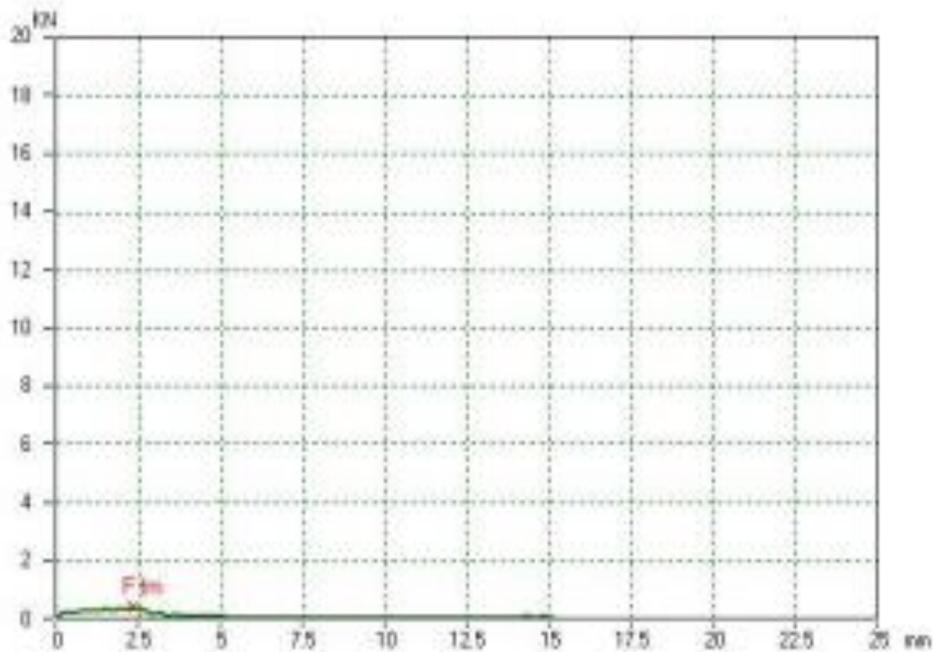
Flecha f:

2.32 mm

Carga máxima F_m:

39 KN

R_m : 0 N/mm²



RESPONSABLE DEL ENSAYO

DIRECTOR DEL LABORATORIO


***CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD**

Calle Vieja 12-30 y Elia Liut

Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750

Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Lote: 00

Colada: 00

Codigo de la probeta: C701

Forma de la Probeta: RECTANGULAR

Operador/Máquina: C.Z

Material: CAÑA

Tipo di sez. [C,Q,R,X,E] : r

Lato h [mm] : 128

Lato b [mm] : 44

Area provino [mm²] : 5632

Distanza tra i supporti L [mm] : 110

V_e [mm/min] : 1V_p [mm/min] : 2

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Reporte N°: C701

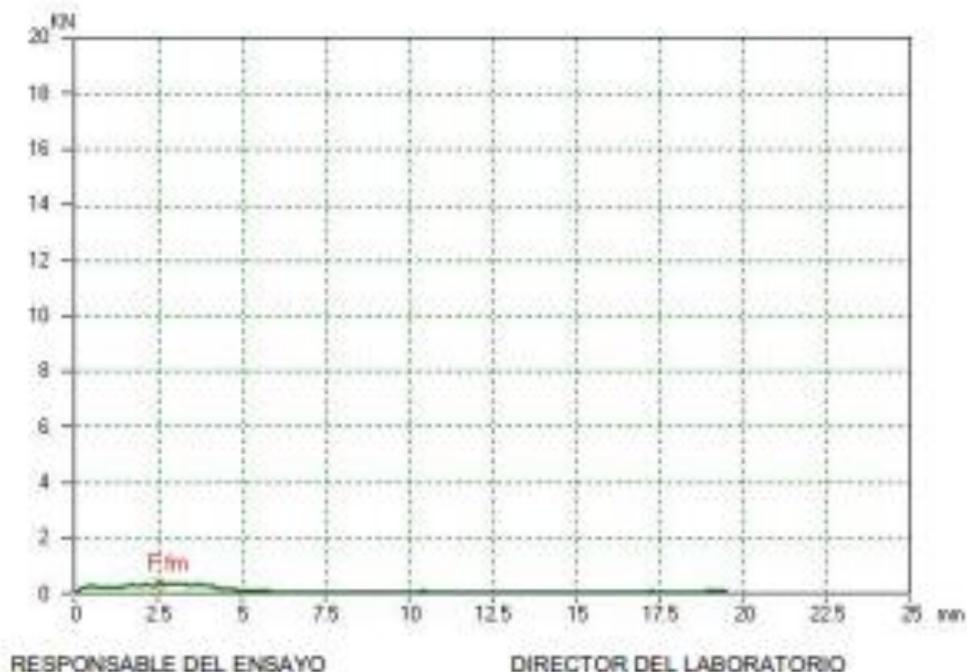
RESULTADOS DE LA PRUEBA

Flecha f :

2.51 mm

Carga máxima F_m :

.37 KN

R_m : 0 N/mm²



CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD
 Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
 Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750
 Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Lote: 00

Reporte N°: C702

Colada: 00

Código de la probeta: C702

Forma de la Probeta: RECTANGULAR

Operador/Máquina: C.Z

Material: CAÑA

Tipo de sez [C,Q,R,X,E] : r

Lato h [mm] : 128

Lato b [mm] : 40

Area provino [mm²] : 5120

Distanza tra i supporti L [mm] : 110

Ve [mm/min] : 1

Vp [mm/min] : 2

RESULTADOS DE LA PRUEBA

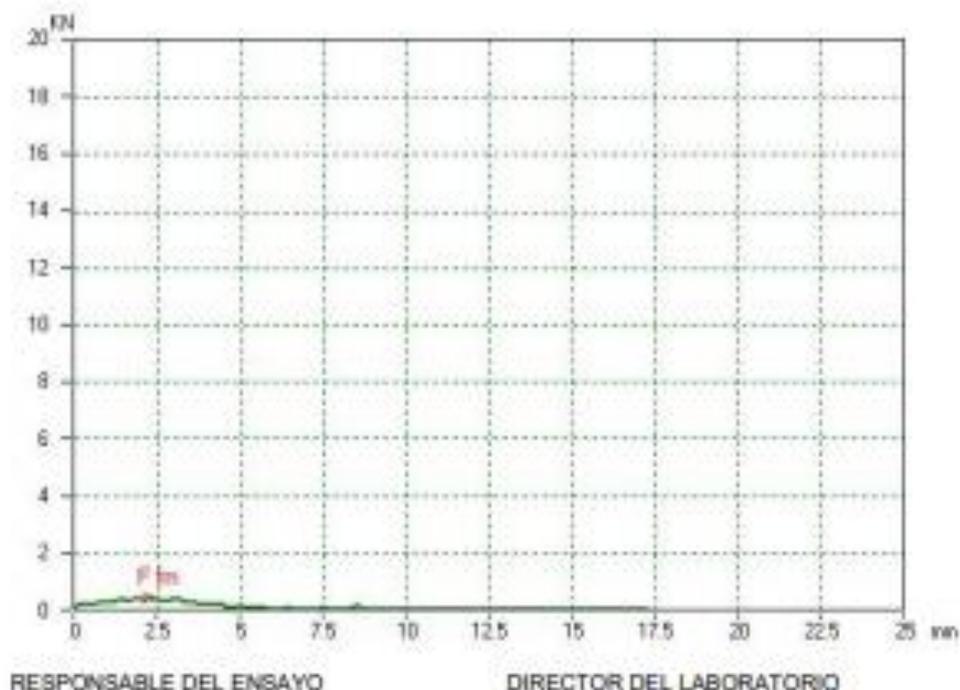
Flecha f :

2.24 mm

Carga máxima F_m :

.42 KN

R_m : .1 N/mm²




CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja 12-30 y Elia Liut

Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750

Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Lote: 00

Colada: 00

Codigo de la probeta: C703

Forma de la Probeta: RECTANGULAR

Operador/Máquina: C.Z

Material: CAÑA

Tipo de sez. [C, Q, R, X, E] : r

Lato h [mm] : 124

Lato b [mm] : 44

Área provino [mm²] : 5456

Distancia tra i supporti L [mm] : 110

Ve [mm/min] : 1

Vp [mm/min] : 2

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Reporte N°: C703

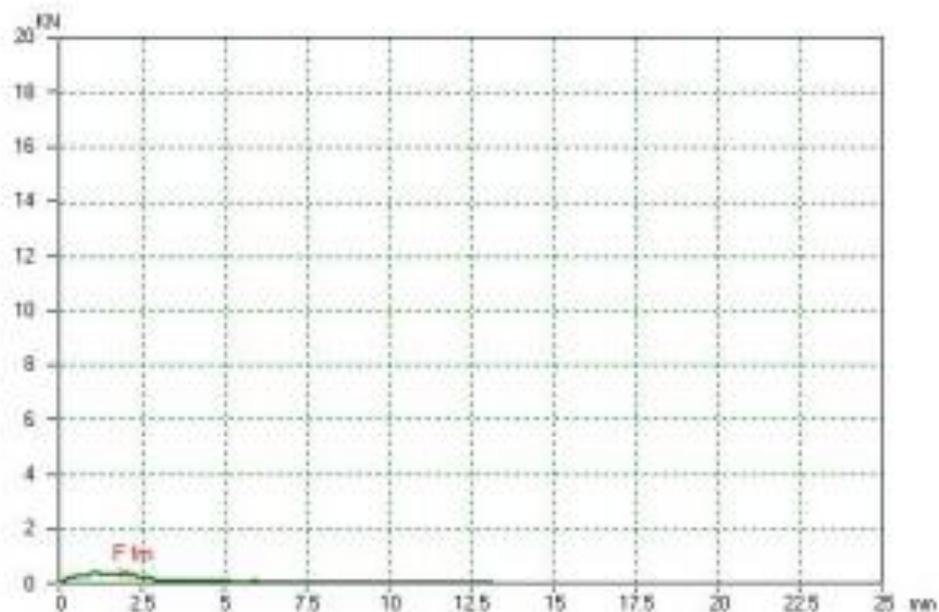
RESULTADOS DE LA PRUEBA

Flecha f :

1.95 mm

Carga máxima F_m :

36 KN

R_m : 0 N/mm²

RESPONSABLE DEL ENSAYO

DIRECTOR DEL LABORATORIO



°CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja 12-30 y Elia Llut

Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750

Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Lote: 00

Colada: 00

Código de la probeta: A601

Forma de la Probeta: RECTANGULAR

Operador/Máquina: C.Z.

Material: CAÑA

Tipo de sez. [C,Q,R,X,E] : r

Lato h [mm] : 127

Lato b [mm] : 40

Area provino [mm²] : 5080

Distanza tra i supporti L [mm] : 110

Ve [mm/min] : 1

Vp [mm/min] : 2

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Reporte N°: A601

RESULTADOS DE LA PRUEBA

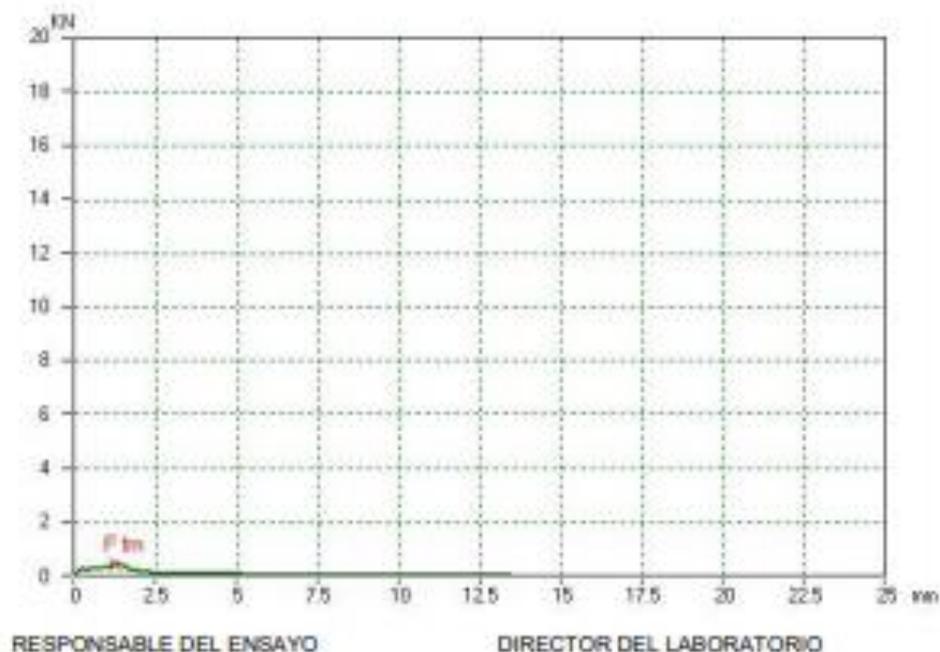
Flecha f :

1.23 mm

Carga máxima F_{tm} :

.4 KN

R_{fm} : .1 N/mm²





CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD
 Calle Vieja 12-30 y Elia Liut
 Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750
 Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Lote: 00

Reporte N°: A602

Colada: 00

Código de la probeta: A602

Forma de la Probeta: RECTANGULAR

Operador/Máquina: C.Z

Material: CAÑA

Tipo de sez. [C,Q,R,X,E] : r

Lato h [mm] : 127

Lato b [mm] : 40

Area provino [mm²] : 5080

Distanza tra i supporti L [mm] : 110

Ve [mm/min] : 1

Vp [mm/min] : 2

RESULTADOS DE LA PRUEBA

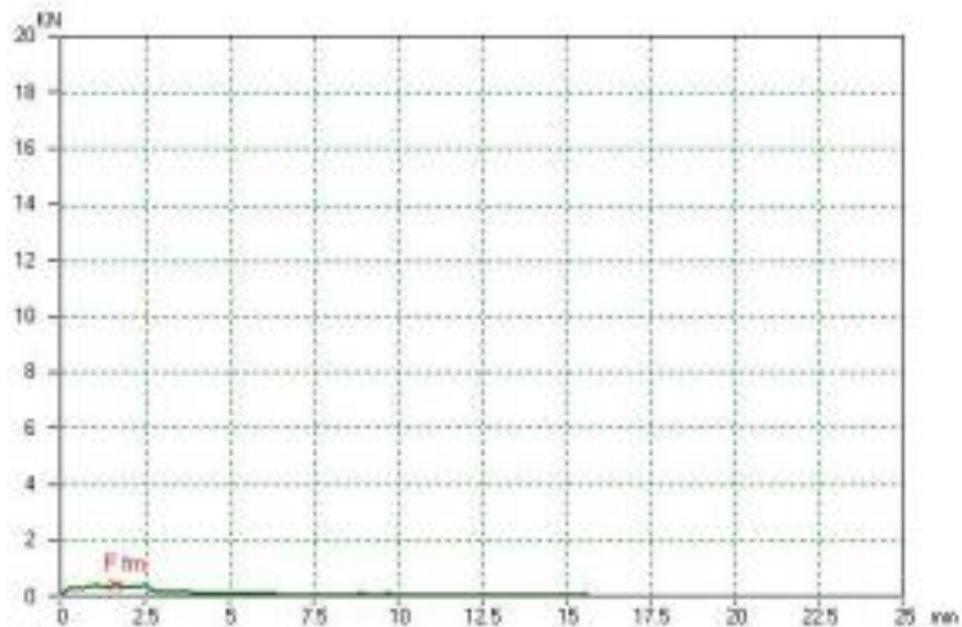
Flecha f :

1.57 mm

Carga máxima F_m :

.4 KN

R_m : .1 N/mm²



RESPONSABLE DEL ENSAYO

DIRECTOR DEL LABORATORIO



*CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD
 Calle Vieja 12-30 y Elia Llut
 Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750
 Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR
 Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

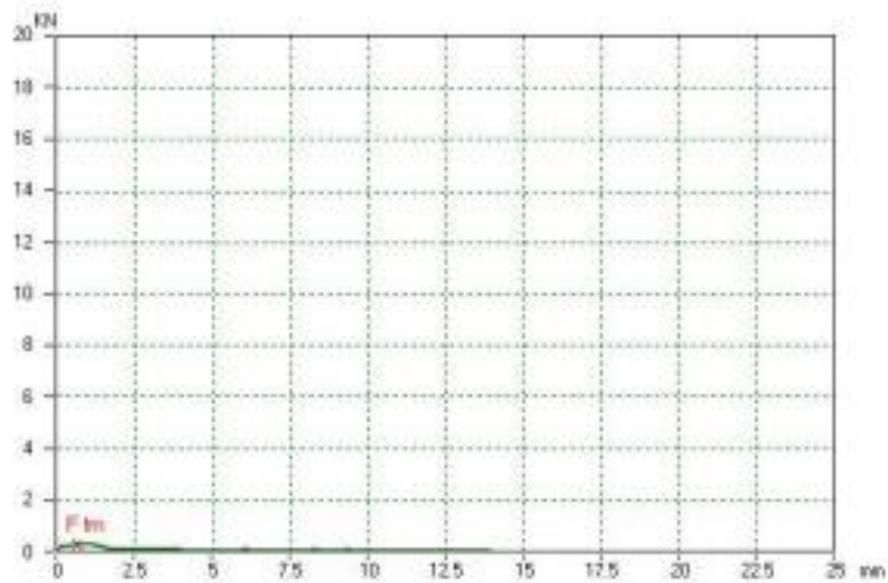
Código del Cliente: UPS Ing. Mec.
 Lote: 00
 Colada: 00
 Código de la probeta: A603
 Forma de la Probeta: RECTANGULAR
 Operador/Máquina: C.Z
 Material: CAÑA
 Tipo di sez. [C,Q,R,X,E] : r
 Área provino [mm²] : 5460
 Distancia tra i supporti L [mm] : 110
 Ve [mm/min] : 1
 Vp [mm/min] : 2

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016
 Reporte N°: A603

Lato h [mm] : 130 Lato b [mm] : 42

RESULTADOS DE LA PRUEBA

Flecha f : .65 mm
 Carga máxima F_{tm} : .28 KN R_{tm} : 0 N/mm²



RESPONSABLE DEL ENSAYO

DIRECTOR DEL LABORATORIO


°CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD

Calle Vieja 12-30 y Elia Liut

Telef. (593) - 7 862213 Fax 593 - 7 861750

Email czhigue@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email jsantos@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Email etobar@ups.edu.ec CUENCA ECUADOR

Código del Cliente: UPS Ing. Mec.

Fecha: Cuenca 04de Marzo 2016

Lote: 00

Reporte N°: A701

Colada: 00

Código de la probeta: a701

Forma de la Probeta: circular

Operador/Máquina: C.Z

Material: CAÑA

Tipo di sez. [C,Q,R,X,E] : r

Lato h [mm] : 124

Lato b [mm] : 45

 Area provino [mm²] : 5580

Distancia tra i supporti L [mm] : 110

Ve [mm/min] : 1

Vp [mm/min] : 2

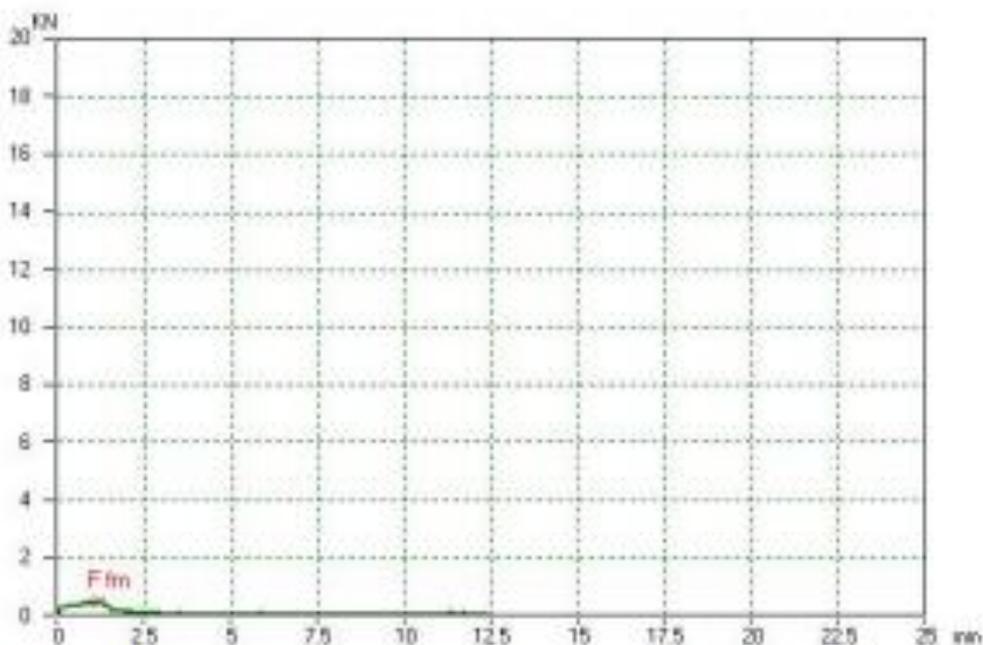
RESULTADOS DE LA PRUEBA

Flecha f :

1.17 mm

 Carga máxima F_{tm} :

.48 KN

 R_{tm} : .1 N/mm²


RESPONSABLE DEL ENSAYO

DIRECTOR DEL LABORATORIO