

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL



---

Análisis técnico y económico en la producción de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla* king) en cámara de sub-irrigación, Pucallpa, Perú”.

---

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO FORESTAL

AUTOR

**Gilder Joel Saboya Saboya**

Pucallpa, Perú

2010

## DEDICATORIA

*A Dios por prestarme todo este tiempo la vida y por permitirme llegar a este momento importante en mi carrera profesional.*

*A mis queridos padres al señor Leonardo Saboya Chujutalli y Jacoba Saboya Villacorta, por ser el apoyo moral, económico sin interés en mi formación como persona y como profesional, siempre recordándome los valores y respeto en todo el sentido de la vida.*

*A mis hermanos todos.*

*Mi Dios, pues, suplirá todo lo que os falta conforme a sus riquezas en gloria.  
Promesas de Dios son para siempre.*

## **AGRADECIMIENTO**

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) con sede en Ucayali, por el dedicado apoyo logístico con el vivero forestal y los materiales necesarios que sin ello no se hubiese realizado el trabajo de tesis y al Fondo para la Innovación, Ciencia y Tecnología (FINCyT), por el respaldo económico completo, sin los cuales no hubiera sido posible la realización completa de la presente investigación.

En primera instancia, deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Manuel Soudre Zambrano, M.Sc. por haber puesto en mí su plena confianza, sin limitación alguna y por el respaldo total para la realización de este estudio tanto en orientación técnica y científica, así como el respaldo logístico.

Al Ing. Jorge Mori Vásquez, por sus valiosos aportes y ayuda permanente como persona, amigo y asesor principal en todo el proceso y desarrollo del presente trabajo de tesis.

Al Ing. Héctor Guerra Arévalo por su apoyo en el procesamiento estadístico de los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Wilson Guerra Arévalo y a los bachilleres: Andrea Vega, Fernando Nascimento, Frank Vidal, Germán Rafael, Harold Garate, Marcos Flores, Mayra Espinoza, Oscar Paredes, Víctor Castillo, por su apoyo de manera directa en las múltiples actividades realizadas en la ejecución del trabajo de tesis.

Al personal técnico del IIAP, Rony Ríos y Linder Bembino por su amistad y constante empeño para la elaboración del carbón de cascarilla de arroz y a todos los trabajos de campo desarrollados en la tesis.

## INDICE GENERAL

	<i>Página</i>
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
LISTA DE FOTOS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Formulación del problema.....	3
MARCO TEORICO.....	5
2.1 Generalidades del arroz y el sub producto de la agroindustria.....	5
2.1.1 Producción de arroz.....	5
2.1.2 La cascarilla de arroz un sub producto de la agroindustria.....	6
2.2 La cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato.....	7
2.2.1 Producción de la cascarilla de arroz carbonizada.....	7
2.2.2 Ventajas de la cascarilla de arroz carbonizada.....	8
2.2.3 Composición físico-química de la cascarilla de arroz carbonizada.....	9
2.2.4 Uso de la cascarilla de arroz carbonizada en porcentaje.....	12
2.3 Quemadores y Hornos.....	13

2.3.1 Características del material para la construcción del quemador .....	13
2.4 La combustión .....	13
2.4.1 Parámetros de operación en la combustión .....	14
2.5 Higiene industrial en la carbonización.. .....	14
2.6 Los costos .....	14
2.6.1 Costos de producción .....	14
2.6.2 Costos de construcción .....	15
2.6.3 Costos según su grado de variabilidad.....	15
2.6.4 Costos según su asignación.....	15
2.7 La propagación vegetativa .....	15
2.7.1 Técnicas de propagación vegetativa .....	16
2.7.2 Importancia de la propagación por estacas.....	17
2.7.3 Selección de las especies .....	17
2.7.4 Selección y características del material de propagación .....	18
2.7.5 Sistemas de propagación vegetativa .....	19
2.7.6 Factores que influyen en el enraizamiento .....	20
2.8 Aspectos económicos para la elección de un sustrato .....	22
2.9 Sustancias promotora del enraizamiento .....	24
2.9.1 Acido Indol-3-butírico (AIB) .....	24
2.10 Manejo en la fase del enraizamiento .....	27
2.10.1 Sombra.....	27
2.10.2 Etiquetado .....	27
2.10.3 Riego.....	27
2.10.4 Control fitosanitario.....	28

2.11 Descripción de la especie.....	28
2.11.1 Ecología .....	29
2.11.2 Hábitat.....	29
2.11.3 Taxonomía de la caoba .....	29
DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS .....	30
METODOLOGÍA.....	32
3.1 Síntesis metodológica .....	32
3.2 Ubicación del área experimental .....	32
3.3 Materiales.....	33
3.3.1 Para la construcción de los quemadores.....	33
3.3.2 Para la fabricación del carbón .....	33
3.3.3 Para la determinación del pH .....	33
3.3.4 Para la determinación del contenido de humedad.....	33
3.3.5 Para la instalación de la cámara de sub-irrigación .....	34
3.4 Los quemadores.....	34
3.4.1 Propuesta de los tipos de quemadores .....	34
3.4.2 Diseño de los prototipos de quemadores .....	34
3.5 Construcción de los quemadores cilindro medio y cónico .....	36
3.5.1 Dimensionado y corte de la lámina de acero.....	36
3.5.2 Rolado .....	36
3.5.3 Unión de piezas.....	36
3.5.4 Construcción de quemadores.....	36
3.5.5 Quemador cilindro medio .....	36
3.5.6 Quemador cónico .....	37

3.5.7	Requerimiento de cilindro metálico de acero .....	38
3.5.8	Apertura de la compuerta de alimentación .....	38
3.5.9	Acoplamiento de paletas interiores del cilindro .....	39
3.5.10	Respiradero interior .....	39
3.5.11	Manivela de rotación .....	39
3.5.12	Caballete para soporte de cilindro .....	40
3.5.13	Quemador cilindro rotatorio .....	40
3.6	Producción de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC).....	42
3.6.1	Preparación de fuego .....	43
3.6.2	Colocación del quemador .....	43
3.6.3	Colocación de la cascarilla de arroz en el quemador .....	44
3.6.4	Remoción de la cascarilla de arroz.....	44
3.6.5	Proceso del carbonizado .....	45
3.6.6	Separado de la cascarilla de arroz carbonizado.....	45
3.6.7	Aplicación de agua .....	46
3.6.8	Selección y almacenaje de CAC .....	46
3.7	Determinación de las propiedades físico-químicas .....	47
3.7.1	Contenido de humedad de la cascarilla de arroz carbonizado (CAC) ...	47
3.7.2	Densidad calculada .....	47
3.7.3	Determinación del pH .....	47
3.8	Asignación de código para cada uno de los tipos de sustratos CAC .....	48
3.9	Eficiencia y productividad de quemadores .....	48
3.9.1	Determinación del rendimiento .....	48
3.9.2	Productividad.....	49

3.10	Costos .....	49
3.11	Procedimiento experimental del ensayo de enraizamiento .....	49
3.11.1	Diseño estadístico .....	49
3.12	Descripción de los factores y tratamiento en estudio .....	51
3.13	Material vegetativo .....	53
3.14	Población y muestra .....	54
3.15	Preparación de la cámara de propagación.....	54
3.15.1	Instalación de los sustratos en la cámara de sub-irrigación .....	55
3.16	Preparación de las estaquillas.....	56
3.16.1	Aplicación de la dosis hormonal AIB .....	56
3.16.2	Manejo de estaquillas al interior de la cámara.....	57
3.16.3	Monitoreo y control .....	57
3.17	Variables evaluadas en la propagación vegetativa .....	58
3.17.1	Porcentaje de enraizamiento (%) .....	58
3.17.2	Porcentaje de callos (%).....	58
3.17.3	Porcentaje de brotes (%).....	58
3.17.4	Porcentaje de sobrevivencia (%) .....	58
3.18	Condiciones ambientales .....	59
3.19	Procesamiento y análisis de datos .....	61
3.19.1	Procesamiento de datos .....	61
3.19.2	Análisis de datos .....	62
RESULTADOS Y DISCUSION.....		63
4.1	Determinación de los costos de producción del sustrato CAC .....	63
4.2	Variación de las variables en la fase del carbonizado .....	65

4.2.1	Tiempo utilizado.....	65
4.2.2	Rendimiento del sustrato CAC .....	66
4.2.3	Determinación del pH de los tipos de sustratos.....	67
4.2.4	Determinación de la densidad aparente de los tipos de sustratos .....	68
4.3.	Efecto del sustrato CAC en el enraizamiento de Caoba.....	69
4.3.1	Porcentaje de enraizamiento (%) .....	69
4.3.2	Porcentaje de brotes promedio (%).....	73
4.3.3	Longitud de raíces promedio (mm).....	76
4.3.4	Numero de brotes (Nº).....	77
4.3.5	Longitud de brote promedio (mm) .....	79
4.4	Efecto de la dosis de AIB en el porcentaje de enraizamiento.....	80
4.4.1	Porcentaje de brotes (%).....	80
4.4.2	Numero de raíces (%) .....	82
4.4.3	Longitud de raíz promedio (mm).....	84
4.4.4	Numero de brotes (%) .....	86
4.4.5	Longitud de brotes promedio (mm).....	87
CONCLUSIONES Y REACOMENDACIONES .....		89
5.1	Conclusiones.....	89
5.2	Recomendaciones.....	90
BIBLIOGRAFIA .....		91
ANEXOS .....		102

## LISTA DE CUADROS

	<i>Página</i>
Cuadro 1. Capacidad de retención de agua de diferentes sustratos.....	11
Cuadro 2. Densidad de diferentes sustratos .....	12
Cuadro3. Sustratos más comunes utilizados en la explotación hortícola en invernadero y sus costos .....	24
Cuadro 4. Codificación empleada para la identificación de cada tipo de sustrato cascarilla de arroz carbonizado (CAC) producida.....	48
Cuadro 5. Descripción de los tratamientos empleados en el carbonizado .....	50
Cuadro 6. Descripción de los tratamientos empleados en la propagación .....	52
Cuadro 7. Descripción del análisis de varianza.....	53
Cuadro 8. Costos de producción del sustrato por tipos de quemadores.....	63
Cuadro 9. Análisis de varianza (ANVA) para el tiempo utilizado y el rendimiento en la producción del sustrato cascarilla de arroz carbonizada para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla king</i> ).....	65
Cuadro 10. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal del tiempo y el rendimiento en la producción del sustrato cascarilla de arroz carbonizada para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla king</i> ) .....	66
Cuadro11. Análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de enraizamiento, porcentaje de brote, número de raíces, longitud de raíces, número de brotes y longitud de brote en el enrizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla king</i> ), evaluadas a los 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación. ....	70
Cuadro 12. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal del tipo de sustratos con respecto al porcentaje de brotes en estacas	

juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), evaluados a los 60 días de instalación en cámara de sub- irrigación. ....	74
Cuadro 13. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal de los tipos de sustrato con respecto al número de raíces, longitud de raíz, número de brotes y longitud de brote en estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), evaluados a los 60 días de instalación en cámara de sub- irrigación .....	80
Cuadro 14. Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal de dosis de AIB con respecto al porcentaje de brotes, longitud de raíz, número de brote y longitud de brotes en estacas de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), evaluados a los 60 días de instalación en cámara de sub- irrigación .....	83
Cuadro 15. Materiales utilizados y costo en la construcción del quemador Cilindro Rotatorio .....	104
Cuadro 16. Materiales utilizados y costo en la construcción del quemador Cónico .	104
Cuadro 17. Materiales utilizados y costo en la construcción del quemador Cilindro Medio .....	104

## LISTA DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura 1. Flujograma del proceso de construcción de los quemadores de CAC ....	41
Figura 2. Flujograma del proceso productivo del sustrato cascarilla de arroz carbonizada .....	42
Figura 3. Registro de la temperatura media y humedad relativa media al interior de la cámara de sub-irrigación durante los 60 días de evaluación para el enraizamiento de estacas juveniles de caoba en sustrato de cascarilla de arroz carbonizada .....	59
Figura 4. Registro de la intensidad de luz que ingresa a la cámara de sub-irrigación durante los 60 días de evaluación para el enraizamiento de estacas juveniles de caoba en sustrato de cascarilla de arroz carbonizada .....	60
Figura 5. Costos de producción del sustrato CAC (kg), utilizando los tipos de quemadores .....	64
Figura 6. Tiempo de carbonización y rendimiento en la producción del sustrato de cascarilla de arroz carbonizada (CAC) .....	67
Figura 7. pH de los sustratos de cascarilla de arroz carbonizada (según el tipo de quemador) .....	68
Figura 8. Densidad de los sustratos de cascarilla de arroz carbonizada (según el tipo de quemador).....	69
Figura 9. Porcentaje de enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), en relación a la interacción entre las dosis de AIB y los tipos de sustrato, después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	72
Figura 10. Porcentaje de brotes de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), por efecto del tipo de sustrato, después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	75

Figura 11. Longitud de raíces promedio por efecto del tipo de sustrato, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	77
Figura 12. Número de brotes, por efecto del tipo de sustrato, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	78
Figura 13. Longitud de brote promedio, por efecto del sustrato en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	79
Figura 14. Porcentaje de brotes por efecto de la dosis AIB, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	81
Figura 15. Número promedio de raíces por efecto de la interacción entre el tipo de sustrato y dosis AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	84
Figura 16. Longitud de raíz promedio por efecto de la dosis de AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	85
Figura 17. Número de brotes por efecto de la dosis de AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	87
Figura 18. Longitud de brotes por efecto de la dosis de AIB, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba ( <i>S. macrophylla</i> king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación .....	88

## LISTA DE ANEXOS

	<i>Página</i>
Anexo 1. Cuadro general de costos para la producción del sustrato CAC .....	103
Anexo 2. Cuadro general de costos de cada quemador .....	104
Anexo 3. Formato de registros meteorológicos en la cámara de sub-irrigación .....	105
Anexo 4. Formato de evaluación final en la propagación vegetativa de la caoba ....	106
Anexo 5. Croquis del diseño en la distribución de los tratamientos.....	107
Anexo 6. Croquis del diseño en la distribución de los tratamientos.....	108
Anexo 7. Procedimiento metodológico en la propagación vegetativa de caoba .....	109
Anexo 8. Estacas enraizadas en los sustratos utilizados .....	110

## LISTA DE FOTOS

*Página*

Foto 1. Quemador cilindro médio .....	37
Foto 2. Quemador cónico .....	38
Foto 3. Compuerta de alimentación del quemador tipo cilindro rotatorio .....	38
Foto 4. Paletas y respiradero interior en el quemador tipo cilindro rotatorio .....	39
Foto 5. Quemador cilindro rotatório.....	40
Foto 6. Preparación del fuego .....	43
Foto 7. Puesta del quemador sobre el fuego.....	43
Foto 8. Puesta de la cascarilla de arroz sobre el quemador .....	44
Foto 9. Volteo de la cascarilla de arroz .....	44
Foto 10. Proceso del carbonizado.....	45
Foto 11. Separado de la cascarilla de arroz carbonizado .....	45
Foto 12. Aplicación de agua .....	46
Foto 13. Construcción de la cámara de sub-irrigación .....	55
Foto 14. Cinco tipos de CAC en la cámara de sub-irrigación.....	56
Foto 15. Cosecha del material vegetativo .....	109
Foto 16. Preparación de estacas juveniles.....	109
Foto 17. Desinfección de estacas en cupravit.....	109
Foto 18. Aplicación de la hormona AIB .....	109
Foto 19. Evaporación del alcohol .....	109
Foto 20. Sembrado de las estacas.....	109
Foto 21. Estaca enraizada CAC (C0) .....	110
Foto 22. Estaca enraizada CAC (C1) .....	110

Foto 23. Estaca enraizada CAC (C2) .....	110
Foto 24. Estaca enraizada CAC (C3) .....	110
Foto 25. Estaca enraizada CAC (C4) .....	110

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en las instalaciones del vivero forestal del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), con sede en Ucayali, consistiendo el trabajo en dos fases consecutivas. La primera consistió en el diseño y construcción de tres prototipos de quemadores artesanales y con ellos para la producción de sustrato a partir de cascarilla de arroz, y la segunda consistió en realizar la propagación vegetativa de la especie caoba (*Swietenia macrophylla* king), en cámara de sub-irrigación, utilizando los sustratos producidos. El objetivo fue comparar los costos de producción de la cascarilla de arroz carbonizado (CAC) como sustrato; comprobar la eficiencia del CAC como sustrato para el enraizamiento y determinar el efecto de tres dosis de fitohormona en las estacas juveniles de caoba. Para determinar los costos de producción se calcularon los costos directos e indirectos así como los gastos administrativos para llegar a establecer el costo del producto final en kg. En la propagación vegetativa se utilizó el diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas (DBCA), probando tres dosis de AIB (3000, 5000 y 8000 ppm) y cinco tipos de sustratos obtenidos a través de los quemadores (cilindro medio, cónico y rotatorio) además del tradicional y testigo, las unidades experimentales estaban comprendidas de ocho estacas juveniles, con una longitud promedio de 3.5 cm y 50 cm<sup>2</sup> de área foliar. Se determinó que el sustrato producido con el quemador rotatorio presentó mayor rentabilidad en cuanto a su construcción y producción, obteniendo un 80 % de rendimiento dándole al sustrato características adecuadas para la propagación y a un precio al alcance del consumidor (S/.0.13/ kg de sustrato CAC). Después de 60 días el mejor sustrato para el enraizamiento fue aquel producido por el quemador cilindro rotatorio y con la aplicación de 8000 ppm de AIB a las estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), logrando hasta un 95% de enraizamiento. En conclusión es posible propagar exitosamente la caoba empleando este método.

## SUMMARY

This research was conducted in forest nursery facilities of the Institute for Amazonian Research (IIAP), based in Ucayali, consisting of work in two consecutive phases. The first involved the design and construction of three prototypes of burners with them to craft and substrate production from rice husks, and the second was to conduct vegetative propagation of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in camera sub-irrigation, using the substrates produced. The objective was to compare the costs of producing carbonized rice husk (CAC) as a substrate, to check the efficiency of ACC as a substrate for rooting and determine the effect of three doses of plant hormone in juvenile stakes mahogany. To determine the production costs were estimated direct and indirect costs and administrative expenses in order to establish the cost of the final product in kg. In vegetative propagation was used to design randomized complete block with split plots (DBCA), testing three doses of IBA (3000, 5000 and 8000 ppm) and five types of substrates obtained from the burner (semi-cylinder, conical rotational) in addition to traditional control, the experimental units were comprised of eight juvenile stakes, with an average length of 3.5 cm and 50 cm<sup>2</sup> of leaf area. It was determined that the substrate produced with the rotary burner had higher profitability in their construction and production, obtaining a 80% yield giving the substrate characteristics required for the propagation and an affordable price for the consumer (S/.0.13 / kg substrate ACC). After 60 days, the best substrate for rooting was that produced by the rotating cylinder burner and the application of 8000 ppm of IBA to juvenile stakes mahogany (*S. macrophylla* King), achieving up to 95% rooting. In conclusion it is possible to propagate mahogany successfully using this method.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo, la cosecha y el pilado de arroz son algunas de las actividades de carácter agrícola en el Perú. Este último, el pilado representa una de las principales actividades económicas que se desarrolla en la región de Ucayali. Se sabe que la producción total de arroz cáscara en el 2009 para Ucayali fue de 29,180.24 toneladas (MINAG, 2010) y que solo en el proceso del pilado se obtienen ingresos por encima de S/. 437,703.60 por año. Además, se genera un residuo abundante denominado “cascarilla de arroz” el cual significa un 30 % del peso total (UNU, 2008) de arroz pilado, es decir 8,964.72 toneladas por año de residuo de cascarilla de arroz. Frente a esta problemática es necesario buscar y dar el uso oportuno y adecuado, contrariamente es posible que se convierta en un contaminante ambiental.

No obstante, en países como Brasil y Colombia se viene utilizando la “cascarilla de arroz” como un insumo principal del sustrato para la producción de diversas especies en invernaderos, previamente la cascarilla de arroz es carbonizada, debido a que en esta condición ofrece sus mejores características como sustrato (Osava, 2005).

Este hecho tendrá una importancia, porque la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) podría ser una alternativa frente a lo elevado del peso y los altos costos de producir los sustratos convencionales empleados en fase de vivero de plantas forestales. La utilización inmediata de este insumo no solo podría aliviar la demanda de los productores de plantas, sino también los problemas de contaminación que producen la mayoría de “molinos” o piladoras de arroz de la amazonia peruana. Un programa de tratamiento apropiado de este residuo de la agroindustria sería lo más adecuado.

Por lo tanto este sustrato poco convencional, el CAC, podrá convertirse en una alternativa ambiental, pero también económica, especialmente por su utilización en importantes programas de reforestación y producción de plantones a gran escala, como lo es la tecnología de propagación vegetativa por estaquilla, donde uno de los principales factores que influyen directamente sobre el enraizamiento

de estaquillas es el tipo y calidad de sustrato. Los sustratos empleados en propagación vegetativa debe reunir cuatro características fundamentales: buena aireación, buen drenaje, buena retención de la humedad y que sea completamente estéril (Mastalerz, 1977 y Ball, 1991).

Por lo que en el presente trabajo, se ha creído por conveniente evaluar técnica y económicamente la producción de CAC bajo diversas tecnologías de transformación, previendo la posibilidad de que alguno de los CAC producidos, permitan su empleo en la propagación vegetativa de la especie caoba (*Swietenia macrophylla* king), especie emblemática para la región amazónica, y de la cual el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) ha tenido importantes avances empleando tecnología de propagación poco convencionales.

El objetivo general fue evaluar la factibilidad técnica y económica del “carbón de cascarilla de arroz” (CAC) para su empleo como sustrato en la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla* king), en ambientes controlados.

Objetivos específicos:

1. Comparar los costos de producción de carbón de cascarilla de arroz (CAC) entre el método tradicional y tres quemadores artesanales.
2. Comprobar la eficiencia de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla* king).
3. Determinar el efecto de tres dosis de AIB de (3000, 5000 y 8000 ppm) en estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla* king) cultivados en sustrato CAC.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Formulación del Problema:

El problema es desconocimiento de la calidad y el costo de la “cascarilla de arroz carbonizada” (CAC) como un posible insumo de sustratos para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba, de ello deriva las siguientes causas y efectos:

#### Causas

- El desconocimiento de los costos de producción del carbón de cascarilla de arroz.
- Se desconoce la eficiencia de las técnicas existentes de carbonización de cascarilla de arroz.
- Se desconoce la técnica (diseños y construcción) de los quemadores para producir carbón de cascarilla de arroz.

#### Efectos

- Pérdida de un valioso y abundante subproducto de la agroindustria en la región Amazónica.
- Contaminación ambiental por su vertido a rellenos terrestres y aguas limpias.
- Dificultad para recomendar su uso en producción de plantones forestales y otras especies de importancia económica en la región amazónica.

En el Perú se produjo hasta marzo del 2010 cerca de 255,588 toneladas de arroz en chala (INEI, 2010); de forma similar se producen 29,180.24 toneladas anuales de arroz en chala en Ucayali (MINAG, 2010). Luego el arroz es llevado a centros de transformación denominados “molinos de arroz o piladoras de arroz”, a partir de esta actividad se obtiene un principal sub producto denominado cascarilla de arroz, que en la actualidad representa un residuo generado en cantidades considerables, y de alto potencial contaminante, pero sin beneficio alguno. Principalmente se obtiene entre los meses de agosto hasta noviembre, período en que se intensifica la cosecha del arroz en la región Amazónica.

Actualmente la cascarilla de arroz en su estado natural poco o casi nada ha beneficiado en su utilización, debido a que las características físicas y químicas que presentan en este estado no son los más apropiados para su uso directo, posiblemente porque su alto porcentaje de sílice no le permite degradarse, ni retener agua. La necesidad de darle las condiciones apropiadas a este importante sub producto para que sea un buen sustrato con aireación, drenaje, retención de humedad y esterilidad (Osava, 2005), pasan por recurrir al carbonizado, con esta técnica se busca que la cascarilla se transforme en un sustrato óptimo para el enraizamiento de especies forestales de importancia económica.

El procedimiento de transformación requiere de un quemador que cumpla la función de carbonizar la cascarilla de arroz y no permita su conversión en ceniza. Por lo tanto el quemador debe ser un equipo funcional, bajo los parámetros técnicos y económicos más adecuados. Finalmente, la calidad de la cascarilla de arroz será probada utilizándola como sustrato para el enraizamiento de estaquillas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king) al interior de una cámara de sub-irrigación.

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Generalidades del arroz y el sub producto de la agroindustria.

#### 2.1.1. Producción de arroz.

La producción mundial de arroz cáscara en el 2000 fue de 598 millones de toneladas. China es el mayor productor con 32% del volumen total seguido de la India e Indonesia con el 22% y 9% de la producción respectivamente, en la última década el área mundial destinada a este cereal se ha incrementado en 3,4%, pasando de 147 millones en 1990 a 152 millones de hectáreas en 1999 induciendo un incremento de 11,7%. En 1999 se produjo la cosecha récord de la década, 559 millones de toneladas de Arroz Paddy, o el equivalente a 363 millones de toneladas de arroz elaborado (FAO, 2000).

En el Perú la producción de arroz cáscara en el período 1990 al 2001 ha crecido sostenidamente llegando casi a duplicarse dos millones de toneladas en el año 2001 (MINAG, 2002). Según el informe elaborado por el INEI. En enero del 2008, la producción de arroz cáscara en el Perú se registró un volumen de 203,767 toneladas lo que representa un incremento de 6.9 por ciento en comparación al obtenido en enero del 2007.

Según Rojas (2008), expresa que el departamento de Amazonas registró en enero 2008 una producción de arroz cáscara, de 11,062 toneladas, nivel superior en 74.1% a la producción obtenida en enero de 2007; debido a las mayores siembras realizadas. Sin embargo, que en Lambayeque se redujo en 52.3%; en Madre de Dios cayó 41.0%; en Pasco descendió 29.6%; en San Martín retrocedió 24.7%, entre otros. La producción total nacional de arroz cáscara alcanzó las 255,588 toneladas en marzo del 2010, cifra superior en 21.7 por ciento respecto a lo obtenido en similar mes del año anterior cuando se registraron 209,960 toneladas, informó hoy el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2010).

De acuerdo con el informe técnico Perú: Panorama Económico Departamental a marzo 2010, este aumento en la producción del cereal es resultado del incremento de las áreas sembradas. La producción de arroz cáscara (chala) en el año 2009, para la Región de Ucayali fue de 29,180.24 toneladas, considerados de los 17 molinos formales existentes en el ámbito regional (MINAG, 2010).

### **2.1.2. La cascarilla de arroz un sub producto de la agroindustria.**

Según Souza (1993), la cascarilla de arroz es un residuo de la agroindustria procesadora de arroz que se encuentra disponible en grandes cantidades en las regiones de la Amazonía peruana. Se caracteriza por presentar una baja densidad y peso específico, además de una lenta biodegradación. Presenta un alto poder energético, ya que contienen casi 80% de su peso en carbono. Sus cenizas están compuestas básicamente por sílice, por lo tanto son bastante alcalinas. Tanto la cascarilla de arroz como sus cenizas no poseen compuestos tóxicos.

Se presenta como material liviano, de buen drenaje, buena aireación, pero con una baja retención de humedad inicial y es difícil conservar la humedad homogéneamente cuando se usa como sustrato único en camas o bancadas. A medida que envejece va aumentando su capacidad de retención de humedad. Se comporta bien como sustrato en los sistemas que utilizan canaletas. Tiene una buena inercia química inicial, aunque con el paso de los años, dos o más, se va descomponiendo. Puede tener problemas con los residuos de cosecha, como granos de arroz enteros o en fragmentos, a la vez que pueden encontrarse semillas de otras plantas que pueden germinar generando un problema de malezas (Calderón, 2001).

Centa (2000) manifiesta que transformando la cascarilla de arroz como sustrato, se está registrando un gran aporte y avance en utilizar productos alternativos que se encuentran en grandes proporciones en la zona, además se está aplicando una mitigación progresiva en cuanto a acumulación de residuos que de alguna u otra forma contaminan el ambiente sin opción a ser mitigado.

## **2.2. La cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato.**

Para tratar de mejorar las propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz se ha recurrido desde hace unos años a la quema parcial o total de la misma. Esta es la alternativa más usada en la actualidad. Con este fin, se coloca la cascarilla en montones y se le enciende fuego por un costado. Simultáneamente se va revolviendo con cascarilla cruda hasta obtener el grado de quemado deseado. Luego se apaga por medio de un chorro de agua. Usualmente la intensidad del quemado que se pretende varía entre un 50 % y un 100 % según el grado de carbonización. No se debe dejar llegar nunca hasta cenizas. Esta práctica aumenta la retención de agua fácilmente disponible, según el grado de quemado, pudiendo llegar a valores muy elevados (Calderón, 2001).

Según Ramírez (2000), la cascarilla de arroz en su forma carbonizada como sustrato, aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos y es un material completamente esterilizado por haber sido sometido a altas temperaturas en el proceso de carbonizado.

### **2.2.1. Producción de la cascarilla de arroz carbonizada.**

Con respecto al rendimiento de producir carbón de cascarilla de arroz, se obtiene valores medios de 45%, lo cual es significativamente mayor que en el caso del bagazo; además ambos materiales carbonizados difieren notablemente en cuanto a porcentaje de carbono fijo y de cenizas cuando se obtienen en iguales condiciones experimentales (Calderón, 2001).

La cascarilla de arroz es secada al aire libre para después ser carbonizada, se forma una pirámide colocando dos o tres carretillas de cascarilla seca de arroz y se realiza mechas con hojas secas caídas de árboles de la zona, las mechas pueden ser también de periódico o cartón; por lo tanto, la quema de la cascarilla de arroz se realice en forma manual hasta su carbonización, evitando que se convierta en ceniza (Espinoza, 2008).

El volteo de la cascarilla de arroz se realiza en períodos de 10 a 15 minutos tratando de cortar el proceso de calentamiento de la cascarilla de arroz en la preparación del carbón. Aproximadamente 100 libras de cascarilla de arroz (dos sacos de henequen de 220 libras) son carbonizados en una hora y 20 minutos. Una vez preparado el carbón de cascarilla de arroz se extiende y se le aplica agua, con el propósito de interrumpir el proceso de calentamiento de este. Esta actividad es importante realizarla, de lo contrario el proceso continúa y se obtendrá ceniza, que no es recomendable para la preparación de sustrato (Ansorena, 2000).

Para carbonizar la cascarilla de arroz se debe elegir un plan de ubicación, limpio y cerca de la fuente de agua. Para iniciar la carbonización de la cascarilla se esparce alrededor de un pequeño quemador cilíndrico, el contenido de 8 sacos o 90 kg aproximadamente, rodeándolo hasta cubrir completamente la base de acoplamiento con la chimenea, de manera que forme un montículo en forma de “cono”. Luego, se mantiene una constante combustión dentro del quemador durante 4 a 4.5 horas, introduciendo astillas de leña a través de la chimenea, evitando en todo momento la salida de fuego y formación de llamas en la superficie de la capa de las cascarillas de arroz durante el proceso de carbonizado. Cuando toda la capa de corteza es carbonizada o se transforma a color oscuro como el carbón, el operador deberá poner más depósitos para continuar la carbonización o usando una pala quitar el lado de los que ya están carbonizados y humedecer con el agua para asegurarse de que no hay combustión, dejando sólo la cascarilla de arroz carbonizada (Souza, 1993).

### **2.2.2. Ventajas de la cascarilla de arroz carbonizada.**

Salazar (2000), menciona que la cascarilla de arroz a medio quemar se usa desde 1992, como una forma de mejorar la capacidad de retención de humedad de los sustratos.

Algunas características del carbón de cascarilla de arroz, es un buen sustrato para germinación de las semillas y enraizamiento de estacas por que permite la penetración y el intercambio de aire en la base de las raíces; es suficientemente

fuerte y densa para fijar las semillas o estaca; tiene coloración oscura y forma sombra en la base de la estaca; es ligero y poroso permitiendo una buena aireación y drenaje; tiene volumen constante en seco o húmedo; es libre de plagas dañinas; nematodos y patógenos; no necesita de tratamientos químicos para la esterilización, porque ha sido esterilizada con la carbonización (Andriolo, 1997).

La cascarilla se considera un sustrato orgánico y reactivo por su pH entre 7.5 – 9.0, debido a los óxidos derivados del proceso de quemado, beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas (Cevallos, 2001).

Además, el carbón de cascarilla de arroz otorga excelentes beneficios como material libre de bacterias y hongos, tiene buena capacidad de retención de agua, mantiene su forma por mucho tiempo, y puede suministrar nutrientes a la planta (Vargas, 2000).

### **2.2.3. Composición físico-química de la cascarilla de arroz carbonizada.**

El carbón de cascarilla de arroz como sustrato presenta las siguientes características físicas y químicas: densidad seca de 150g/l; capacidad de retención de agua de 53.9 %; capacidad de intercambio catiónico 5.5 meq/dl; pH en el agua de 7.4; contenido de sales solubles de 0.7 g/l; nitrógeno 0.7%; fósforo 0.2% y potasio 0.32% (Souza, 1993).

Según Rodríguez (1994), el carbón de cascarilla de arroz es una interesante y económica alternativa para ser usado como sustrato en producción de flores de corte, y de plantas, pues resulta limpio, con un pH ligeramente alcalino, rico en calcio y potasio; además, si se le mezcla con tierra, evita la compactación del suelo. El carbón de cascarilla de arroz, es el componente básico de los sustratos más empleados, comparándolas con otros compuestos en las diferentes etapas de producción de plantas.

## **Contenido de humedad.**

La mayoría de los productos naturales contiene humedad, por lo que el contenido de agua por sí mismo es raramente interesante, por el contrario, muestra si un producto que se pretende comercializar y producir tiene propiedades estándares como la: aptitud para almacenamiento y aglomeración en el caso de tratarse de un polvo, estabilidad microbiológica, propiedades de flujo, viscosidad, peso en seco, concentración o pureza (Martínez, 1999).

Se define al contenido de humedad como la relación del peso de agua presente y el total de peso de la muestra (Stubsgaard, 1990). El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del descascarado varía entre 5 y 40%, luego de estar expuesta a la intemperie en época seca (verano), la humedad promedio de la cascarilla esta aproximadamente entre el 8 y 15% (Scientia *et.al.*, 2007). La humedad de un sustrato es sumamente importante al momento de utilizarla, los materiales de partícula gruesa como la arena y grava, retienen menos humedad que los materiales de partículas pequeñas o finas, como lana de roca, fibra de coco y turba. El agua dura más tiempo, dentro de los saturados, en los días sombreados cuando la evaporación es menor, mientras que en los días calurosos se agota con mayor rapidez (Díaz, 2004).

Existen dos métodos principales para medir la humedad: los métodos directos, en donde se elimina el agua y se cuantifica la cantidad; y el método indirecto, que utiliza parámetros eléctricos. Los métodos directos influyen secado al horno, destilación y extracción. Los métodos indirectos influyen por ejemplo, medidas de conductividad y capacitancia e higrometría. Los métodos indirectos son siempre calibrados contra un método directo, generalmente el método de secado al horno (Grabe, 1989).

En el siguiente cuadro se presenta algunas densidades de diferentes sustratos:

**Cuadro 1.** Capacidad de retención de agua de diferentes sustratos.

SUSTRATO	PORCENTAJE Peso	PORCENTAJE Volumen
Lana de roca	1.300	80
Vermiculita	382	44
Piedra pómez	59	20
Escoria de carbón	50	35
Cascarilla de arroz	40	11
Escorias volcánicas	14	13
Arena	12	16
Gravilla	4	7

Fuente: Maroto, 1990.

El cálculo del contenido de humedad libre presente en la muestra es mediante la siguiente expresión:

$$CH\% = \frac{Ph - Psh}{Psh} \times 100$$

Donde:

Ph = peso húmedo o saturado en gramos.

Psh = peso seco al horno en gramos.

### La densidad aparente

Medellín (2002), hace referencia que la densidad de una sustancia es constante y se define como la masa presente por unidad de volumen, mientras que la densidad es relativa cuando se relaciona con la de otras sustancias como el agua. Para determinar la densidad de un sólido se tiene que hallar su masa en una balanza y su volumen se podrá conocer, para sólidos regulares midiendo sus dimensiones y utilizando las formulas ya conocidas. La densidad aparente indica

indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo. Los valores de densidad aparente se prefieren bajos (0,7-01) y que garanticen una cierta consistencia de la estructura.

El cálculo de la densidad aparente en la muestra es mediante la siguiente expresión:

$$D = Ms / V$$

Donde:

Ms = Masa seca (kg)

V = Volumen (cc)

En el siguiente cuadro se presenta algunas densidades de diferentes sustratos:

**Cuadro 2.** Densidad de diferentes sustratos.

SUSTRATOS	Kg./dm Cúbico
Corteza	0.2 - 0.3
Arena	2.0
Piedra pómez	0.5 - 0.9
Cascarilla de arroz	0.12
Escoria de carbón	0.6 - 0.85

Fuente: Cabrera, 1999

#### **2.2.4. Uso de la cascarilla de arroz carbonizada en porcentaje.**

En cama enraizadora se emplea 100% de carbón de cascarilla de arroz; en los semilleros, 60% de carbón y 40% de tierra. Para las bolsas y macetas, se recurre a diversos compuestos, aunque el carbón sigue siendo básico. Es así que se utiliza 25% de carbón, 20% de tierra, 25% de estiércol y 30% de humus. Para la elaboración de otros sustratos, generalmente se recurre a 10% de carbón, 30% de humus, 10% de perlita, 10% de vermiculita y 40% de musgo (Terres, Artetxe y Beunza, 1997).

### **2.3. Quemadores y Hornos.**

El quemador es un dispositivo que regula la salida del combustible en las calderas y sirve para facilitar y controlar la combustión así mismo, los hornos rotatorios en general son usados en la industria del cemento y para la incineración de desechos; sin embargo no se reporta su uso para la obtención de carbón activado (Astigarraga 1994). Por tal razón, se planteo como propósito obtener un prototipo a partir del presente modelo, que sea económico, de materiales accesibles y con buena capacidad de producción para procesar cáscara de coco y obtener carbón activado.

De esta forma el quemador es un aparato que facilita la combustión de las calderas y mecheros, todo el material que se somete a la acción del fuego estará situado exteriormente; es decir, encima del quemador se acopla la materia a carbonizar. Por ello para la elaboración o preparación de la cascarilla de arroz carbonizado (CAC), se utilizará quemadores fabricados acorde a las necesidades de trabajo y su funcionalidad sea la más propicia y que cumpla con ciertos parámetros. Un quemador puede ser fabricado de múltiples formas y tamaños, diseños variados y el material estar acorde a las condiciones a que estará sometido (Astigarraga, 1994).

#### **2.3.1. Características del material para la construcción del quemador.**

Según Caballano (2001) es recomendable que las características del material de construcción para el quemador tengan las siguientes características: resistente al fuego, de peso manejable, conserve su estructura, no presente alteraciones en contacto con el material a carbonizar, y que sus propiedades organolépticas no repercutan en el producto.

### **2.4. La combustión.**

Bueno (1987), sostiene que es la acción o efecto de arder o quemar o es la combinación de un combustible con un comburente, con desprendimiento de

calor. La combustión es una reacción exotérmica que produce: calor al quemar y luz al arder.

#### **2.4.1. Parámetros de operación en la combustión.**

La combustión tiene los siguientes parámetros: exceso de aire, tipo de combustible, tamaño homogéneo del material, que la relación aire/combustible se pueda controlar consistentemente (Stanley, 2007).

#### **2.5. Higiene industrial en la carbonización.**

Para un adecuado y limpio programa de desarrollo de la carbonización la FAO (1999), hace mención de algunos parámetros a considerar: La carbonización produce sustancias que pueden ser dañinas y deben tomarse simples precauciones para reducir el peligro. El gas producido por la carbonización tiene un elevado contenido de monóxido de carbono, que es venenoso cuando es respirado. Los alquitranes y el humo producidos por la carbonización, sí bien no son directamente venenosos pueden tener efectos perjudiciales a largo plazo sobre el sistema respiratorio.

#### **2.6. Los costos.**

Boter (1923) describe al costo como el gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio. Al determinar el costo de producción, se puede establecer el precio de venta al público del bien en cuestión (el precio al público es la suma del costo más el beneficio). Además, el costo de un producto está formado por el precio de la materia prima, el precio de la mano de obra directa empleada en su producción, el precio de la mano de obra indirecta y el costo de las maquinarias o equipos utilizados (Amad, 2000).

##### **2.6.1. Costos de producción.**

Fabricar es consumir o transformar insumos para la producción de bienes o servicios. La fabricación es un proceso de transformación que demanda un

conjunto de bienes y prestaciones, denominados elementos, y son las partes con las que se elabora un producto o servicio (Boter, 1923).

### **2.6.2. Costos de construcción.**

Según Ferrato y Herrera (1994), los costos de construcción de una estructura tienden a ser muy variable, éstos dependen de muchos factores, tales como: diseño, tamaño, tipo de tecnología, materiales y zona de ubicación.

### **2.6.3 Costos según su grado de variabilidad.**

#### **Costos fijos.**

Son aquellos costos cuyo importe permanece constante, independiente del nivel de actividad de la empresa. Se pueden identificar y llamar como costos de "mantener la empresa abierta", de manera tal que se realice o no la producción, se venda o no la mercadería o servicio, dichos costos igual deben ser solventados por la empresa (Ferrato y Herrera, 1994).

### **2.6.4. Costos según su asignación.**

Entre ellos están los costos directos, aquel que se asigna directamente a una unidad de producción. Por lo general se asimilan a los costos variables, también están los costos indirectos los cuales no se pueden asignar directamente a un producto o servicio, sino que se distribuyen entre las diversas unidades productivas mediante algún criterio de reparto. En la mayoría de los casos los costos indirectos son costos fijos (Ferrato y Herrera, 1994).

## **2.7. La propagación vegetativa.**

Quijada (1980), define a la propagación vegetativa como la obtención de nuevos individuos a partir de partes vegetativas bien diferenciadas, debido a la capacidad de regeneración que posean estas partes (rama, fuste, hojas y retoños) cuando se colocan en condiciones favorables.

Es importante estudiar varias especies árboles y de arbustos de interés, ya que existen muchas barreras que dificultarían su reproducción, o que puedan estar en peligro de extinción; sin embargo, es posible propagar en cierto grado todas las especies difíciles, siempre y cuando se conozcan las condiciones adecuadas que permitan propagarlo; entendiéndose que la propagación vegetativa está aumentando rápidamente y es de vital importancia para el mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1984).

### **2.7.1. Técnicas de propagación vegetativa.**

#### **Propagación por estacas.**

Son secciones de ramas o tallos que puestos en condiciones favorables permite el enraizamiento. Según Zasoni (1975), se define a la estaca como una porción de la planta susceptible de adquirir una autonomía fisiológica, si ésta se instala en un medio favorable, condiciones ambientales convenientes y protegida de la desecación. Estas porciones pueden tomarse de un tallo, de una raíz o una hoja que se denominan estaca de tallo, de raíz o de una hoja respectivamente (Hartmann y Kester, 1984). La propagación de arboles forestales por estaca permite el fomento de clones o grupos de plantas que se obtuvieron de una planta de origen seminal. Asimismo, elimina la diferencia de constitución genética entre los arboles (Flores, 1986).

En una especie de importancia económica, como es la uña de gato (*Uncaria tomentosa*), se recomienda que la propagación por estaca se lleve a cabo en épocas de lluvias para facilitar su prendimiento, también es importante que las estacas provengan de yemas de ramas vigorosas, en cambio del bejuco principal se hallan en proceso de necrosamiento (Quevedo, 1995). Las estacas, para enraizar, necesitan yemas o meristemas axilares, que al ser enterrados, se desarrollan, transformándose en raíces, cuando se trata de partes inferiores, en hojas y ramitas, las que se encuentran sobre el nivel del suelo (Acosta, 1959).

Son muchos los factores que afectan la multiplicación de estacas en especies forestales, siendo genética, fisiológicos y externos (Devastey, 1992). Los factores importantes, según Hartmann y Kester (1983) son: selección del material para las estacas y condiciones ambientales durante el enraizamiento. Recientes experimentos exitosos en la propagación vegetativa de ciertas especies forestales determinaron que es el uso del material vegetativo juvenil y las condiciones ambientales controladas son los factores que más influyen (Soudre *et al.*, 2009).

### **2.7.2. Importancia de la propagación por estacas.**

Mesen (2008), destaca que la propagación vegetativa es importante porque permite la mayor productividad y mejor calidad del producto, mayor ganancia genética, al capturar tanto los componentes aditivos como no aditivos de la variación genética total, mayor homogeneidad en plantaciones, mayor facilidad de manejo, posibilidad de replicar individuos con combinaciones genéticas únicas, lo cual no es posible mediante el uso de semillas, posibilidad de iniciar la propagación mucho antes de que el árbol alcance su edad reproductiva, es una herramienta valiosa para la conservación de genotipos en peligro de extinción.

Carrera (1977), sostiene que este tipo de producción en la rama forestal se usa para multiplicar árboles seleccionados con base a características deseables que se quieren perpetuar como: velocidad de crecimiento, rectitud del fuste, resistencia a plagas y enfermedades; es decir, permite conservar genotipos valiosos.

### **2.7.3. Selección de las especies.**

Se incluyen las especies de mayor importancia actual o potencial (económica y ecológica). En teoría, cualquier especie puede ser propagada mediante enraizamiento de estacas, aunque ciertamente algunas especies enraízan con mayor facilidad. Algunas especies requieren un período de investigación mayor para lograr optimizar la técnica. Lo ideal sería alcanzar porcentajes de enraizamiento superiores al 70%, con características ideales como: fuste recto, sano, sin bifurcaciones, con ramas delgadas, de DAP y altura superiores al

promedio, sin corteza espiral, con copa pequeña y buena capacidad de auto poda (sí aplica). Los estándares deben ajustarse a la arquitectura de la especie. Algunas características deberían ser absolutas (ejemplo: rectitud, ausencia de bifurcación y sanidad). Para otras (DAP, altura, diámetro de ramas, tamaño de copa), no se pueden fijar estándares fijos para la especie, sino que el árbol debe ser comparado con sus cuatro o cinco vecinos más cercanos (Mesen, 1998).

#### **2.7.4. Selección y características del material de propagación.**

##### **Edad de la planta madre (factor de juvenilidad).**

Las estacas obtenidas de plantas jóvenes o de sectores más juveniles tienen mayor capacidad para formar raíces (Dirr y Heuser, 1987; Botti, 1999). Es posible que con la edad se acumulen inhibidores del enraizamiento, como por ejemplo algunos tipos de fenoles, o bien disminuyan otros fenoles que favorecen el proceso (Botti, 1999).

##### **Sección de la planta madre.**

Las diferencias de enraizado según la posición de la estaca en el árbol, puede deberse a una distribución desigual de hormonas vegetales y de reservas nutritivas en las diferentes partes de la planta (Vastey, 1962; citado por Santelices, 1998). El mejor enraizamiento de los extremos de las ramas y tallos (yema terminal) puede ser explicado por la posibilidad de contengan mayores concentraciones de sustancias endógenas promotoras del enraizamiento. También en las estacas terminales existe menos diferenciación, habiendo más células que pueden volverse meristemáticas (Hartmann y Kester, 1983). Es necesario destacar que pueden existir diferencias en el enraizamiento y crecimiento entre las estacas obtenidas del tallo y otras obtenidas de ramas, en la misma planta madre (MacDonald, 1986; Hartmann y Kester, 1988).

## **Época del año para el corte de la estaca.**

Para algunas especies la época de recolección es determinante en el proceso de enraizamiento (Hartmann y Kester 1988; Botii, 1999). Ello en especial para estacas verdes, de madera blanda, las que generalmente deben extraerse en primavera o verano (Botii, 1999). Muchas especies de difícil enraizamiento presentan mejores resultados al recolectar las estacas en breves períodos de primavera. Sin embargo, cuando se presentan problemas de enraizamiento, deben hacerse pruebas para determinar cuál es la mejor época de extracción para cada especie (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999).

### **2.7.5. Sistemas de propagación vegetativa.**

Los más empleados son:

- Sistema de Aspersión
- Enraizamiento al aire
- Sistema de sub-irrigación

Sin embargo, este último viene siendo adoptado por una serie de ventajas (Mesen, 1998 y Soudre *et al.*, 2009).

#### **Sistema de sub-irrigación.**

Mesen (1998), menciona que el nombre del sistema radica por que no se utiliza irrigación aérea, sino que se mantiene una reserva de agua en el fondo del propagador y esta humedece el sustrato por efecto capilar. El ciclo del agua dentro del propagador, al evaporarse y condensarse en la tapa y las paredes, ayuda a mantener una humedad relativa cercana al 100%. Recomendándose niveles de sombra de 75 a 85%. Es utilizado principalmente para operaciones a pequeña-mediana escala. Es igual de efectivo que los sistemas de irrigación y mantiene la humedad relativa muy alta. Tiene las ventajas del bajo costo y que no requiere agua de cañería, ni electricidad, lo que lo hace adecuado para condiciones rústicas.

## **2.7.6. Factores que influyen en el enraizamiento.**

### **Sustrato.**

El sustrato es el soporte donde se desarrollan las raíces de las plantas, allí deben encontrar el agua y los elementos necesarios para su crecimiento (Jiménez y Caballero, 1990). El sustrato de propagación debe cumplir tres funciones importante para el éxito del proceso: sujetar las estacas, mantener la humedad y permitir el intercambio de gases (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999). Por lo tanto, cualquier material o mezcla de materiales que se utilice debe permitir una buena retención de agua (sin acumularla excesivamente) y una aireación que permita un contenido de oxígeno adecuado para la respiración de los tejidos sometidos a la producción de nuevas raíces (Botti, 1999).

Hartmann y Kester (1983), afirman que las relaciones de agua, luz y medio de enraizamiento constituyen factores importantes, siendo imprescindible un medio de enraizamiento que proporcione porosidad, tener una alta capacidad y buen drenaje para estacas de madera dura y semi- dura.

### **Temperatura del medio de enraizamiento (sustrato).**

La temperatura ambiental óptima para el enraizamiento varía según la especie (Hartmann y Kester, 1988). Botti (1999), señala que la mayoría de las especies requieren rangos diurnos de 20 a 27 °C, mientras Hartmann y Kester (1980) restringen el rango de 21 a 27 °C. La temperatura nocturna ideal debe estar alrededor de los 15 °C (Hartmann y Kester, 1980; Botti, 1999).

Muchas especies logran mayores porcentajes de enraizamiento y en menor tiempo cuando la temperatura del sustrato se mantiene entre 25 y 28 °C en los primeros 15 a 20 días, para luego disminuirla a entre 18 y 20 °C. Esta condición puede llegar a ser decisiva en el proceso de enraizamiento para algunas especies vegetales (Botti, 1999).

## **El pH del sustrato**

Esto es correspondiente a la medida de concentración de la acidez en la solución del sustrato y tiene la capacidad de controlar la disponibilidad de todos los nutrientes. Así mismo, el pH del sustrato depende de la especie que se esté cultivando, la mayoría de las especies crecen bien en pH ligeramente ácido entre 6,2 a 6,8. Con valores inferiores a 5 pueden aparecer deficiencias de N, K, Ca, Mg y B. Con valores superiores a 6, se producen problemas en la disponibilidad de Fe, P, Zn, Mn y Cu (Abad, 1993b).

## **La luz**

En todos los tipos de crecimiento y desarrollo de las plantas, la luz es de importancia primordial como fuente de energía para la fotosíntesis. En el enraizamiento de estacas, los productos de la fotosíntesis son importantes para la iniciación y crecimiento de las raíces. Los efectos en él pueden deberse a la intensidad (radiancia), al fotoperiodo (longitud del día) y a la calidad de luz (Dirr y Heuser, 1987; Hartmann y Kester, 1988). La duración y la intensidad de la luz son factores que deben ser considerados, ya que son fundamentales en la producción de hormonas o auxinas y en la fotosíntesis, básicamente en la formación de carbohidratos, y por lo tanto necesaria para la iniciación y formación de raíces y yemas en las estacas (Hartmann y Kester, 1980; MacDonald, 1986). En algunas especies el mayor porcentaje de enraizamiento se obtiene con fotoperíodos largos y de iluminación continua (Hartmann y Kester, 1988).

## **Tamaño de las estacas a propagar.**

Para la especie caoba (*S. macrophylla* king), generalmente se emplean estaquillas entre las longitudes de 4-6 cm, que consiste en una sección longitudinal de entrenudo mas una proporción de horas o aéreas foliares entre 25 a 50 cm<sup>2</sup> (Mesen, 1998).

## **Condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa).**

Numerosos factores anatómicos, fisiológicos y ambientales afectan el enraizamiento de las estacas; todos ellos deben ser optimizados para un enraizamiento exitoso, sin embargo la disminución del estrés hídrico en las estacas es considerada como punto fundamental en el proceso puesto que las temperaturas altas aumentan los procesos fisiológicos y en consecuencia el agotamiento de las reservas, la temperatura óptima entre 21°C y 27°C son satisfactorias para lograr el enraizamiento en la mayoría de las especies forestales, algunas enraízan mejor a temperaturas bajas y se debe evitar la temperatura del aire demasiado alta (Hartmann y Kester, 1992).

Botti (1999), señala que es de suma importancia que las condiciones ambientales de temperatura y humedad en el sector de propagación puedan ser controladas, manteniéndolas dentro de los rangos adecuados. La humedad debe mantenerse alta; entre 70 y 80 % aproximadamente para evitar la deshidratación del material vegetal, especialmente en el caso de estacas verdes o herbáceas.

### **2.8. Aspectos económicos para la elección de un sustrato.**

El establecimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un sustrato es muy importante, sin embargo otro aspecto importante para tomar la decisión de utilizar un determinado sustrato en una explotación comercial es su costo. A grandes rasgos, y como ejemplo, se calcula el costo de inversión en sustrato considerando el volumen total a utilizar de acuerdo a la intensidad y número de plantas que se necesitan producir, además en las explotaciones comerciales se utilizan los siguientes sustratos: agrolita, turbas, fibra de coco, lana de roca y tezontle (Llurba, 1997).

Existen numerosos tipos de sustratos, están los de tipo orgánico (turba, tierra de hoja, aserrín, cáscara de arroz, etc.) y los de tipo mineral (arena y arcillas expandidas como la perlita y vermiculita) (Wells, 1979; MacDonald, 1986; Botti, 1999). Los mejores resultados generalmente se han obtenido con el empleo de

una mezcla de perlita y vermiculita en proporción de 2:1 ó 1:1, pero su costo es demasiado elevado (Botti, 1999).

Asimismo, existen los sustratos utilizados comúnmente en la producción de plantas a raíz cubierta entre ellos destaca la fibra de coco, este sustrato es procedente de Brasil y se origina a través del procesamiento industrial de 250.000 cocos al día, obtenidos desde huertos especialmente dedicados a la producción de frutos para fines gastronómicos. La elaboración de sustrato se generó a partir de investigaciones e inversiones para el desarrollo de una política de producción agrícola e industrial, cuyo objetivo era impulsar el máximo aprovechamiento del fruto, su apariencia es similar a la turba siendo posible distinguir gran cantidad de fibras de coco en el sustrato (Taveira, 2005).

En un estudio realizado por Muñoz (2007), con respecto a la comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill), calculó el costo por metro cubico ( $m^3$ ) de la fibra de coco dando a un precio de \$. 64.167 (S/.179.67), costeando a S/ 1.20 por kilo.

En el sustrato de fibra de coco, el promedio de inversión es de 5,000 a 6,000 dólares/ha, mientras que al utilizar sustratos de roca volcánica (tezontle) el costo de inversión puede reducirse a la mitad. En este caso, la mayor inversión en fibra de coco se compensa al reducir pérdidas de agua y nutrientes hasta en 30 %, y también se obtiene mayor rapidez y eficiencia al momento del trasplante (Llurba, 1997).

Entre los sustratos minerales, en su mayoría se destacan la arena expandida como la perlita agrícola y la vermiculita agrícola. Estos tienen un precio elevado en el mercado. La perlita agrícola posee una densidad a granel de  $90 \text{ kg/m}^3$  (saco de 100 lt), cotizándose a S/ 980.00 dando su precio por kilo a S/ 10.9 y la vermiculita agrícola su precio por kilo en el mercado es de S/ 10.73 (Ruiz, 2010).

Los costos de los sustratos corresponden al precio actual en el mercado, finalmente para el caso de la fibra de coco cabe destacar que no tiene una disponibilidad inmediata en el mercado (Muñoz, 2007).

**Cuadro 3.** Sustratos más comunes utilizados en las explotaciones hortícolas en invernadero y sus costos.

Sustrato	Presentación en volumen	Costo por m <sup>3</sup> o unidad	Costo total	Lugar de cotización
Agrolita	Bulto de 100 L (0.1 m <sup>3</sup> ). 12 kg	\$ 100.00	\$ 100.00	Texcoco, Cd. de México
Fibra de coco	Bulto de 70 L	\$ 60.00	\$ 60.00	Texcoco, Edo. de México
Turba (Sogemix VT-M)	Bulto de 107.5 L comprimido	\$ 210.00	\$ 210.00	Irapuato, Gto.
Lana de roca	Tabla 1200x200x75 mm	12.90 €	12.90 €	España
Tezontle	6 m <sup>3</sup>	\$ 133.33	\$ 800.00	Irapuato, Gto.

Fuente: Díaz, 2004.

## 2.9. Sustancias promotora del enraizamiento.

Las hormonas vegetales llamadas auxinas, fabricadas por las plantas, intervienen en la formación de las raíces de las estaquillas. A través del tiempo se ha logrado sintetizar compuestos capaces de estimular (inducir) o de acelerar la formación de raíces (Wells, 1979; MacDonald, 1986; Hartmann y Kester, 1988).

### 2.9.1. Acido Indol-3-butírico (AIB).

Mesen (1998), hace referencia que el AIB es una auxina sintética químicamente similar al AIA que en la mayoría de las especies ha demostrado ser más efectivo que cualquier otra y es actualmente la de mayor uso como sustancia promotora del enraizamiento. Tiene las ventajas de que no es toxica en un amplio rango de

concentraciones, no es degradada fácilmente por la luz o micro organismos y al ser insoluble en agua, permanece por más tiempo en el sitio de aplicación donde puede ejercer un mayor efecto. El AIA es la auxina natural que se encuentra en todas las plantas, tiene las desventajas de que es fotosensible y soluble en agua, por lo que se disuelve y se pierde más rápidamente del sitio de aplicación. Los ápices de plantas, las semillas germinadas, el agua de coco, entre otras, contienen AIA, de ahí su uso en el pasado como materiales promotores del enraizamiento. El AIB es la auxina más utilizada, no es fotosensible, no es soluble en agua, y ha probado ser efectiva en una gran cantidad de especies. La mayoría de las presentaciones comerciales están hechas a base de AIB, en diversas concentraciones.

A menudo, las mezclas de sustancias estimuladoras del enraizamiento son más efectivas que cualquiera de sus componentes aislados. Por ejemplo, cuando en cierto número de especies muy diferentes se usó una mezcla de partes iguales de ácido indolbutírico y ácido naftalenacético, se encontró que inducía un mayor porcentaje de enraizamiento en las estacas y la producción de más raíces por estaca que cada material por separado (Hartmann y Kester, 1988).

Para uso general en el enraizamiento de estacas de tallo de la mayoría de las especies de plantas es muy recomendado el ácido indolbutírico y en otras ocasiones el ácido naftalenacético. Para determinar cual regulador tiene mejores resultados y en que concentración óptima influye en el enraizamiento de una especie, es necesario realizar pruebas empíricas (Hartmann y Kester, 1988; Botti, 1999). Santos (2002) afirma que existe un nivel máximo para la aplicación de AIB y de estas medidas que el regulador de crecimiento sería perjudicial. Davis et al. (1986) informa de que los nuevos brotes suelen tener poca lignificación, que tiende a aumentar el vértice a la base de las ramas, donde los tejidos tienen un mayor grado de diferenciación.

Las hormonas aplicadas en las ramillas actúan acortando el período de formación de raíces, incrementando los porcentajes de enraizamiento, el número y la calidad de las raíces y promoviendo la uniformidad del sistema radical (Gutiérrez, 2003) y

de acuerdo con Hernández y Leal (1997) las auxinas son esenciales para la formación de raíces adventicias aún en especies fáciles de enraizar sobre todo en la fase juvenil, ya que mejoran el transporte y la producción de sacarosa en las hojas que actúa como fuente de carbono para la rizogénesis. En el año 2008 se reportó que la mayoría de las especies forestales enraízan bien con dosis de 0,2% (2000 ppm) a 0,3% (3000 ppm) de AIB, aunque algunas pueden requerir dosis mayores o menores, en estos casos deberá buscarse un producto comercial que indique una dosis baja o alta a conseguirse de AIB puro y prepararse en las dosis requeridas (Mesen, 1998).

En un ensayo realizado de la propagación de Guandi (*Calophyllum brasiliense*) a través de mini estacas, probó el efecto de diferentes sustratos (sustrato, cáscara de arroz carbonizado y vermiculita), los resultados indican que el sustrato de vermiculita influyó directamente en la velocidad de enraizamiento de estacas con un medio de enraizamiento de 95,8% a los 60 días de estancia en el invernadero, mientras que el sustrato de cáscaras de la agricultura y el arroz tuvo índice similar de enraizamiento sólo en 90 días. El rendimiento de raíces demuestra que la mayoría de los brotes enraizaron en vermiculita en una forma concentrada en 45 días. En el sustrato de enraizamiento de las cáscaras y el arroz es más irregular y lenta, alcanzando un máximo de 60 días. El mejor comportamiento de la vermiculita se puede atribuir a sus propiedades físicas que promueven la aireación del sistema radicular (Gomes, 2001).

Por otro lado, es importante también a considerar que el sustrato y el tipo de auxina (regulador de crecimiento de raíces) son factores importantes en el enraizamiento, así como también, factores internos a la estaquilla como es el área foliar, longitud adecuada de la estaquilla y posición de la estaquilla en el brote (Mesen, 1998).

## **2.10. Manejo en la fase del enraizamiento.**

Después de la instalación de estaquillas es importante considerar los siguientes requisitos básicos como el sombreado, etiquetado, riego y el control fitosanitario (Mesen, 2008).

### **2.10.1. Sombra.**

Para la propagación vegetativa mediante ramillas, es recomendable el establecimiento de condiciones de sombra de un 85-95% para estimular la formación de los primordios radiculares que posteriormente crecen para formar las raíces (Palencia, 2000).

Los requerimientos de sombra durante el proceso de enraizamiento se fundamentan en la necesidad de lograr una tasa adecuada de fotosíntesis en las estacas, ya que la irradiación excesiva provoca el cierre de los estomas, la reducción en el intercambio gaseoso, pérdida de turgencia y la muerte de las estacas. Además, los niveles excesivos de radiación solar favorecen la concentración de carbohidratos, foto-destrucción de las auxinas, cambios en las relaciones de agua y la concentración de sustancias promotoras o inhibidoras del crecimiento (Mesén, 1998; Gutiérrez, 2003).

### **2.10.2. Etiquetado.**

Al igual que con cualquier otro experimento el etiquetado es importante para que se identifique claramente los tratamientos y se mantenga varias copias del mapa del diseño, ya que las etiquetas podrían borrarse, perderse o ser cambiadas. Por eso es importante cosechar en forma ordenada, etiquetando claramente cada clon (Mesen, 2008).

### **2.10.3. Riego.**

No es posible dar una recomendación única sobre la frecuencia del riego. Esta deberá establecerse de acuerdo a la experiencia, y dependerá del sistema de

propagación utilizado, el sustrato, la especie y las condiciones climáticas. Es recomendable que siempre que se abra la tapa del propagador (para inspecciones) la humedad relativa interna disminuye drásticamente. Por eso, antes de cerrar la tapa nuevamente, se recomienda asperjar las hojas con un riego fino de manguera o con un aspersor manual. En época calurosa también es aconsejable asperjar las hojas 1 o 2 veces al día (Mesen, 2008).

#### **2.10.4. Control fitosanitario.**

Cada vez que se saca una nueva cosecha de estacas enraizadas, se procede a limpiar el área utilizada con agua y jabón. Después limpiar con alcohol todas las paredes internas con el fin de eliminar posibles patógenos. Recordar que este es un medio ideal para la proliferación de hongos y otros patógenos, por lo que necesita todas las medidas posibles de desinfección y prevención. Si se han utilizado bandejas plásticas, entonces lavar cuidadosamente con agua y jabón después de transplantado el material. Las bandejas también deben desinfectarse con alcohol antes de que sean utilizadas nuevamente. Con especies muy sensibles a los patógenos como la Teca, debe llevarse a cabo cada semana una aplicación de un fungicida/bactericida dentro del invernadero con fines de prevención de problemas fitosanitarios. Se procurara alternar diferentes productos con el fin de lograr un mayor espectro de cobertura. En caso de no utilizar productos sintéticos, es posible conseguir hoy día en el mercado algunos productos de origen orgánico a base de ajo y otros a partir de extractos de semilla de cítricos (Kilol y el Biocto).

#### **2.11. Descripción de la especie.**

La caoba es un árbol perennifolio o caducifolio, de 35 a 50 m (raramente hasta 70 m) de altura, diámetro a 18 dm de altura: 10 a 18 dm (hasta 35 dm). Copa abierta, redondeada en forma de sombrilla. Hojas alternas, paripinnadas (pocas veces imparipinnadas), de 1 a 4 dm de largo (incluyendo pecíolo); 3-5 pares de folíolos, de 5 x 2 a 12 x 5 cm, lanceolados a ovados, asimétricos, márgenes enteros, además el tronco recto, sin ramas hasta cierta altura, algo acanalado, con sistema radical profundo (Hoyos, 1983).

### 2.11.1. Ecología

Vive favorablemente entre 0 a 1500 msnm; con rangos de temperatura mínima de 11 °C a 32 °C; con precipitaciones de 1200 a 4000 mm; con suelos profundos, bien drenados, franco arcillosos o franco arenosos, soportando ligeramente alcalinidad con tendencia hacia la neutralidad. Exige luz pero tolera la sombra en su etapa juvenil, lo cual se debe a que se desarrolla en zonas con numerosas especies de árboles de gran tamaño, por lo que en los primeros años de su vida tiene que crecer a pesar de que los demás árboles le limitan la cantidad de insolación hasta que alcanza una altura suficiente como para descollar entre los demás árboles (World Conservation, 1998).

### 2.11.2. Hábitat

Se la halla en Perú, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Republica Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guyana Francesa, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá y Venezuela. Está amenazada por pérdida de hábitat (Hoyos, 1983).

### 2.11.3. Taxonomía de la caoba

Según Cronquist, A. (1981), la posición taxonómica de *Swietenia macrophylla* King (caoba), es la siguiente:

DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Magnoliopsida
SUBCLASE	: Magnoliidae
ORDEN	: Sapindales
FAMILIA	: Meliácea
GÉNERO	: <i>Swietenia</i> Jacq.
ESPECIE	: <b><i>Swietenia macrophylla</i> King</b>

## DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

**Análisis técnico económico.** Es el estudio de un proceso o actividad a realizarse con conocimientos concretos para utilizar determinados procedimientos o recursos sin alterar o elevar costos (Boter, 1923).

**Aireación.** Es la presencia de oxígeno dentro de la mezcla

**Ahumado.** Es todo cuerpo que tiene color sombrío, expuesto directamente al humo.

**Asexual.** Modalidad de reproducción en la que no tiene lugar la unión de dos células (fecundación) para formar un cigoto con el doble de dotación cromosómica.

**Auxina.** Cualquiera de las hormonas o sustancias activadoras de crecimiento del tallo, raíz, la inhibición de yemas laterales, abscisión de hojas y frutos, desarrollo de frutos y la activación de las células del cambium entre otros procesos (Hartmann y Kester, 1998).

**Carbón.** Material sólido, ligero de color negro y muy combustible que resulta a partir de la combustión incompleta de la leña u otro material orgánico (Reinoso, 2005).

**Carbonizar.** Reducir a carbón un cuerpo orgánico.

**Comburente.** Es el material que hace arder (oxígeno).

**Degradar.** Descomponer un cuerpo orgánico cualesquiera.

**Densidad.** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo (Medellin, 2002).

**Estaca.** Es todo fragmento del árbol que, enterrado parcialmente es capaz de producir una planta perfectamente igual a aquella de cual procede (GISPERT 1984).

**Estaca juvenil.** Estaca suculenta, con hojas o parte de ellas, originada de rebrotes fisiológicamente juveniles, que dará origen a un árbol de crecimiento normal (Gispert, 1984).

**Fenotipo.** Es la manifestación física de un rasgo genético, resultante de un genotipo específico y su interacción con el ambiente en el cual se desarrolla.

**Filtración.** Penetración de un líquido a través de un cuerpo sólido.

**Genotipo.** Conjunto de genes que se determinan el fenotipo de los individuos de una especie. Generalmente se refiere a la composición alélica de un gen particular o de una serie de genes (Perik, 1990).

**Humus.** Materia orgánica descompuesta o en vías de descomposición, presente en el suelo (Kononova 1982).

**Ignición.** Es el valor de temperatura que debe presentar el sistema fisicoquímico para que se pueda dar la combustión de manera natural (Castro, 2002).

**Ortet.** La planta madre de donde se obtiene el material vegetativo que se propagara.

**Ortotropismo.** Es el crecimiento vertical de un brote que no está sujeto a ninguna influencia externa.

**Plantón.** Planta en los primeros estadios de su desarrollo, apta para ser plantada.

**Poder calorífico.** Energía que desprende un cuerpo y que se manifiesta elevando la temperatura (Marquez, 1989).

**Quemador.** Dispositivo que regula la salida de combustible en las calderas y sirve para controlar y facilitar la combustión (Astigarraga, 1994).

**Residuo.** Parte que queda de un todo, resultando de un proceso.

**Sílice.** Dióxido de silicio, se presenta en forma cristalina, o amorfa.

**Sustrato.** Es el medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo.

## **METODOLOGIA**

### **3.1. Síntesis metodológica.**

La metodología desarrollada en el experimento, se realizó en dos etapas diferentes; en la primera, el diseño, la construcción y el costo de producción de CAC, repitiendo cuatro veces el proceso por cada tipo de quemador. En cada quemador se usó las siguientes cantidades de cascarilla de arroz, en el siguiente orden, 70 kg para el quemador tipo “cilindro medio” y “cónico”; 30 kg para el “testigo” (sin uso de quemador) y 18 kg para el quemador tipo “cilindro rotatorio”. En la segunda etapa, se instaló el ensayo de enraizamiento de estacas juveniles (estaquilla) de caoba, para el cual se empleo un DBCA (diseño de bloques completos al azar) con parcelas divididas, donde se probó cinco tipos de cascarilla de arroz carbonizado (sustratos) y tres dosis de AIB, es decir, 15 tratamientos con 3 repeticiones y ocho estaquillas por unidad experimental. El ensayo se manejo y evaluó durante 60 días, al final de los cuales se registró y analizó el porcentaje de enraizamiento, callosidad, sobrevivencia y porcentaje de brotación.

### **3.2. Ubicación del área experimental.**

La investigación se realizó en el vivero forestal del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) – filial Ucayali, ubicado en la margen derecha de la carretera Federico Basadre Km. 12,400, ingresando 700 m. El área experimental, políticamente pertenece al distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. Se encuentra en la zona de vida de bosque húmedo tropical (Holdridge 1987). Localizado a 8° 22’ 31’ latitud sur y 74° 34’ 35” longitud, a una altitud de 154 msnm, La temperatura promedio anual es 26.8 °C, la humedad relativa promedio anual es de 82 % y la precipitación promedio anual es de 1773 mm. (IIAP, 2003).

### **3.3. Materiales.**

#### **3.3.1. Para la construcción de los quemadores.**

Para la construcción de tres tipos de quemadores metálicos se utilizaron los siguientes materiales, herramientas y equipos: una plancha de acero de 2 mm de espesor, una varilla de fierro corrugado de 1/2", un tubo de fierro de 2", un tubo de fierro de 1", un cilindro metálico de acero, dos bisagras de 2"x 3/8, un arco se sierra, un taladro eléctrico, una prensa simple corta metal (cizalla), brocas o mechas de 1/4" y 1/2", tiralíneas de 10 m, un martillo y cincel, una regla escuadra, una tijera metálica, servicio de rolado y servicio de soldadura.

#### **3.3.2. Para la fabricación del carbón.**

Para la producción y obtención de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) se utilizaron los siguientes insumos: 100 L de agua, 752 kg cascarilla de arroz, 300 kg de leña y 3 prototipos de quemadores; así como los siguientes materiales y equipos: un baldes plásticos de 20 L, un baldes plásticos de 10 L, una balanza gramera, 100 unid de bolsas plásticas de 1/2 kg, una carretilla, 50 costales de 30 kg cada uno, dos escobas, una estufa (para el secado de muestras), tres cajilla de fósforos, dos machetes, una malla cernidora, dos palas, dos rastrillos y una regadera.

#### **3.3.3. Para la determinación del pH.**

Un agitador magnético, una balanza analítica, una capsula de magneto, una espátula, un pilón y mortero, una piceta, una varilla magnética, cuatro vasos precipitados de 100 ml y un equipo de potenciómetro.

#### **3.3.4. Para la determinación del contenido de humedad.**

Una balanza analítica, 16 bolsas plásticas de 1/2 kg, una espátula, muestras de CAC de cada quemador (5 g), un horno secador de muestras, una placa petri.

### **3.3.5. Para la instalación de la cámara de sub-irrigación.**

Soluciones hormonales de AIB (Acido Indol -3 Butírico) de diferentes dosis (3000, 5000 y 8000 ppm), sustratos de cascarilla de arroz carbonizada obtenidos por los quemadores tradicional, cilindro medio, cónico, rotatorio y además de un testigo (sin carbonizar), tijeras de podar, alcohol al 96 %, dos pares de guantes quirúrgicos, dos mascarillas, 30 g. de fungicida (cupravit), cuatro recipientes plásticos (10 litros), un aspersor de agua, dos costales, 45 placas identificadores, tres reglas y tres cajas de tecnoport. Asimismo, se construyó y utilizó una cámara de sub-irrigación (figura 1) que incluye piedras, gravas y al CAC como sustrato de soporte, como material vegetativo se usaron 360 estacas juveniles de Caoba procedentes de huerto yemero del IIAP Ucayali. Para el manejo, control y evaluación se utilizaron termo-higrómetros, termómetros, luxímetro, calibrador vernier y formatos de evaluación previamente elaborados.

### **3.4. Los quemadores.**

#### **3.4.1. Propuesta de los tipos de quemadores.**

Para carbonizar la cascarilla de arroz, fue necesario contar con quemadores que cumplan con las siguientes 10 consideraciones técnico-económicas: 1) óptimos rendimientos del producto final, 2) el menor tiempo del procedimiento de quemado, 3) la mayor productividad, 4) la más alta calidad del producto final (quemado limpio, homogéneo, y de partículas enteras), 5) menor costo de producción, 6) menor riesgo de operatividad (seguridad), 7) eficacia ergonómica, 8) poco contaminante, 9) maniobrables o funcionables y 10) portátil o transportable.

#### **3.4.2. Diseño de los prototipos de quemadores.**

Se propusieron diseños acordes a las exigencias de calidad y cantidad del producto final (CAC), los criterios a tomar en cuenta fueron:

**a). Condición anaeróbica del sistema.**

El diseño de los quemadores se realizó teniendo en cuenta los principios de carbonización del material vegetal, es decir, que el ingreso de la entrada de aire a la cámara de combustión, no permitan la conversión a ceniza de la cascarilla de arroz, procurando que el proceso de combustión se corte en la fase de carbonización.

**b). Capacidad de producción.**

La cantidad de materia prima a carbonizar está ligada a la necesidad de la cantidad de sustrato que se necesitará producir, puesto que tanto el quemador cilindro medio y el quemador cónico pueden producir hasta más de 100 kg de cascarilla de arroz carbonizada por turno, pero para esta investigación se produjo 70 kg/turno, pues depende de la habilidad del personal encargado de producirla; en cambio en el quemador cilindro rotatorio solo es posible utilizar las 3/4 partes del volumen total del cilindro con que cuenta el interior del quemador.

**c). Funcionalidad o maniobrabilidad.**

El diseño de los tres quemadores se caracterizan por su notable sencillez, para ser manejados y manipulados por el personal de mando medio, su diseño se inspira en el trabajo de carbonizado artesanal de cualquier materia prima lignocelulosica.

**d). El tipo de material adecuado para su construcción.**

Se tuvo en cuenta que el material empleado en su construcción soporte la incidencia del fuego directo (superior a los 500 °C), que sea accesible, disponible, relativamente económico y moldeable, por lo que se utilizó planchas de acero de 2 mm de espesor y cilindro de acero, como principales insumos de exposición directa.

### **3.5. Construcción de los quemadores cilindro medio y cónico.**

#### **3.5.1. Dimensionado y corte de la lámina de acero.**

Consistió en dar las medidas previamente establecidas en los planos del diseño, luego se realizó los cortes adecuados y tamaño de las piezas que formaran al quemador.

#### **3.5.2. Rolado.**

Consistió en dar el dobles (doblar) a la lámina de metal, para conseguir las diferentes piezas, como la base, la chimenea y el respirador del quemador respectivo. Esta operación se realizó con la ayuda de un tubo metálico y se realizó tanto para el quemador cilindro medio y quemador cónico.

#### **3.5.3. Unión de piezas.**

La unión de los segmentos de las diferentes partes del quemador, se realizó a través de puntos de soldadura de alta resistencia.

#### **3.5.4. Construcción de quemadores.**

La construcción se realizó con materiales cien por ciento disponibles en la localidad, materiales que poseen las cualidades, características y resistencia necesaria para soportar las condiciones de fuego directo ( $> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a los que estará sometidos estos quemadores.

La construcción de ambos quemadores se realizó en forma casi artesanal, para lo cual se utilizaron equipos y herramientas que permitieron doblar y cortar; fueron contruidos con material llamado lamina de plancha negra (acero) y unidos con soldadura de alta resistencia.

#### **3.5.5. Quemador cilindro medio.**

Consiste en una plataforma de base cilíndrica de 1.50 cm. de altura y 45 cm. de diámetro y con un peso total de 11 kilos, además de una chimenea vertical de 100

cm. de largo y 4” de diámetro insertada en el centro de la plataforma superior del cilindro. Adicionalmente un respiradero horizontal de 4” de diámetro por 7 cm de largo situado en la base del cilindro. El cilindro cuenta con 68 agujeros de 1/2 pulgada de diámetro distribuidos homogéneamente en su superficie. El material del cilindro, la chimenea y el respiradero fue construido con “planchas” de acero (foto 1).



**Foto 1.** Quemador cilindro medio

### **3.5.6. Quemador cónico.**

Similar al primer quemador, solo que la plataforma es de forma cónica o semejante a “un embudo” invertido, con las siguientes dimensiones: base de 50 cm. de diámetro y 50 cm. de altura con un peso total de 14 kilos, en la parte superior del cono esta incrustada una chimenea de 100 cm. de largo y 6 pulgadas de diámetro, además de un respiradero horizontal de 70 cm. de largo y 4 pulgadas de diámetro situado en la base del cono y en contacto con el suelo. La plataforma cónica cuenta con 66 agujeros de 1/4 de pulgada de diámetro distribuido homogéneamente en su superficie. También fue construido en su totalidad con “planchas” de acero. El combustible para el quemado ingresa por la misma chimenea (foto2).



**Foto 2.** Quemador cónico.

### **3.5.7. Requerimiento de cilindro metálico de acero.**

Se adquirió un cilindro metálico de 55 galones de capacidad que sirvió para el almacenamiento y producción, a su vez, del carbón de cascarilla de arroz.

### **3.5.8. Apertura de la compuerta de alimentación.**

Se realizó el seccionamiento de 30 cm de ancho y 38 cm de largo en la parte media del cilindro, esto con la finalidad de que permita el ingreso de la materia prima y a su vez la salida del producto terminado (CAC), cuenta con cerrojo de seguridad para evitar la pérdida de la CAC en pleno proceso de quemado (foto 3).



**Foto 3.** Compuerta de alimentación del quemador tipo cilindro rotatorio.

### **3.5.9. Acoplamiento de paletas interiores del cilindro.**

Consistió en acoplar cuatro paletas de metal de 8.5 cm de ancho y 85.5 cm de largo al interior del cilindro metálico, ello con la finalidad de que sirva como removedor de la cascarilla durante la fase de carbonizado, a manera de tornillo sin fin, permitiendo un quemado más uniforme (foto 4).



**Foto 4.** Paletas y respiradero interior en el quemador tipo cilindro rotatorio

### **3.5.10. Respiradero interior.**

Es un tubo de acero de dos pulgadas de diámetro, presenta 72 agujeros de 1/4 de pulgada de diámetro distribuidos homogéneamente sobre su superficie, el cual fue instalado en el interior central, de manera horizontal y paralela al cilindro metálico con la finalidad de evacuar los gases generados al interior del cilindro en todo el proceso de quemado.

### **3.5.11. Manivela de rotación.**

Una manivela de metal, fue soldada en la parte lateral externa del cilindro, con el propósito de rotar (dar vueltas) al cilindro y al contenido interior (cascarilla de arroz).

### 3.5.12. Caballete para soporte de cilindro.

Es una estructura de soporte, sobre el cual está el cilindro rotatorio, construidos con tubos de acero de una pulgada de diámetro situados en ambos extremos, a manera de bancada.

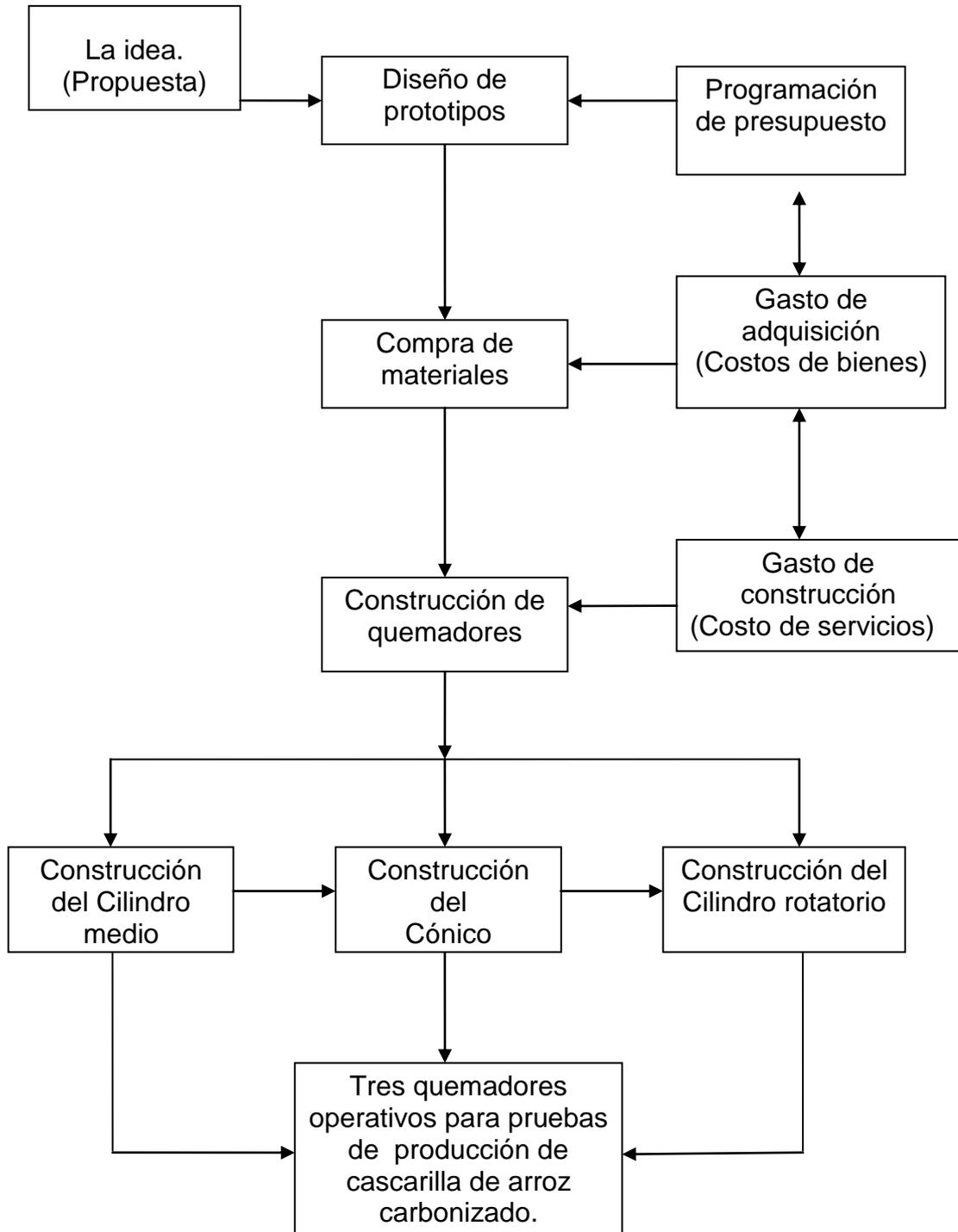
### 3.5.13. Quemador cilindro rotatorio.

Es una estructura solida y con un peso total de 43 kilos cuatro veces más pesado que los anteriores quemadores, el cuerpo principal fue construido a partir de un cilindro de acero común y corriente (55 gl de capacidad) colocado en sentido horizontal, en cuyo interior están acopladas las cuatro paletas, el respiradero que atraviesa longitudinalmente el cilindro en su parte central (de extremo a extremo). La fuerza de rotación es activada o transmitida por la manivela que esta soldada a la parte lateral del cilindro. La combustión para el quemado de la cascarilla se realiza en la parte basal y externa al cilindro, generalmente acumulando leña a manera de fogata (foto 5).



**Foto 5.** Quemador cilindro rotatorio.

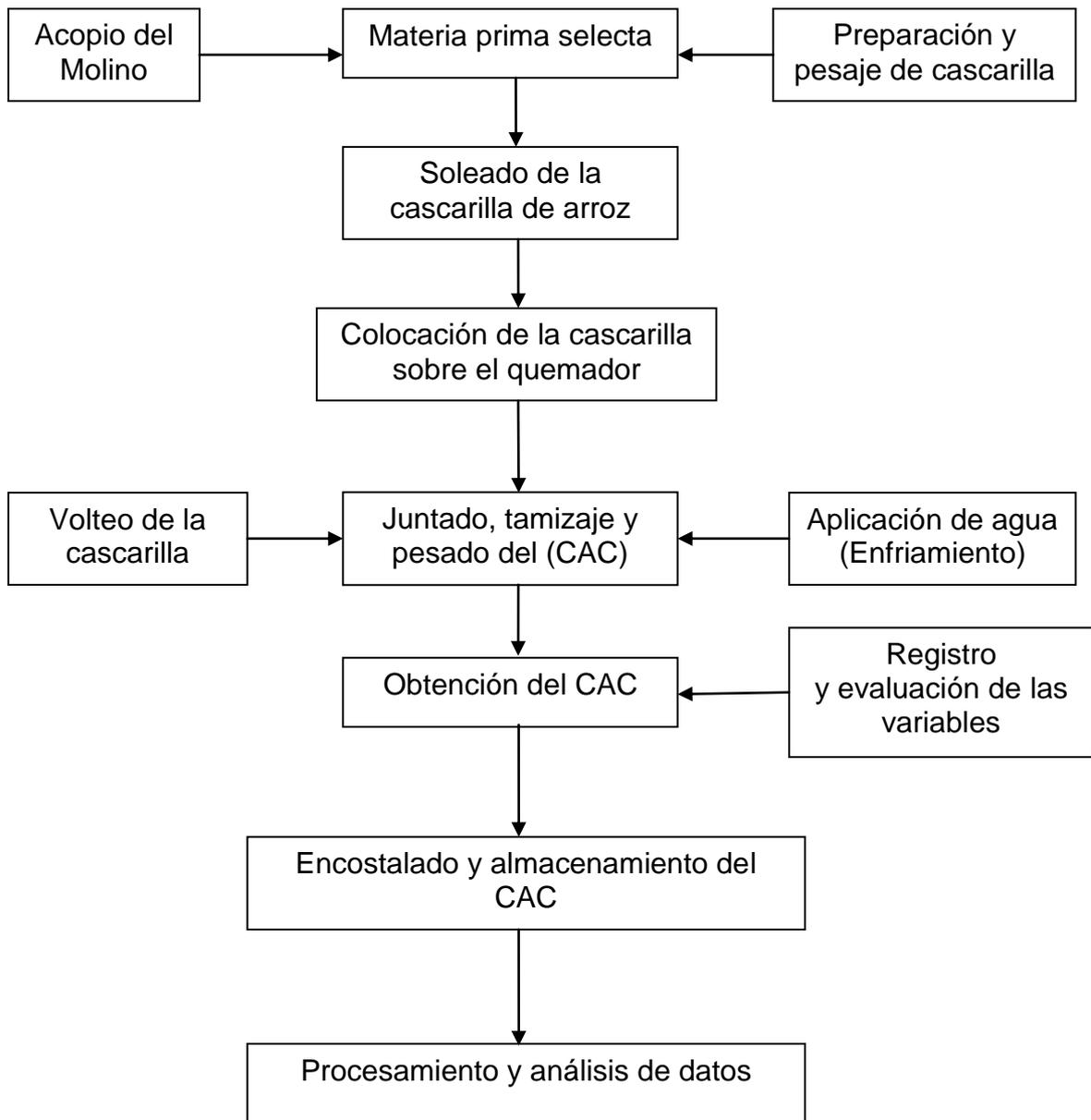
Seguidamente, se detalla el proceso de construcción de los quemadores para la fabricación del sustrato de cascarilla de arroz carbonizada (CAC), (figura 1).



**Figura 1.** Flujograma del proceso de construcción de los quemadores de CAC.

### 3.6. Producción de cascarilla de arroz carbonizada (CAC).

A continuación se detalla el proceso de producción de cascarilla de arroz carbonizada (CAC), (figura 2).



**Figura 2:** Flujograma del proceso productivo del sustrato de cascarilla de arroz carbonizada.

### 3.6.1. Preparación de fuego.

Se hizo con leña de madera (disponible en la zona). El tamaño y ordenamiento de la leña, debe permitir la colocación adecuada del propio quemador.



**Foto 6.** Preparación del fuego

### 3.6.2. Colocación del quemador.

Fue colocado directamente sobre el fuego y cuando las brazas de la leña se encuentran en máxima combustión.



**Foto 7.** Puesta del quemador sobre el fuego.

### 3.6.3. Colocación de la cascarilla de arroz en el quemador.

Para el caso de los quemadores cilindro medio y cónico, la cascarilla fue colocada alrededor de la base y sobre el cilindro y el cono; pero para el caso del quemador cilindro rotatorio, la cascarilla fue colocada al interior del cilindro.



**Foto 8.** Puesta de la cascarilla de arroz sobre el quemador.

### 3.6.4. Remoción de la cascarilla de arroz.

Este se realizó en períodos de 10 a 15 minutos tratando de no cortar el proceso de calentamiento de la cascarilla en la preparación del carbón. El volteo de la cascarilla se hizo con ayuda de un rastrillo de “uñas” metálicas de 1 mm de espesor.



**Foto 9.** Volteo de la cascarilla de arroz.

### 3.6.5. Proceso del carbonizado.

En términos generales, pasado la primera hora, se observó que la cascarilla presentó un estado avanzado de carbonización. Las temperaturas son muy elevadas y la combustión es máxima al interior del quemador.



**Foto 10.** Proceso del carbonizado.

### 3.6.6. Separado de la cascarilla de arroz carbonizado.

Una vez terminado el proceso de carbonización de la cascarilla de arroz, se extiende sobre una superficie limpia y de la mejor forma posible fuera del quemador, con el propósito de interrumpir el proceso de carbonización, de esta manera se garantizará la ausencia de “brasas” encendidas de cascarilla.



**Foto 11.** Separado de la cascarilla de arroz carbonizado.

### 3.6.7. Aplicación de agua.

Sobre la misma superficie donde está extendida la cascarilla se aplicó agua con el propósito de ayudar a interrumpir el proceso de calentamiento y combustión de la cascarilla; esta actividad es importante de lo contrario el proceso continúa y se obtendría finalmente ceniza, que no es recomendable para la obtención del sustrato requerido.



**Foto 12.** Aplicación de agua.

### 3.6.8. Selección y almacenaje de CAC.

Se espera que el carbón se enfríe por completo para realizar los trabajos posteriores, es decir, el tamizaje para la depuración de partículas menores del propio carbón de cascarilla; posteriormente se realizó el pesado que indicará la cantidad de carbón producido, para finalmente realizar su encostalado y almacenamiento respectivo.

Adicionalmente se obtuvo CAC, pero sin la utilización de ninguno de los quemadores, es decir, se carbonizó al “aire libre” juntando previamente un montículo de cascarilla de arroz a la que luego se prendió fuego usando mecheros de hojarasca secas situadas en diferentes puntos del montículo, finalmente, para fines comparativos se registraron y evaluaron las mismas variables que en los tres casos anteriores.

### **3.7. Determinación de propiedades físico-químicas.**

#### **3.7.1. Contenido de humedad de la cascarilla de arroz carbonizado (CAC).**

Para determinar el contenido de humedad del CAC se utilizó el método directo, que incluye el secado del CAC al horno. El procedimiento consistió en tomar una muestra compuesta de 5 gr de CAC a partir de cuatro muestras individuales debidamente mezcladas obtenidas de cada quemador. La muestra fue pesada en balanza analítica y luego vuelta a pesar después de secarla en estufa ( $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) durante 24 horas. Finalmente se calculó el contenido de humedad de la muestra.

#### **3.7.2. Densidad calculada.**

Una vez obtenido el producto terminado, se pesó un volumen conocido (100 ml) de CAC, luego de que el carbón fuera colocado en una probeta y sometido a 10 “golpecitos” a fin de obtener un arreglo similar en cada muestra. Esta operación se repitió para todas las muestras hasta determinar la densidad promedio dado por la formula:

$$D= M/V \text{ (expresados en g/cc o g/ml).}$$

Donde:

D= densidad calculada

M= peso en gramos de CAC

V= 100 ml.

#### **3.7.3. Determinación del pH.**

Se obtuvo cinco muestras representativas de cada montículo de cascarilla de arroz carbonizada generado por cada uno de los cuatro quemadores incluyendo el quemado tradicional (testigo), obteniendo un total de 20 muestras que fueron molidas en mortero hasta su conversión en polvo, luego se pesó 10 g de polvo de sustrato CAC y se diluyó en 25 ml en agua destilada, posteriormente se introdujo en esta mezcla una capsula de magneto y se llevó al agitador magnético para su

respectiva homogenización; terminado la homogenización, se preparó el equipo del potenciómetro (pH-metro), el cual se calibró con soluciones de buffer, terminando la calibración se procedió a introducir el medidor dentro del vaso con la muestra diluida. El valor de pH fue registrado, luego de esperar prudentemente la estabilización de la lectura digital.

### **3.8. Asignación de código para cada uno de los tipos de sustratos CAC.**

Para el respectivo nombramiento, reconocimiento e identificación de los sustratos de cascarilla de arroz carbonizada (CAC) producidos en cada tipo de quemador, se detalla a continuación la siguiente codificación:

**Cuadro 4.** Codificación empleada para la identificación de cada tipo de sustrato cascarilla de arroz carbonizado (CAC) producida.

<b>QUEMADOR (TIPO)</b>	<b>CAC (código)</b>
Cilindro médio	C1
Cónico	C2
Cilindro rotatório	C3
Tradicional (sin quemador)	C4

### **3.9. Eficiencia y productividad de quemadores.**

#### **3.9.1. Determinación del rendimiento**

El rendimiento se midió de acuerdo a cada tipo de quemador de CAC y sus repeticiones, mediante la relación entre la cantidad de materia prima que ingresa (cascarilla de arroz cruda) respecto a la cantidad de producto terminado (CAC), con ello se determinó la eficiencia de los quemadores.

### **3.9.2. Productividad.**

Se determinó para cada tipo de quemador de CAC y sus repeticiones, mediante la relación entre la cantidad de CAC producido y el tiempo de conversión del mismo CAC, para ello se registró el tiempo de inicio y final del proceso, en formatos previamente elaborados.

### **3.10. Costos.**

Para el cálculo de los costos de las operaciones de quemado del CAC, se tomó en cuenta el costo individual de los insumos, materiales, equipos y herramientas, además del costo por servicio del personal que estuvieron involucrados directamente en la construcción y operatividad del proceso de cada quemador para la producción del CAC, de esta forma se facilita el comparativo de costos de producción entre el método tradicional y los tres quemadores artesanales.

### **3.11. Procedimiento experimental del ensayo de enraizamiento de caoba.**

Se realizó actividades consecutivas que favorecieron su plena ejecución, el cual se detalla a continuación:

#### **3.11.1. Diseño estadístico.**

Para la fase de elaboración del carbón de cascarilla de arroz (CAC), se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de cuatro (4) tipos de carbonizado (tres quemadores más el testigo) y con cuatro (4) repeticiones cada uno, lo que generó 16 unidades experimentales (tratamientos por repeticiones).

**Cuadro 5.** Descripción de los tratamientos empleados.

Tratamiento	Repetición	Código	Sustrato CAC carbonizado según quemador y repetición
C1	1	C1 - 1	Sustrato CAC del quemador cilindro medio carbonizado 1
C1	2	C1 - 2	Sustrato CAC del quemador cilindro medio carbonizado 2
C1	3	C1 - 3	Sustrato CAC del quemador cilindro medio carbonizado 3
C1	4	C1 - 4	Sustrato CAC del quemador cilindro medio carbonizado 4
C2	1	C2 - 1	Sustrato CAC del quemador cónico carbonizado 1
C2	2	C2 - 2	Sustrato CAC del quemador cónico carbonizado 2
C2	3	C2 - 3	Sustrato CAC del quemador cónico carbonizado 3
C2	4	C2 - 4	Sustrato CAC del quemador cónico carbonizado 4
C3	1	C3 - 1	Sustrato CAC del quemador cilindro rotatorio carbonizado 1
C3	2	C3 - 2	Sustrato CAC del quemador cilindro rotatorio carbonizado 2
C3	3	C3 - 3	Sustrato CAC del quemador cilindro rotatorio carbonizado 3
C3	4	C3 - 4	Sustrato CAC del quemador cilindro rotatorio carbonizado 4
C4	1	C4 - 1	Sustrato CAC por el método tradicional (testigo) carbonizado 1
C4	2	C4 - 2	Sustrato CAC por el método tradicional (testigo) carbonizado 2
C4	3	C4 - 3	Sustrato CAC por el método tradicional (testigo) carbonizado 3
C4	4	C4 - 4	Sustrato CAC por el método tradicional (testigo) carbonizado 4

Donde:

C1 = CAC del quemador cilindro medio

C2 = CAC del quemador cónico

C3 = CAC del quemador cilindro rotatorio

C4 = CAC del método tradicional (testigo)

Repeticiones: 1, 2, 3, 4

El modelo matemático utilizado es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento i.

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio

En lo que concierne a la propagación vegetativa se utilizó el diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas (DBCA con PD), con un arreglo bifactorial de 3 x 5, con tres concentraciones de dosis hormonales AIB y cinco tipos de sustratos de CAC, lo que generó 15 tratamientos y tres repeticiones. Donde las parcelas grandes son los sustratos y las sub parcelas pequeñas son las concentraciones de dosis hormonales de AIB, con unidades experimentales constituidas por ocho estacas juveniles (anexo 4).

### **3.12. Descripción de los factores y tratamiento en estudio.**

#### **A). Factores en estudio.**

- Sustrato ( C ):

C 0 = Cascarilla sin carbonizar (testigo)

C 1 = CAC del cilindro medio

C 2 = CAC del cilindro cónico

C 3 = CAC del cilindro rotatorio.

C 4 = CAC del tradicional

- Hormona AIB (D):

D 1 = 3000 ppm

D 2 = 5000 ppm

D 3 = 8000 ppm

## B). Tratamientos en estudio.

**Cuadro 6.** Descripción de los tratamientos empleados en la propagación.

Tratamiento	Código	Tipo de sustrato según quemador ( C )	Dosis de AIB (D)
T1	C0 D1	Cascarilla sin carbonizar	3000 ppm
T2	C0 D2	Cascarilla sin carbonizar	5000 ppm
T3	C0 D3	Cascarilla sin carbonizar	8000 ppm
T4	C1 D1	Cascarilla Carbonizada del cilindro medio	3000 ppm
T5	C1 D2	Cascarilla Carbonizada del cilindro medio	5000 ppm
T6	C1 D3	Cascarilla Carbonizada del cilindro medio	8000 ppm
T7	C2 D1	Cascarilla Carbonizada del cónico	3000 ppm
T8	C2 D2	Cascarilla Carbonizada del cónico	5000 ppm
T9	C2 D3	Cascarilla Carbonizada del cónico	8000 ppm
T10	C3 D1	Cascarilla Carbonizada del cilindro rotatorio	3000 ppm
T11	C3 D2	Cascarilla Carbonizada del cilindro rotatorio	5000 ppm
T12	C3 D3	Cascarilla Carbonizada del cilindro rotatorio	8000 ppm
T13	C4 D1	Cascarilla Carbonizada por el método tradicional	3000 ppm
T14	C4 D2	Cascarilla Carbonizada por el método tradicional	5000 ppm
T15	C4 D3	Cascarilla Carbonizada por el método tradicional	8000 ppm

### Modelo matemático.

El modelo estadístico para el diseño fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_{ij} + D_k (SD)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = observación individual obtenida en el i-esimo, la j-ésima repetición y k-ésima dosis de AIB.

$\mu$  = promedio general

i = sustrato

j = bloques

k = dosis

$S_i$  = efecto del nivel i del primer factor (sustrato)

$D_k$  = efecto del nivel K del segundo factor (dosis)

$\epsilon_{ij}$  = variación al azar de la parcela principal (error A)

$(SD)_{ik}$  = interacción entre el primer factor (sustrato) y el segundo factor (dosis)

$\epsilon_{ijk}$  = variación al azar entre las subparcelas (error B)

Para:

i = 1, 2, 3, 4,5 niveles del primer factor (sustratos)

j = 1, 2, 3 Bloques (I, II, III)

k = 1, 2, 3, niveles del segundo factor (dosis).

**Cuadro 7.** Descripción del análisis de varianza.

<b>FUENTE DE VARIACION</b>	<b>G.L</b>
BLOQUES	2
SUSTRATOS	4
DOSIS	2
ERROR (a)	8
INTERRACCION (sustrato x dosis)	8
ERROR (b)	16
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>

### **3.13. Material vegetativo.**

Se emplearon estaquillas de 3 a 5 cm de longitud promedio y 5.64 mm de diámetro promedio, procedentes de brotes juveniles de Caoba (*S. macrophylla* king) de 3 meses de edad. Los brotes fueron emitidos por plantones de 3 años de edad, los cuales fueron manejados en el huerto yemero del área cercana al vivero del IIAP. Todo el material vegetativo a utilizar para la instalación dentro de la cámara, fue desinfectado en su totalidad con cupravit (fungicida agrícola) al 0.3 %.

### **3.14. Población y muestra.**

La población disponible fue de 720 estacas juveniles obtenidos de los brotes de Caoba producidos en el huerto yemero del IIAP Ucayali, la muestra se conformó del material selecto, es decir 360 estacas juveniles utilizadas para la instalación del ensayo correspondiente.

### **3.15. Preparación de la cámara de propagación.**

En el experimento se utilizó una cámara de sub-irrigación cuyas dimensiones fueron las siguientes:

Largo total de la cámara	: 2.50 m
Ancho total de la cámara	: 0.98 m
Altura promedio de la cámara	: 1 m
Área total de la cámara	: 2.45 m <sup>2</sup>

Esta construcción consta de una estructura rectangular de madera dimensionada y forrada con mica traslucida de polietileno, para de esta forma hacerlo impermeable y retener la máxima humedad interna. Las características y el diseño fueron propuestos por Leakey (1990) (foto 13).

En el interior de esta cámara existe una sucesión de capas conformado por partículas de arena y piedras de diferentes tamaños. La capa de la base está conformada por 1 cm de arena, seguido de 6 cm de piedras (10-15 cm de diámetros), seguido de 2 cm de piedras pequeñas (5 cm), y 1 cm. de grava (4-5 mm), terminado estas capas se introdujo sobre estos, 5 cm de cascarilla de arroz carbonizada (CAC) producidos por los quemadores de cilindro medio, cónico, cilindro rotatorio, tradicional y la cascarilla cruda (testigo), cada uno extendido en 5 parcelas iguales en el interior de la cámara de subirrigación.



**Foto 13.** Construcción de la cámara de sub-irrigación.

Interiormente la cámara de sub-irrigación posee un tubo plástico de cuatro pulgadas insertado verticalmente en uno de los vértices y sobre el lecho de piedras, el tubo permite introducir y observar el nivel de agua al interior del lecho de la cámara de sub-irrigación. Para el experimento se introdujo 80 litros de agua, aproximadamente, con la finalidad de que el CAC siempre se mantenga húmedo por el efecto de la capilaridad. Para regular el paso de la radiación solar sobre la cámara, esta fue cubierta con malla Rashell al 65% de sombra, durante los 60 días que duró el ensayo, además de una malla adicional durante los dos primeros días del ensayo.

### **3.15.1. Instalación de los sustratos en la cámara de sub-irrigación.**

Los tipos de sustratos originados en cada quemador fueron colocados sobre el lecho de piedras dentro de la cámara de subirrigación, divididos entre si, por una tablilla de 1 m x 10 cm x 1 cm, finalmente, todos los sustratos fueron ligeramente compactados con una “planchita” de madera, así quedaron operativas para la instalación de las estacas juveniles de caoba, (foto 14).



**Foto 14.** Cinco tipos de CAC en la cámara de sub-irrigación.

### **3.16. Preparación de las estaquillas.**

La cosecha y corte de los brotes se realizó entre 6 a 6:30 am utilizando tijeras de podar, los brotes fueron transportados en cajas de tecnoport con la finalidad de evitar su desecamiento. De los brotes se dimensionaron estacas juveniles de 3 a 5 cm de longitud y 50 cm<sup>2</sup> de área foliar, para la obtención el área foliar se usó moldes ya dimensionados de papel cartulina. Los cortes de la longitud del brote se hicieron justo arriba de los entre nudos, considerando las secciones (apical, media y basal) y también con la finalidad de obtener y aprovechar al máximo el material vegetativo. Solo se consideraron las estacas sanas y vigorosas, descartando las muy lignificadas y cortas (<3cm). Posteriormente, las estacas fueron desinfectadas con solución fungicida (cupravit al 0.3 %) (30 g de cupravit en 10 L de agua), durante 15 minutos, luego del cual fueron oreadas por un periodo de 30 minutos. Las estaquillas con longitud mayor a 5 cm también fueron recortados al intervalo de longitud requerido. El corte de los brotes y estacas juveniles se realizó con tijeras de podar previamente desinfectadas.

#### **3.16.1 Aplicación de la dosis hormonal AIB.**

Se usaron soluciones de 3000 ppm, 5000 ppm y 8000 ppm de AIB diluidas en alcohol (previamente preparados en laboratorio), luego el procedimiento fue el siguiente:

Se usó un centímetro de cada solución, o el equivalente del volumen de una columna de solución de un centímetro de altura en un vaso precipitado de vidrio traslucido, suficiente para introducir la base de la estaca por un tiempo de tres a cuatro segundos, para luego evaporar el alcohol de la base de la estaca con ayuda de un ventilador durante 30 segundos aproximadamente, quedando así fijada la hormona en la base de la estaca. Posteriormente las estacas fueron instaladas en los sustratos de la cámara de sub-irrigación. El estaquillado se realizó en hoyos previamente preparados de 2.5 cm de profundidad y 0.8 mm de diámetro, se realizaron un total de 360 hoyos para todo el experimento. Las estaquillas fueron introducidas con bastante cuidado evitando en lo posible deteriorar la base puesto que en ello se encuentra adherida la solución hormonal, luego fue presionada ligeramente con el mismo sustrato para su mayor fijación. La instalación de estaquillas de caoba siguió la distribución experimental del diseño propuesto.

### **3.16.2. Manejo de estaquillas al interior de la cámara.**

Luego de la instalación, la cámara de sub-irrigación fue cubierta con doble malla Rashell de 65% de sombra durante los dos primeros días, evitando el exceso de temperatura y su evidente afectación de las estaquillas recientemente cortadas, posteriormente se retiró una de las mallas, quedando solo una por los próximos 60 días.

Se realizaron asperjadas (regar agua) sobre las hojas de estaquilla en los días en que las temperaturas fueron muy altas y la humedad relativa menor a 60%; se verificó permanentemente que el nivel de agua del lecho de la cámara se mantuviera constante; además, fue conveniente retirar las hojas caídas sobre los sustratos a fin de evitar posibles focos de contaminación al interior de la cámara de sub-irrigación.

### **3.16.3. Monitoreo y control.**

Se registró la Temperatura máxima, Temperatura mínima, Temperatura media y Humedad relativa al interior de la cámara de sub-irrigación con la ayuda de un

equipo de termohigrometro. La temperatura de cada sustrato fue registrado con ayuda de termómetro de alcohol. También se registró la intensidad lumínica neta que llegó sobre la cámara de sub-irrigación con ayuda de un luxímetro a batería. Finalmente también se evaluó la temperatura ambiental, mínima, media y máxima y humedad relativa al exterior de la cámara de sub-irrigación. En todos los casos los registros fueron tomados a las 8:00 am, 12:00 m y 3:00 pm durante los 60 días del ensayo. Los datos fueron anotados en formatos previamente elaborados.

### **3.17. Variables evaluadas en la propagación vegetativa.**

#### **3.17.1. Porcentaje de enraizamiento (%).**

Se realizó al final del ensayo y se refiere a la proporción de estacas que lograron enraizar entre el total de estacas por tratamiento y por repetición. Considerándose raíz a partir de una longitud de 0.5 cm.

#### **3.17.2. Porcentaje de callos (%).**

Se realizó al final del ensayo y se refiere a la proporción de estacas con presencia de callos en la base entre el total de estacas por tratamiento y por repetición. Se consideró un callo completo, a partir de la formación horizontal de una masa blanquecina no elongada, es decir, solo protuberancias en forma de “roseta atrofiada”, de 1 mm como mínimo (Mesen, 1993).

#### **3.17.3. Porcentaje de Brotes (%).**

Se realizó al final del ensayo y se refiere a la proporción de estacas con brotes u hojas entre el total de estacas por tratamiento y por repetición. Se considero como brote aquella formación foliosa que alcanzó 1 mm de longitud.

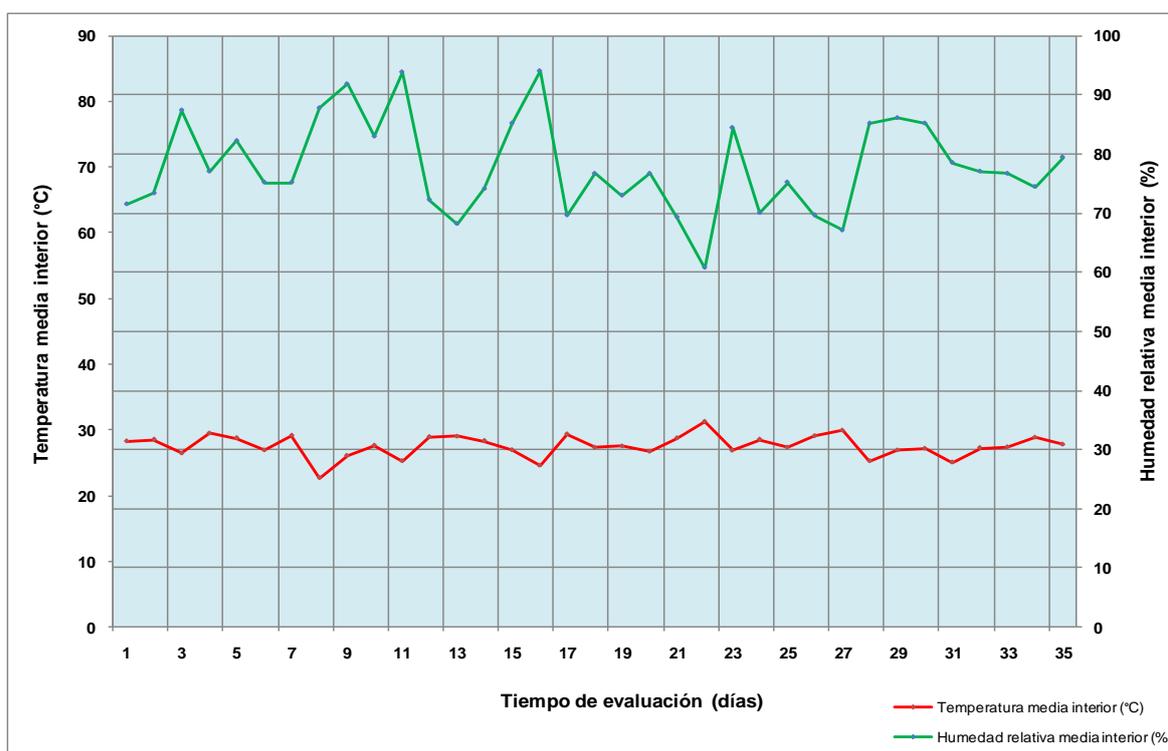
#### **3.17.4. Porcentaje de sobrevivencia (%).**

Se realizó al final del ensayo, contándose el número de estaquillas muertas en base al total de unidades experimentales por tratamiento y por repetición.

Indicando que muchas de las estacas que murieron presentaron necrosis (podrición) en la base.

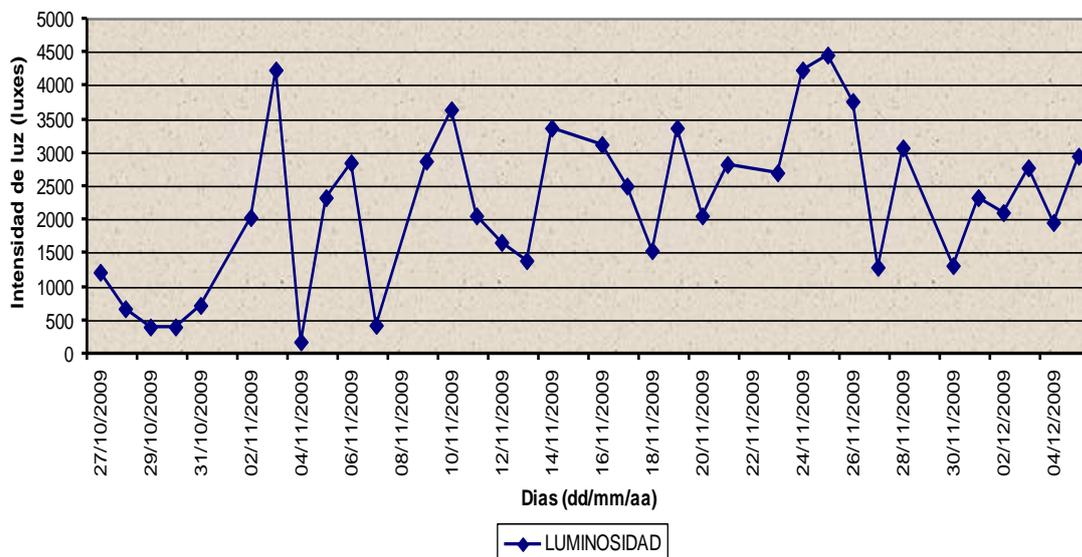
### 3.18. Condiciones ambientales.

En la figura 3, se observa como varió la temperatura interna en comparación con la humedad interna, dándose para la temperatura registros de 25 a 35 °C y para la humedad relativa valores de 55 a 85 %, esto favorecido por la presencia permanente de la malla sombreadora que bloqueó la radiación directa sobre la cámara de sub-irrigación. Las proyecciones altas y bajas de estos factores (temperatura y humedad relativa) están ligadas de forma inversa entre sí. El ensayo se realizó en plena época de invierno (iniciándose el 27 de octubre), siendo esta una de las causas en la disminución o aumento de la temperatura y humedad.



**Figura 3:** Registro de la temperatura media y humedad relativa media al interior de la cámara de sub-irrigación durante los 60 días de evaluación para el enraizamiento de estacas juveniles de caoba en sustrato cascarilla de arroz carbonizada (CAC).

Con respecto a la luminosidad (figura 4), se puede observar una variación muy discontinua, esto debido a las condiciones climáticas muy inciertas (vientos, lluvias, cielo con alta nubosidad, días templados, días de lluvias como también la presencia de días muy calurosos) que se presentaron durante todo el tiempo que duró el experimento, presentando una intensidad lumínica promedio de 2256 luxes y que esto de una u otra forma no afectó el proceso normal y continuo del enraizamiento de las estacas juveniles de caoba. Esto refleja que al tener una intensidad lumínica alta, la temperatura interna asciende, creándose un ambiente inapropiado para el buen manejo de las estacas propagadas, al mismo tiempo que al aumento de la intensidad de luz la humedad relativa decrece sustancialmente pudiendo fácilmente provocar estrés en las estacas sembradas, pero como a su vez la luz es de importancia primordial como fuente de energía para la fotosíntesis, ya que los productos de esta son importantes para la iniciación y crecimiento de las raíces. Los efectos de la luz pueden deberse a la intensidad (radiancia), al fotoperiodo (longitud del día), y a la cantidad de la luz (Hartmann y Kester, 1998), de ello radica el manejo adecuado del ambiente propagador y de las condiciones climáticas que influyen directamente en el éxito de la propagación vegetativa.



**Figura 4:** Registro de la intensidad de luz que ingresa a la cámara de sub-irrigación durante los 60 días de evaluación para el enraizamiento de estacas juveniles de caoba en sustrato de cascarilla de arroz carbonizada (CAC).

### 3.19. Procesamiento y análisis de datos.

#### 3.19.1. Procesamiento de datos.

Para el análisis del costo de la producción del CAC, se realizó considerando todos los gastos realizados desde el inicio hasta la obtención del producto final, las cuales fueron: gastos de materiales y mano de obra en la construcción de los tres quemadores, gastos para la obtención de la materia prima (principalmente el transporte de la cascarilla de arroz), materiales, insumo, herramientas, mano de obra en la elaboración del CAC, ellos en su conjunto influyeron de manera directa en la productividad de la producción del CAC en comparación con la elaboración obtenido por el método tradicional. Todos los materiales, equipos, herramientas, insumos entre otros fueron depreciados mediante la fórmula siguiente:

$$D = \frac{PC - VR}{Vu}$$

Donde:

D= Depreciación

PC= Precio de compra o costo de adquisición

VR= Valor residual o final

Vu= Vida útil

En el proceso de carbonización de cascarilla de arroz se registró la siguiente información: cantidad de materia prima, tipo de quemador a utilizar y el tiempo estimado utilizado en el proceso de carbonizado, con los cuales se cálculo las siguientes variables: productividad, el rendimiento, pH, contenido de humedad y densidad aparente, en formatos previamente elaborados. Con dicha información, se generó una base de datos en el software Microsoft Excel 2007, donde fueron procesados, para luego someterlos a un análisis estadístico.

En el ensayo de enraizamiento de Caoba se registró el N° de estaquillas enraizadas, N° de estacas con callos, N° de estacas con brotes y N° de estacas

vivas, con ello se determinó el porcentaje de cada una de estas variables, estas tienen una variación no continua, es decir solo existe la posibilidad de que enraícen y no enraícen, por lo tanto fueron transformadas en variables continuas utilizando el arco seno de la raíz cuadrada, la fórmula utilizada es: Arco seno ( $\sqrt{x}$ ), donde x = porcentaje de enraizamiento.

### **3.19.2. Análisis de datos.**

Se realizó el análisis de varianza de las siguientes variables: rendimiento, tiempo densidad aparente, pH, contenido de humedad, además el porcentaje de estacas enraizadas, callosidad, sobrevivencia y brotación, respectivamente. Posteriormente se realizó la prueba de comparación múltiples de media Tukey ( $p < 0.05$ ), con la finalidad de comprobar la existencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos y cuáles de estos fueron mejores frente al resto, respectivamente. Se elaboraron cuadros y gráficos relevantes a la mayoría de variables dependientes. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa INFOSTAT 2008, determinando de esta manera el efecto de los tratamientos sobre el proceso de carbonizados y para el enraizamiento de las estacas juveniles de Caoba (*Swietenia macrophylla* king).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Determinación de los costos de producción del sustrato CAC.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de los costos directos, indirectos y totales del proceso de producción del sustrato CAC, en el cual se utilizó el método tradicional y el uso de los quemadores cilindro medio, cónico y cilindro rotatorio. Cabe resaltar que el costeo se hizo en base a la producción de 100 kg de sustrato CAC.

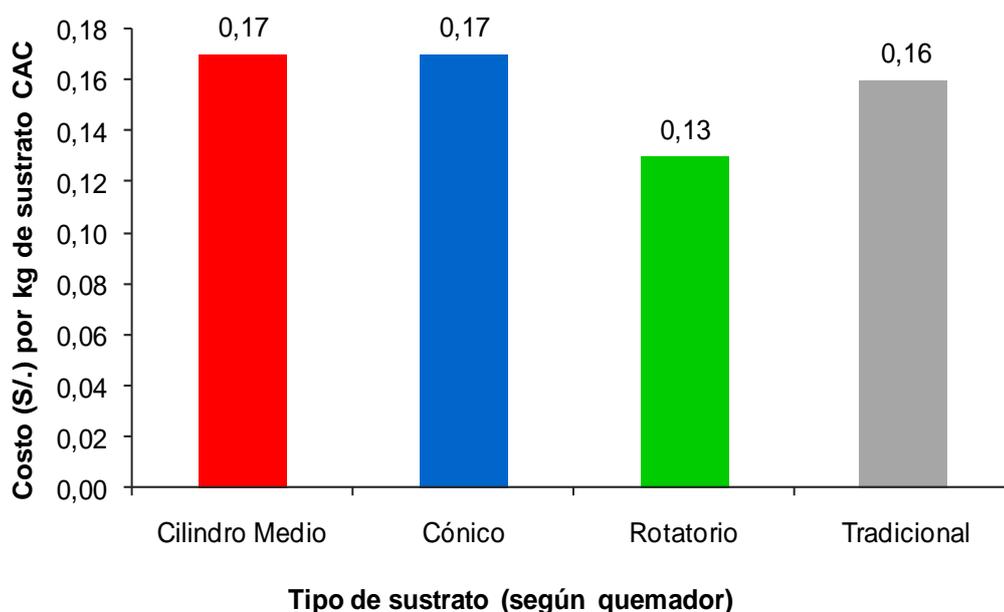
**Cuadro 8.** Costos de producción del sustrato por tipos de quemadores.

N°	DESCRIPCION	TIPOS DE QUEMADORES			
		TRADICIONAL	CILINDRO MEDIO	CÓNICO	CILINDRO ROTARIO
		Costo total (S/.)	Costo total (S/.)	Costo total (S/.)	Costo total (S/.)
<b>I</b>	<b>Costos Directos</b>	13.81	13.50	14.04	9.87
1.1	Estructuras metálicas	0,00	0.02	0.03	0.09
1.2	Insumos	7.47	9.07	9.60	5.33
1.3	Herramientas	0.84	0.84	0.84	0.84
	1.3.1 Producción del CAC	0.84	0.84	0.84	0.84
1.4	Equipos	0.62	0.62	0.62	0.62
	1.4.1 Produccion del CAC	0.62	0.62	0.62	0.62
1.5	Materiales de oficina	0.88	0.88	0.88	0.88
1.6	Mano de obra	4.00	2.07	2.07	2.10
	1.6.1 Construcción de quemadores	0.00	0.067	0.067	0.10
	1.6.2 Producción del sustrato CAC	4.00	2.00	2.00	2.00
<b>II</b>	<b>Costos Indirectos</b>	2.16	3.12	3.22	2.67
2.1	Gastos administrativos y servicio de diseño	2.16	3.12	3.22	2.67
<b>III</b>	<b>Costo Total</b>	15.97	16.62	17.26	12.54
	<b>Costo por Kilo de CAC (s/.)</b>	<b>0.16</b>	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>	<b>0.13</b>
	Utilidad por kilo de sustrato CAC (30 %)	0.05	0.05	0.05	0.04
	Precio de venta al público	0.21	0.22	0.22	0.16

Los costos de producción por kilo del sustrato de cascarilla de arroz carbonizado (CAC) es de S/ 0.160 obtenido a través del método tradicional, S/ 0,166 utilizando el quemador cilindro medio, S/ 0.173 usando el quemador cónico y S/ 0.125 a través de quemador cilindro rotatorio (figura 5). Estos costos por kilo son muy por debajo en comparación al sustrato de fibra de coco costeadado por Muñoz (2007) quien estimó a un precio de S/1.20 por kilo. Al mismo tiempo hay una marcada diferencia entre el costo del sustrato CAC en comparación con los sustratos

inorgánicos como la perlita (S/10.9 por kilo) y la vermiculita (S/10.73 por kilo) esto al precio de venta en el mercado (Muñoz 2007).

El sustrato CAC presenta características ideales para su uso como un buen sustrato, el precio por kilo es cómodo y su producción se puede intensificar principalmente porque su materia prima existe en abundancia y su obtención (cascarilla de arroz) no representa gasto alguno, el único costo que representa es el transporte. El sustrato CAC es una buena alternativa de uso como sustrato en los programas de reforestación masivos. El menor costo en el proceso utilizando se obtuvo a través del quemador cilindro rotatorio, se explica porque al estar la cascarilla de arroz en constante movimiento se airea con facilidad y en forma constante, esta acción hace que el proceso de carbonizado se acelere, además el diseño ergonómico que presenta hace que el operario maneje con facilidad el equipo y su trabajo, brindándole seguridad y libre del contacto directo del fuego constante, lo cual trae como consecuencia que se utilice menor tiempo para el proceso productivo, aumentando el rendimiento y por lo tanto el rubro de mano de obra tenga una influencia menor en los costos totales.



**Figura 5.** Costos de producción del sustrato CAC (kg), utilizando los tipos de quemadores.

En cuanto al costo de la estructura de los quemadores, la incidencia de los contruidos y utilizados es bastante bajo debido a su naturaleza artesanal que presentan entre sí. El quemador cilindro medio representó un costo de S/ 161.25, el quemador Cónico costó S/ 166.20 y el quemador Cilindro Rotatorio con S/ 286.49 (Anexo 2). Estas cifras representan el costo para la construcción y obtención de estos quemadores; todos los insumos, herramientas y equipos utilizados han sido depreciados con la finalidad de saber y obtener el cálculo verdadero del costo de producción del sustrato CAC en referencia a los 100 kg de producción.

#### 4.2. Variación de las variables en la fase del carbonizado.

##### 4.2.1. Tiempo utilizado.

En el cuadro 9, el análisis de varianza muestra que el tiempo utilizado en la producción de cascarilla de arroz carbonizado es influenciado de forma altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ), debido a los tratamientos (tipos de quemadores) empleados.

**Cuadro 9.** Análisis de varianza (ANVA) para el tiempo utilizado y el rendimiento en la producción del sustrato cascarilla de arroz carbonizada para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king).

F.V	GL	CUADRADO MEDIO	
		Tiempo de producción	Rendimiento de carbonilla
Tratamientos (tipos)	2	12.04 **	1001.90 *
error	2	0.36	66.08

Significativo (\*), altamente significativo (\*\*)

Al efectuar las comparaciones múltiples de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ) muestra, estas diferencias entre los tiempos alcanzados, observando que el menor tiempo de carbonizado fue en cilindro rotatorio, con un tiempo de 1 hora con 51 minutos, seguido del cilindro medio con 2 horas y 11 minutos, luego el cónico con 2 horas y

41 minutos, y por último el testigo (tradicional) que tomó el mayor tiempo de carbonizado de 5 horas y 40 minutos, (figura 6 y cuadro 10).

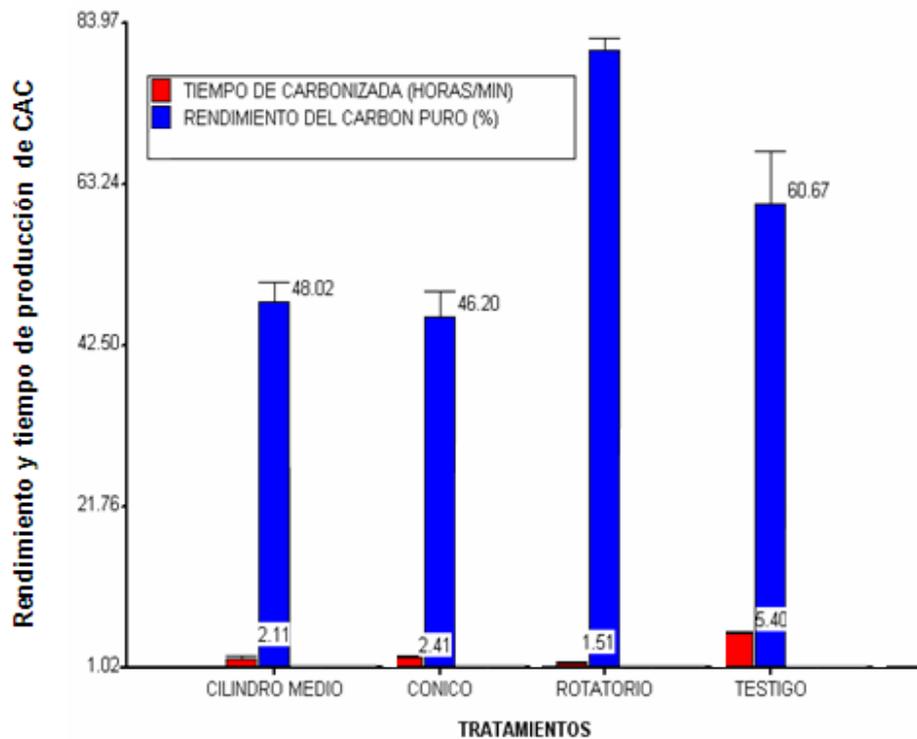
#### 4.2.2. Rendimiento del sustrato CAC.

En el cuadro 9, se muestra que el análisis de varianza (ANVA) realizado para la obtención del rendimiento del sustrato cascarilla de arroz carbonizada, se encontró diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ), debido a los tratamientos (tipo de quemadores) utilizados.

**Cuadro 10.** Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal del tiempo y el rendimiento en la producción del sustrato cascarilla de arroz carbonizada para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king).

PROMEDIO			
Tratamientos (Tipos)	Tiempo de producción (h)	Tratamientos (Tipos)	Rendimiento de CAC (%)
Rotatório	1.51 a	Rotatório	80.55 a
Cilindro medio	2.11 a	Tradicional	60.68 b
Cónico	2.41 a	Cilindro medio	48.03 c
Tradicional	5.40 b	Cónico	46.20 c

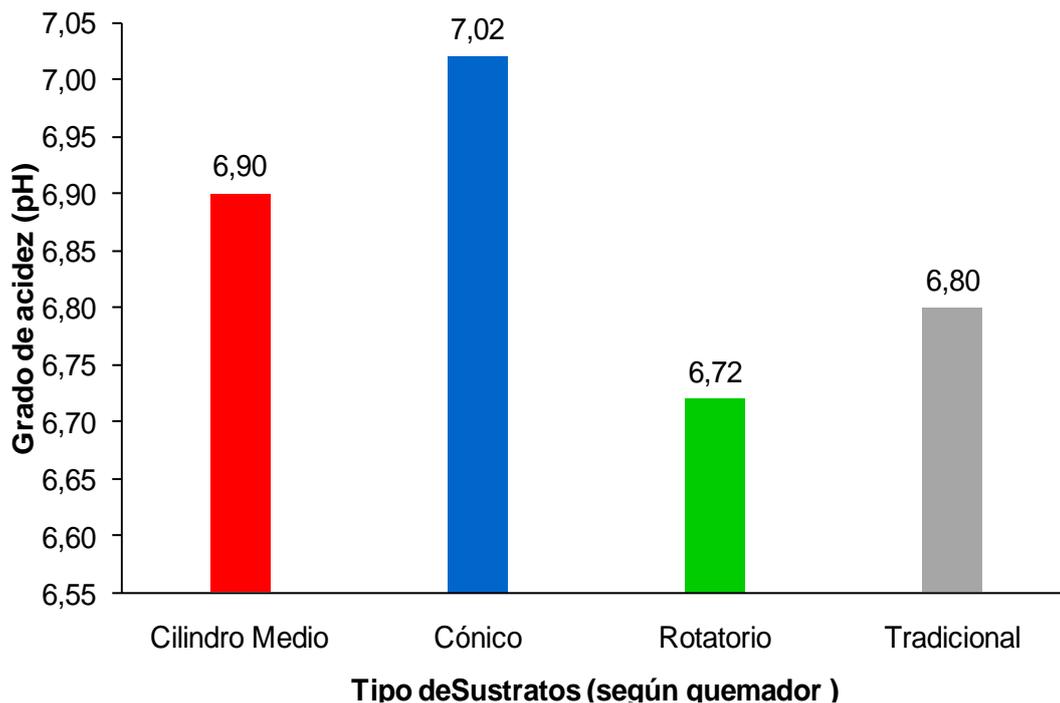
En la figura 6 y cuadro 10, se observa la variación en los valores alcanzados, encontrando que el tratamiento con el quemador rotatorio alcanzó el mayor promedio de rendimiento con 80.55 %, seguido del tradicional (testigo) con 60.68 %, luego el cilindro medio con 48.03 % y por último el quemador cónico con 46.20 %.



**Figura 6.** Tiempo de carbonización y rendimiento en la producción del sustrato de cascarilla de arroz carbonizada (CAC).

#### 4.2.3. Determinación del pH de los tipos de sustratos.

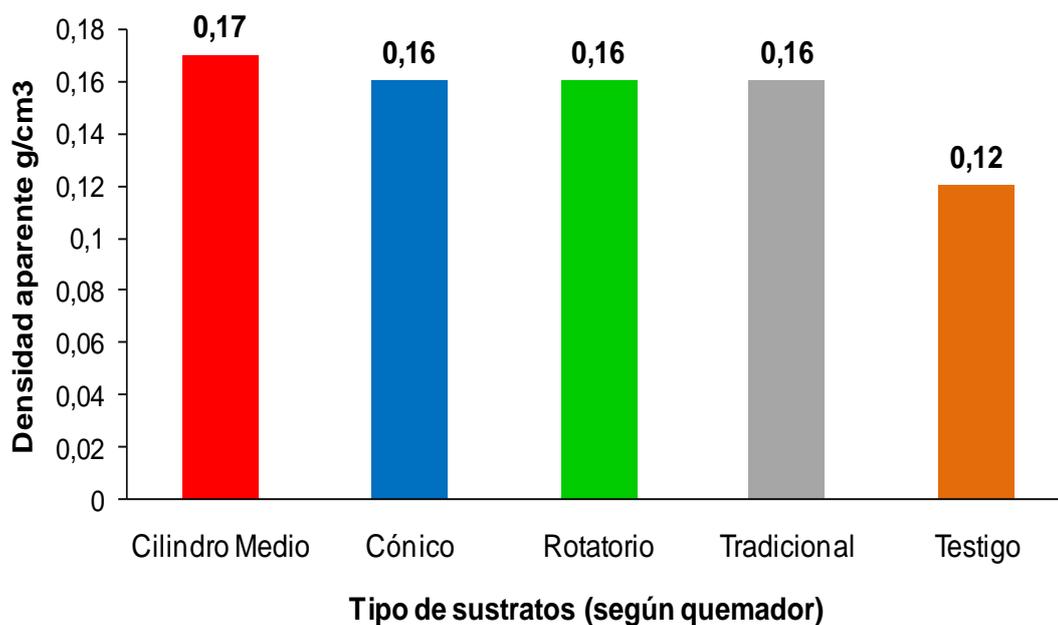
Realizado el trabajo en laboratorio, se midió el grado de acidez de los cuatro tipos de sustratos, encontrándose un promedio en pH de 6.9 (figura 7) de los cuales es ideal para ser un sustrato adecuado, esto lo confirma Pastor (2000) quien afirma que corresponde a la medida de concentración de la acidez en la solución del sustrato y tiene la capacidad de controlar la disponibilidad de todos los nutrientes. Además el tipo de sustrato depende de la especie que se esté cultivando, la mayoría de las especies crecen bien en pH ligeramente ácido entre 6,2 a 6,8. Con valores inferiores a 5 pueden aparecer deficiencias (Abad, 1993b).



**Figura 7.** pH de los sustratos de cascarilla de arroz carbonizada (según el tipo de quemador).

#### **4.2.4. Determinación de la densidad aparente de los tipos de sustratos.**

Se determinó la densidad aparente de los cuatro tipos de sustrato de cascarilla de arroz carbonizada (CAC), en el cual se presenta una densidad aparente promedio de  $0.16 \text{ g/cm}^3$ ; también de la cascarilla de arroz cruda ( $0.12 \text{ g/cm}^3$ ) (figura 8). La densidad que presenta el sustrato CAC es óptimo para el desarrollo propicio del sistema radicular también el tamaño de los gránulos o fibras condiciona el comportamiento del sustrato, debido a que la densidad aparente varía el comportamiento hídrico.



**Figura 8.** Densidad de los sustratos de cascarilla de arroz carbonizada (según el tipo de quemador).

#### **Influencia del sustrato CAC y dosis de AIB en la Propagación vegetativa.**

Con los datos obtenidos al finalizar el experimento, se conoció la influencia del factor tipo de sustrato y dosis hormonal, para lo cual se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ), obteniendo los siguientes resultados.

#### **4.3. Efecto del sustrato CAC en el enraizamiento de Caoba.**

##### **4.3.1. Porcentaje de enraizamiento (%).**

En el cuadro 11, se observa el análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de enraizamiento, el mismo que presentó diferencias estadísticas significativa ( $p < 0.05$ ) respecto al tipo de sustrato y dosis de AIB, pero a su vez, muestra influencia significativa en la interacción doble tipo de sustrato y dosis. En la figura 9, se observa los promedios alcanzados debido al efecto de la interacción tipo de sustrato y dosis de AIB, con respecto al porcentaje de enraizamiento, muestra que con dosis de 8000 y con los tipos de sustratos de los quemadores rotatorio y

tradicional, se obtuvieron los mayores promedios de enraizamiento (95.83 % y 87.50 % respectivamente).

**Cuadro 11.** Análisis de varianza (ANVA) para el porcentaje de enraizamiento, porcentaje de brote, número de raíces, longitud de raíces, número de brotes y longitud de brote en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), evaluadas a los 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

CUADRADO MEDIO							
F.V	GL	Enraizamiento	Brote	Número raíces	Longitud raíces	Número brotes	Longitud brote
Bloque	2	0.03	0.07	0.02	21.51	0.03	5.11
Sustratos	4	0.46	0.49 **	1.04	241.81 *	0.43 **	37.98 **
Bloque*sustratos	8	0.02	0.03	0.21	89.46	0.03	4.34
Dosis	2	0.46	0.14 *	1.55	319.41*	0.13 *	13.19 *
Sustrato*Dosis	8	0.11 *	0.01	0.50 *	127.87	0.02	2.12

Significativo (\*), altamente significativo (\*\*)

Aunque la influencia es compartida de ambos factores y para obtener un alto porcentaje de enraizamiento, es necesario un sustrato con buena aireación, un buen drenaje y condiciones que serian favorable para la formación de raíces, todo indica que los sustratos de los quemadores tradicional y rotatorio cumplieron con estas condiciones por los altos promedios alcanzados en el porcentaje de enraizamiento. Andriolo (1997), menciona que para el enraizamiento de las estaquillas de caoba se requiere de un sustrato que reúna características básicas, como ser suficientemente fuerte y densa para fijar a las estacas, ligero y poroso para una buena aireación y drenaje, sin plagas; no necesita de tratamientos para la esterilización. Además el sustrato es el soporte donde se desarrollan las raíces de las plantas, en ello debe encontrar agua y demás nutrientes para su desarrollo (Jiménez y Caballero, 1990).

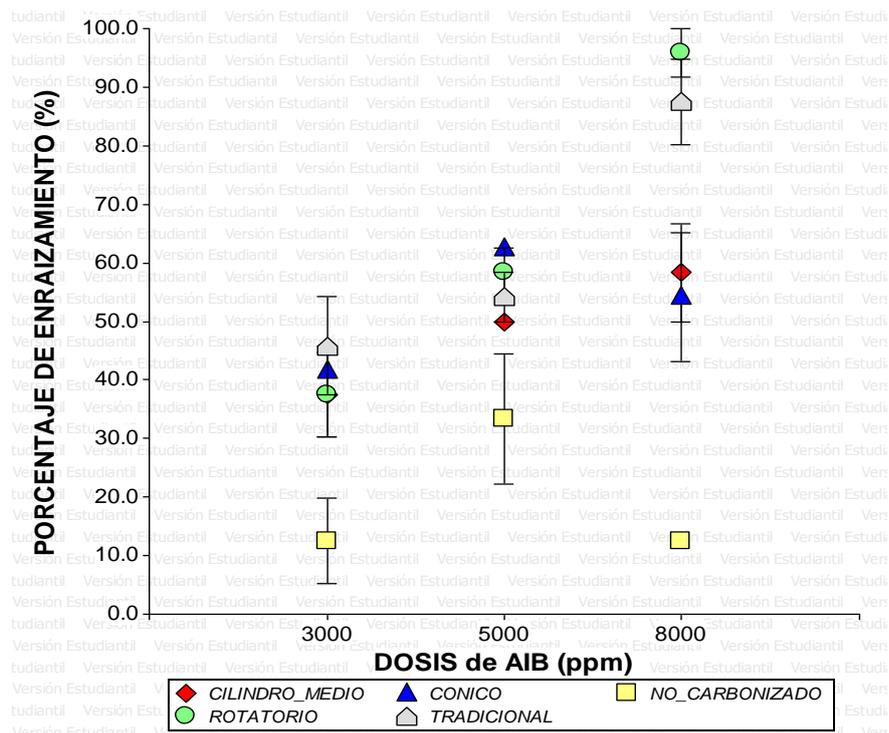
El sustrato de propagación debe cumplir tres funciones importante para el éxito del proceso: sujetar las estacas, mantener la humedad y permitir el

intercambio de gases (Hartmann y Kester, 1996; Botti, 1999). Por lo tanto, cualquier material o mezcla de materiales que se utilice debe permitir una buena retención de agua (sin acumularla excesivamente) y una aireación que permita un contenido de oxígeno adecuado para la respiración de los tejidos sometidos a la producción de nuevas raíces (Botti, 1999). También debe poseer un buen drenaje y estar libre de microorganismos (Peate, 1989). con una densidad aparente baja, para facilitar su mezcla, manipulación, traslado y trasplante (James,1986).

Cabe mencionar que los sustratos utilizados (CAC) en el presente experimento no son muy costos y son muy fáciles de conseguir, al respecto Mesen (1998), menciona que en estudios realizados en el CATIE, han empleado sustratos fáciles de conseguir, generalmente grava fina, arena, aserrín descompuesto y mezclas de estos materiales.

En estudio similar con la especie *Swietenia macrophylla king*, se encontró que existe diferencia al utilizar como sustrato arena y cascarilla de arroz llegando a obtener 85 % y 83 % de enraizamiento (Yepes et al 2009). Asimismo Vázquez (2009) encontró con la misma especie, en el sustrato arena media, el mayor porcentaje de enraizamiento (33%) siendo inferior a los alcanzados en el presente logrando un 95.83%.

Richey (1985) sustenta que un medio de enraizamiento debe satisfacer por una parte ciertos criterios físicos, químicos y biológicos; y por otra parte, aspectos de costos y manipulación. Vargas (2000), ratifica que el carbón de cascarilla de arroz otorga excelentes beneficios como material libre de bacterias y hongos, tiene buena capacidad de retención de agua, mantiene su forma por mucho tiempo, y puede suministrar nutrientes a la planta, lo cual lo hace un sustrato apto para su utilización.



**Figura 9.** Porcentaje de enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), en relación a la interacción entre las dosis de AIB y los tipos de sustrato, después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

En la figura 9, también se muestra que con dosis altas (8000ppm) se obtuvieron los mejores resultados demostrando el efecto positivo en la formación de raíces. Un efecto directo de las auxinas se produce en la división celular aumentando la tasa de transportes de carbohidratos y cofactores foliares a la base de las estacas promoviendo la iniciación y desarrollo de las raíces, en la actualidad está establecido que los metabolitos y otros cofactores de crecimiento se trasladan hacia las regiones tratadas con auxinas (Leakey 1982 *et al*, citado por Núñez 1997).

Hernández y Leal (1997) afirman que las auxinas son esenciales para la formación de raíces adventicias aún en especies fáciles de enraizar sobre todo en la fase juvenil. Esto se demuestra en estudio realizado, utilizando estacas de *S. macrophylla*, sin tratamiento alguno donde se obtuvo un bajo promedio de enraizamiento, sin embargo en los tratamientos en las que se utilizó AIB se obtuvo un 70%. (Bocker 1987).

Yépez et al (2009), encontró resultados similares en *S. macrophylla* con dosis altas (7000ppm) donde el mayor porcentaje de enraizamiento fue de 93%. Santelices (1998), encontró que en la época de verano y a los 65 días de evaluación con la mayor dosis utilizada (2000 y 4000 ppm de AIB) obtuvo enraizamientos de 53.3 % y 47 % con la especie de *Amomyrtus luma* (luma), confirmando que a mayor dosis de AIB se puede lograr obtener mayor porcentaje de enraizamiento.

Por lo tanto, en el caso de caoba, el tipo de sustrato obtenido a través del cilindro rotatorio y tradicional con dosis altas (8000 ppm), generaron condiciones adecuadas para el enraizamiento y características favorables para la formación de raíces como: esterilidad, retención de agua, buena aireación, drenaje, Ph ligeramente alcalino (6.9), pudiendo alcanzar más del 95% de enraizamiento.

#### **4.3.2. Porcentaje de brotes (%).**

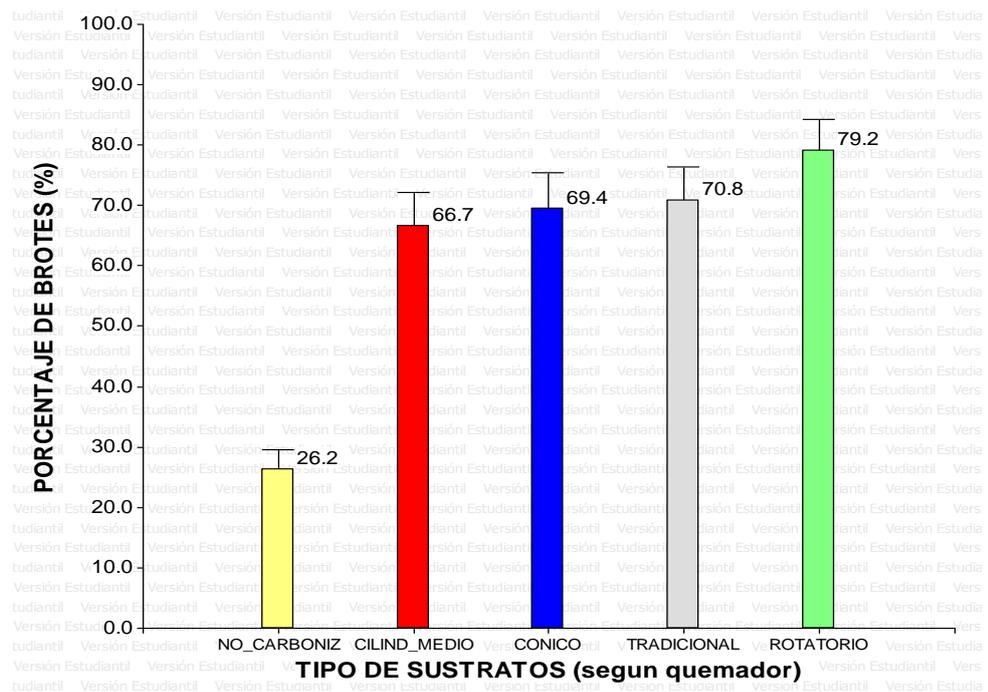
En el cuadro 11, se observa el análisis de varianza realizado para el variable porcentaje de brotes, presentando diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) debido al factor principal tipo de sustrato. En la figura 10 y cuadro 12, se observa las diferencias significativas en los promedios alcanzados debido a la influencia de los cinco tipos de sustratos, donde el sustrato del quemador rotatorio alcanzó el mayor porcentaje de brotes (79.2%), en comparación con los demás sustratos, superando incluso en 53% al sustrato no carbonizado.

**Cuadro 12.** Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal del tipo de sustratos con respecto al porcentaje de brotes en estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), evaluados a los 60 días de instalación en cámara de sub- irrigación.

<b>PROMEDIO</b>	
Sustrato según quemador (Tipo)	<b>Brotes (%)</b>
Rotatório	79.2 a
Tradicional	70.8 a
Cónico	69.4 a
Cilindro medio	66.7 a
No carbonizado	26.2 b

Cabe mencionar que el sustrato donde se obtuvo el mayor porcentaje de brotes, también se obtuvo el mayor porcentaje de raíces aunque (Hartamn y Kester, 1977), mencionan que la aparición y crecimiento de brotes nuevos es una característica no deseable durante el proceso de enraizamiento pues puede inhibir o deteriorar el desarrollo radical.

Otro factor a considerar en la formación de brotes es la temperatura, tanto para las condiciones ambientales como para el sustrato, Las temperaturas excesivas del aire tienden a estimular el desarrollo de las yemas con anticipación al desarrollo de las raíces y a aumentar la pérdida de agua por las hojas (Hartmann y Kester, 1996), en el presente experimento la temperatura del sustrato se mantuvo en promedio de 28 °C, estos se regularon a condiciones apropiadas para el desarrollo de las estacas, pero también se sabe que las temperaturas inferiores a 20 °C retrasan la brotación (Caballero y del Rio, 1999). Debido a que las temperaturas dependen del nivel de irradiación, el uso de sombra es una medida efectiva para prevenir un aumento en la temperatura del sustrato de enraizamiento y del aire que rodea las estacas (Leakey y Mesén, 1991 citado por Nuñez, 1997).



**Figura 10.** Porcentaje de brotes de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), por efecto del tipo de sustrato, después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

(Ruiz, *et.al.*, 2005) obtuvo 50% de brotes en estacas de *Gmelina arborea* emitieron con una temperatura de 26 °C en el sustrato. De igual manera Gerding et al., (1996) al usar sustrato de corteza compostada logró en promedio como máximo de dos brotes por estaca. Para que la brotación tenga lugar es necesario que las condiciones nutricionales, hídricas y ambientales a las que esté sometida la planta, sea favorables (Van Der Berg, 1987). Por tal razón en el presente estudio se evito la irradiación directa de los rayos solares mediante el uso de mallas obteniendo hasta un 60% de sombra, asimismo se procedió a el interior de la cámara en periodos de alta temperatura para mantener la alta humedad interna.

Por lo tanto, en el caso de caoba, para obtener el mayor porcentaje de brotes es necesario utilizar el sustrato del quemador rotatorio, generando condiciones y características adecuadas en la formación de brotes. Sin embargo posiblemente el adecuado manejo climático dentro de la cámara de sub-irrigación, manteniendo

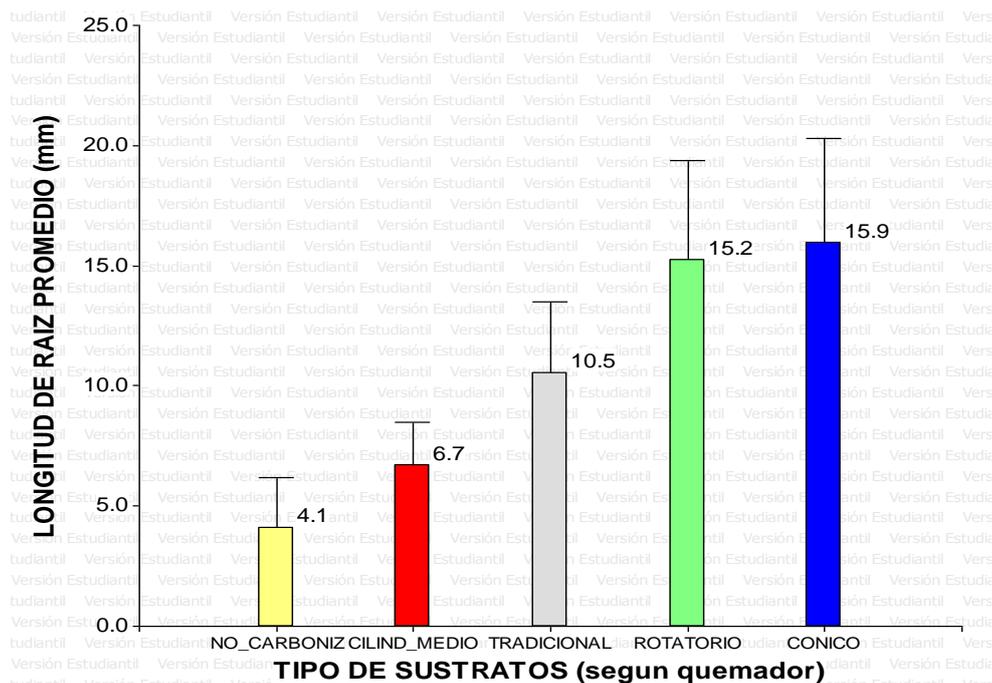
una alta humedad interna en el interior de la cámara haya contribuido a la formación de brotes.

#### **4.3.3. Longitud de raíces promedio (mm).**

El análisis de varianza para la variable longitud de raíces promedio (cuadro 11), muestra diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al factor principal tipo de sustrato. En la figura 11 y cuadro 13, se observa la variación significativa en los promedios alcanzados, siendo los sustratos obtenidos del quemador cónico, junto con el cilindro rotatorio los mayores promedios alcanzados (15.9 y 15.2 mm, respectivamente), superando a los demás sustratos.

Es posible que los sustratos con características menores en densidad generen más espacios libres permitiendo que las raíces de las estacas de Caoba desarrollen ampliamente en longitud. Leakey y Mesen, (1991) mencionan al respecto que las partículas que componen el sustrato no debe presentar obstáculos para el crecimiento de las raíces y debe tener la consistencia suficiente para mantener las estacas en su posición. La mayor longitud radical estaría condicionada proporcionalmente a la facilidad de porosidad y aireación que el sustrato brinde a la estaca (Botti, 1999).

Según las observaciones realizadas a las raíces de estacas de caoba permitieron comprender que en los sustratos menos densos, las raíces tendrán mayor longitud, debido posiblemente a la menor resistencia que ofrece el crecimiento radical. Además es bueno tener en cuenta la aireación que proporciona un sustrato a través de los poros ya que esto es fundamental para el adecuado desarrollo de la raíces, para tener una porosidad optima se puede mezclar en forma apropiada, materiales orgánicos como la cascarilla de arroz el cual posee una estructura esponjosa y mejoran por tanto la porosidad del aire y agua (Calderón y Cevallos, 2003).

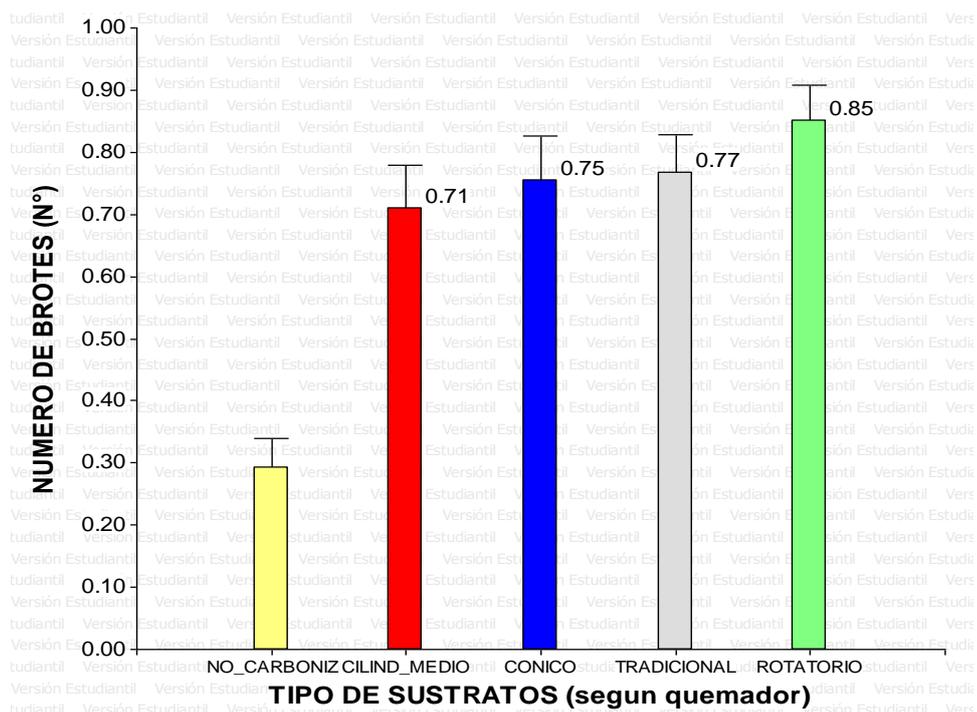


**Figura 11.** Longitud de raíces promedio por efecto del tipo de sustrato, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

Asimismo, Flores (2010) encontró resultados similares en sustrato arena gruesa obteniendo el mayor promedio en longitud de raíces en la especie *Amburana cearensis* (37.6). Demostrando la efectividad de aquellos sustratos con menor densidad. Por lo tanto las características de un adecuado sustrato como el equilibrio entre Agua y aire favorecen el la formación crecimiento de raíces, posiblemente el sustrato del quemador cónico presento estas características favoreciendo el enraizamiento en la especie caoba.

#### 4.3.4. Número de brotes (N°).

El análisis de varianza para el variable número de brotes (cuadro 11) muestra diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ), con respecto al factor principal tipo de sustrato. En la figura 12 y cuadro 13, se observa la variación altamente significativa en los promedios alcanzados, siendo el sustrato del quemador rotatorio el mayor número de brotes alcanzado (0.85), superando a los demás sustratos.

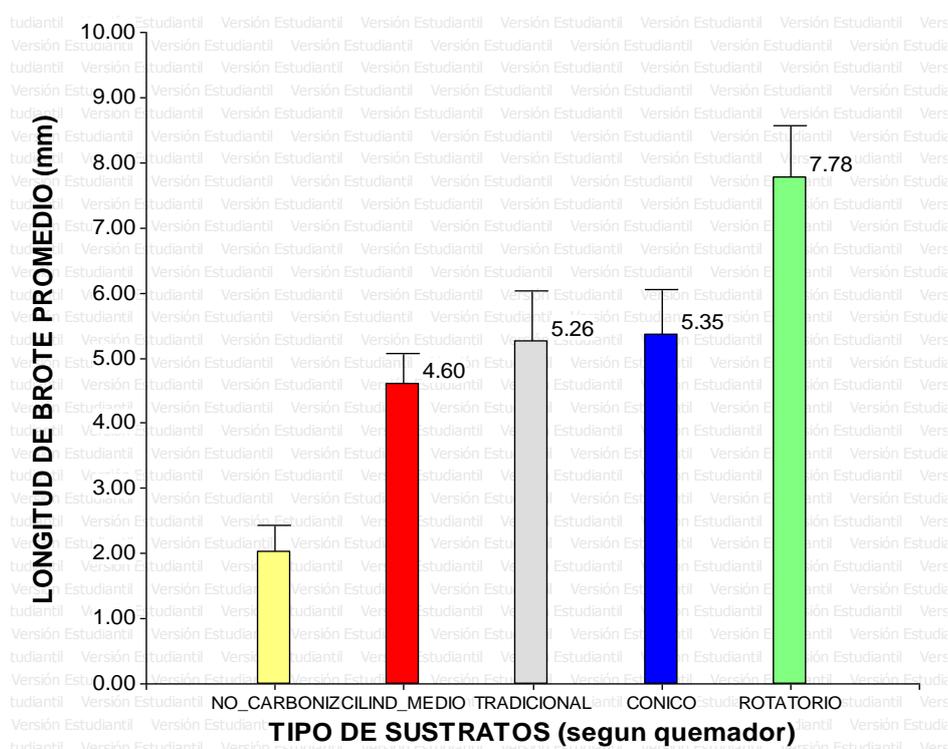


**Figura 12.** Número de brotes por efecto del tipo de sustrato en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

Una de las características observadas en la especie caoba es que no generan abundantes brotes, por que posiblemente las estacas utilizaron sus sustancias de carbohidratos y nutrientes en la formación de raíces más no en la producción de brotes. Ruiz (2009), menciona al respecto que algunas especies utilizan sus sustancias nutricionales en la formación de brotes y no de raíces, provocando de esta forma la muerte de la estaquilla. El carbonizado homogéneo del sustrato del quemador rotatorio contribuyó de manera eficiente en la formación de raíces y poca formación de brotes. Por lo tanto en el caso de caoba, el utilizar como sustratos del quemador rotatorio permitirá la posibilidad de obtener mayor número de brotes por estaquilla de caoba.

#### 4.3.5. Longitud de brote promedio (mm).

El análisis de varianza para la variable longitud de brote promedio (cuadro 11), muestra diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ), con respecto al factor principal tipo de sustrato. En la figura 13 y cuadro 13, se observa la variación altamente significativa en los promedios alcanzados, el sustrato del quemador rotatorio obtuvo la mayor longitud de brote promedio alcanzado (7.78 mm), superando a los demás sustratos. Estos resultados alcanzados, indicó que el sustrato del quemador rotatorio influyó en la formación de raíces más no en el número y crecimiento de brotes.



**Figura 13.** Longitud de brote promedio, por efecto del sustrato, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

Los aportes nutricionales para el sustrato del quemador rotatorio favorecieron en la asimilación de nutrientes necesarios para que la estaca juvenil de caoba desarrolle la formación de raíces. Baggio (1982), hace referencia que una mayor

comulación de nutrientes y carbohidratos disponibles responden positivamente no solo en la máxima longitud del brote, sino también del mayor número de estaquillas con brotes y mayor longitud de raíz.

Por lo tanto es posible que hay una relación proporcional entre el número de brotes y su longitud promedio, influenciadas estas variables por el sustrato del quemador rotatorio utilizado, pudiendo también influenciar el tamaño de las estacas por su acumulación de nutrientes y carbohidratos presentes en ella.

**Cuadro 13.** Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal del tipo de sustratos con respecto al número de raíces, longitud de raíz, número de brotes y longitud de brote en estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), evaluados a los 60 días de instalación en cámara de sub- irrigación.

PROMEDIO							
Sustrato según quemador (Tipo)	Número raíces (N°)	Sustrato según quemador (Tipo)	Longitud raíz (mm)	Sustrato según quemador (Tipo)	Número brotes (N°)	Sustrato según quemador (Tipo)	Longitud brotes (mm)
Rotatorio	1.25 a	Cónico	15.93 a	Rotatorio	0.85 a	Rotatorio	7.78 a
Tradicional	1.11 a	Rotatorio	15.23 ab	Tradicional	0.77 a	Cónico	5.35 ab
Cónico	0.96 a	Tradicional	10.52 ab	Cónico	0.75 a	Tradicional	5.26 ab
Cilindro medio	0.78 ab	Cilindro medio	6.69 ab	Cilindro medio	0.71 a	Cilindro medio	4.60 b
No carbonizado	0.38 b	No carbonizado	4.09 b	No carbonizado	0.29 b	No carbonizado	2.03 c

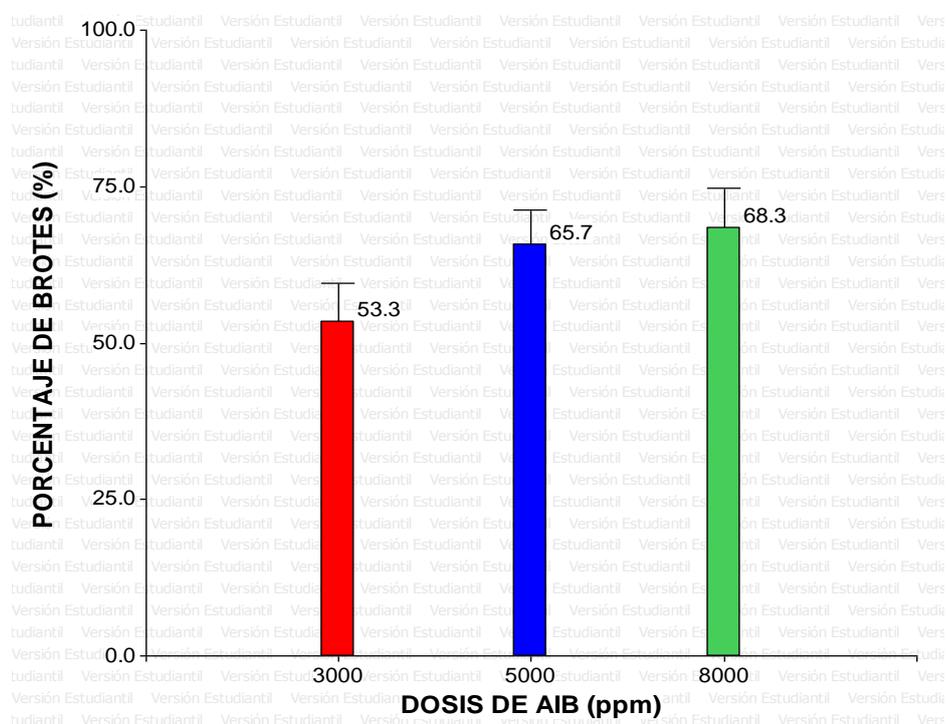
\* Los tratamientos seguidos por las letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

#### 4.4. Efecto de la dosis de AIB en el porcentaje de enraizamiento.

##### 4.4.1 Porcentaje de brotes (%).

El análisis de varianza para el porcentaje de brotes (cuadro 11) muestra diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ), debido al factor de dosis de AIB. El cuadro 14 y la figura 14, muestran esta variación, donde los mayores promedios en brotes lo obtuvieron las dosis de 8000 ppm (68.3%), y la de 5000 ppm (65.7%), ambos

siendo diferentes estadísticamente ( $p \leq 0.05$ ), a la dosis de 3000 ppm que alcanzó 53.3%.



**Figura 14.** Porcentaje de brotes por efecto de la dosis AIB, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

Los resultados anteriores demuestran, que al aumentar la concentración de AIB, también aumenta, la formación de brotes. Similar resultado se encontraron en estudios realizados por Ruiz *et al* (2005) en *Gmelina arborea* donde alcanzaron un 58.3% de brotación con dosis de 2.00% de AIB y 41.8% con dosis de 0.00% de AIB a los 30 días de iniciado el ensayo. Aunque distinto efecto se encontraron en *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi), donde las estacas sin la aplicación de AIB, presentaron el mayor porcentaje de enraizamiento (39.51%), debiéndose posiblemente porque al formarse los brotes antes de la formación de raíces, esto crea un punto de atracción de asimilados hacia los brotes, en competencia con la base de la estaca, lo cual reduce el enraizamiento (Ruiz, 2009).

Aunque cabe mencionar que en estudios realizados con la misma especie, utilizando como sustrato arena, se encontraron que el mayor porcentaje de brotes se obtuvo con la dosis de 1000 ppm llegando a un 48 %, y con dosis mayores bajó el promedio, pudiéndose ser una de las razones a la reacción de la hormona con el medio enraizador. Esto se confirma al observar que en otros trabajos la dosis hormonal óptima encontrada fue 0.2% de AIB, para las especies de la familia Meliácea ya que respondieron mejor frente a otras concentraciones (Díaz *et al.* 1991, Mesén *et al.* 1996). Por lo tanto según resultados obtenidos, el aumento en la formación de brotes, está influenciado por el incremento en la aplicación de AIB.

#### **4.4.2. Número de raíces (%).**

El análisis de varianza (cuadro 11), muestra que el número de raíces promedio por estacilla está influenciado significativamente ( $p \leq 0.05$ ), debido a la interacción tipo de sustrato y dosis de AIB, demostrando que la combinación de ambos factores influyeron positivamente en la formación del número de raíces en las estacas juveniles de caoba.

En la figura 15, se muestra que el mayor número en promedio de raíces por estaca juvenil fue 1.9 en sustrato obtenido del quemador rotatorio y tradicional, utilizando 8000 ppm de AIB. Sin embargo aunque la influencia fue compartida se observa que existe una relación positiva entre el número de raíces por estaquillas de caoba y las dosis de AIB, es decir, a medida que aumenta la concentración de AIB existe un aumento significativo en la formación del número de raíces y en la mayoría de los sustratos utilizados a excepción del no carbonizado.

Este resultado es atribuido a que la aplicación de dosis altas de AIB, acelera la formación y el crecimiento inicial de las raíces en las estacas juveniles de caoba, posiblemente debido a que una de las funciones de la hormona AIB es de promover la movilización de carbohidratos de las hojas y tallos a la base de las estacas, pues una de las funciones de los carbohidratos en algunas especies es la de producir aumento en el número de raíces (Haisig, 1986). Similar tendencia

ha ocurrido en otras especies tropicales, tales como *Vochisia guatemalensis* (Mesen, 1996); y *Khaya ivorensis*, (Leakey, 1990). Los beneficios del uso de AIB son conocidos, no solo por ayudar a mejorar la calidad del sistema radical si no que acelera la formación de raíces (Hartman y Kester, 1972). Generalmente, se acepta que los procesos de iniciación y desarrollo de raíces son afectadas por un juego diferente de condiciones (Lovell y White 1986). Por su parte, el número de raíces producido por las estacas es altamente influenciado por la habilidad de la estaca a suplir carbohidratos, ya sea de reserva o producido mediante fotosíntesis, al área donde surgen las raíces (Moe y Andersen 1988, Veierskov y Andersen 1982).

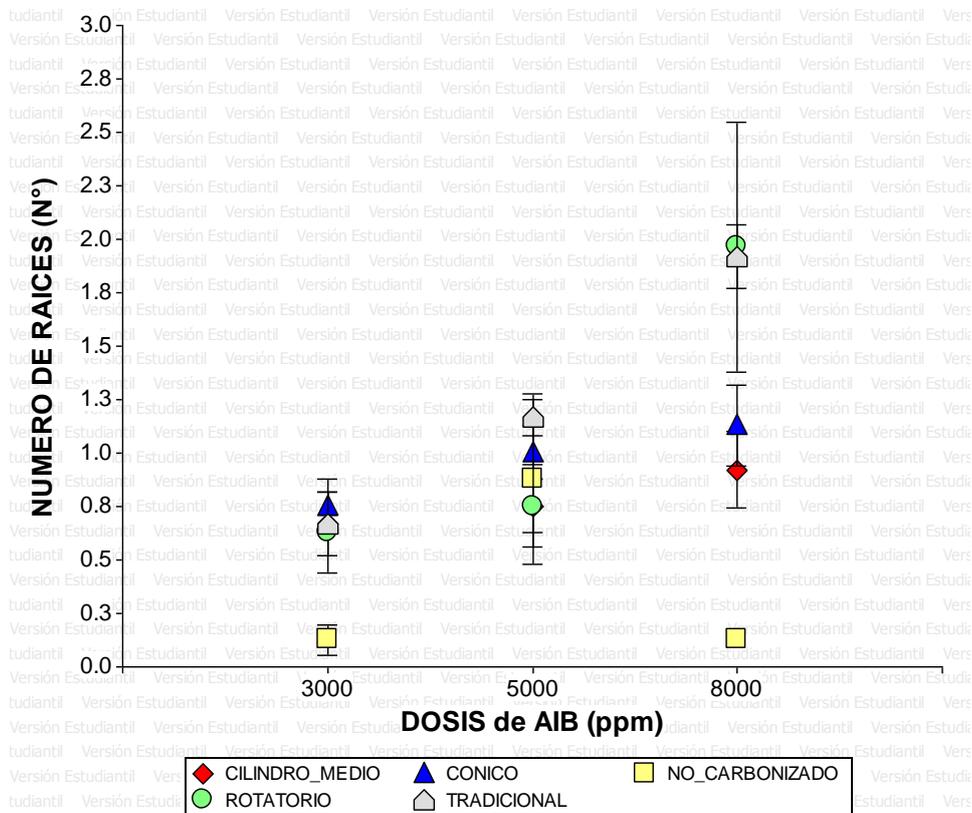
**Cuadro 14.** Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para el efecto principal de dosis de AIB con respecto al porcentaje de brotes, longitud de raíz, número de brote y longitud de brotes en estacas de caoba (*S. macrophylla* king), evaluados a los 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

PROMEDIOS							
DOSIS (ppm)	BROTOS (%)	DOSIS (ppm)	LONG. RAIZ (mm)	DOSIS (ppm)	NÚMERO BROTE (N°)	DOSIS (ppm)	LONG. BROTES (mm)
8000	68.3 a	8000	14.5 a	8000	0.7 a	5000	5.8 a
5000	65.7 ab	5000	11.4 ab	5000	0.7 ab	8000	5.2 ab
3000	53.3 b	3000	5.4 b	3000	0.5 b	3000	3.9 b

\* Los tratamientos seguidos por las letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

El incremento que presenta la caoba con altas dosis de AIB, se podría considerar a la condición fisiológica de la planta donante. Veierskov, (1988) señala que una reducción en las concentraciones de carbohidratos de las estacas así como de nitrógeno en las plantas donantes por variaciones ambientales, reduce el desarrollo y número de raíces producidas por las estacas. Sin embargo, aunque es deseable que las estacas juveniles de caoba tengan muchas raíces, basta con tres que sean bien ramificadas y estén bien distribuidas en las estacas (Leakey, 1985). Por lo tanto, en el caso de caoba, utilizar sustrato del quemador rotatorio ó

tradicional con dosis de 8000 ppm, será suficiente para obtener la mayor formación del número de raíces en promedio por estaca juvenil (1.9).

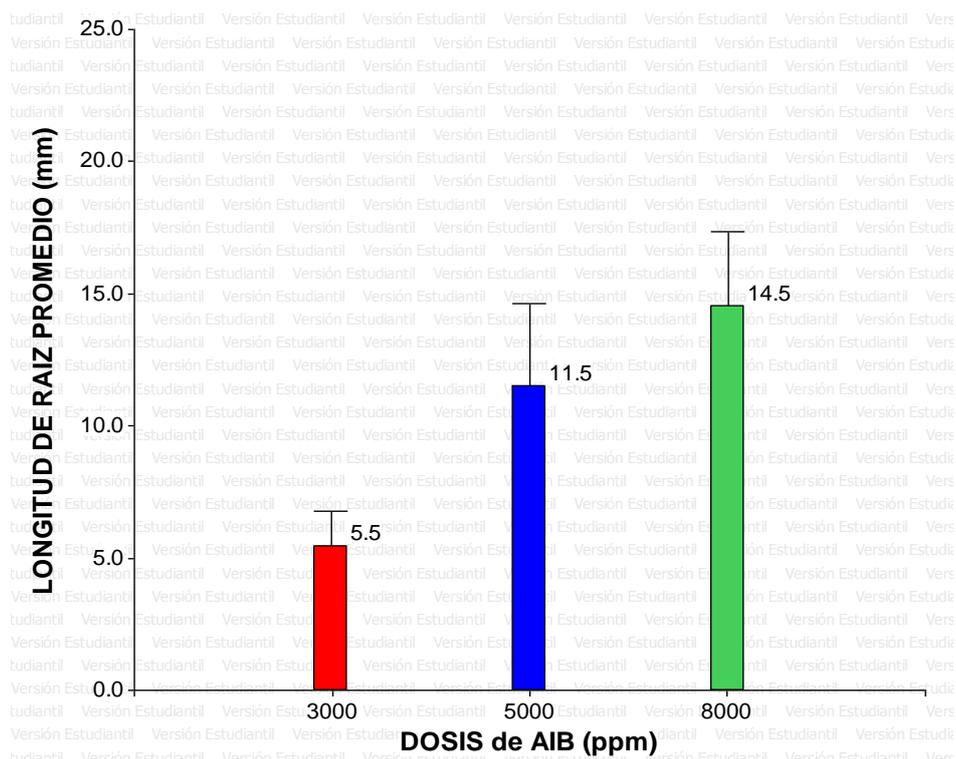


**Figura 15.** Número promedio de raíces por efecto de la interacción entre el tipo de sustrato y dosis AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

#### 4.4.3. Longitud de raíz promedio (mm).

El análisis de varianza para la longitud de estaquilla de caoba (cuadro 11) muestra que existen diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), debido al factor principal dosis de AIB. En la figura 16 y cuadro 14, se observa que existe una relación positiva entre el número de raíces por estaquillas de caoba y las dosis de AIB, es decir, que a medida que aumenta la concentración de AIB existe un aumento significativo en la longitud de raíces promedio en estacas juveniles de caoba, desde 5.4 mm en dosis de 3000 ppm hasta 14.5 mm en 8000 ppm.

Cameron (1968) citado por Henríquez (2004), afirma que la iniciación de raíces y el crecimiento radicular son procesos morfogenéticos separados y posiblemente cada uno requiere diferentes condiciones. Los resultados obtenidos son comparables con los descritos por García *et al.* (2001) en la solanácea *Physalis ixocarpa* Brot., en que tratamientos con concentración de 0.10 % y 0.15 % de AIB incrementan la longitud de las raíces.



**Figura 16.** Longitud de raíz promedio por efecto de la dosis de AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

Para el crecimiento de raíces, en general se requieren bajas concentraciones auxínicas (dependiendo de la especie y la edad de la planta), debido a que las células de los meristemos radicales contienen un nivel de auxinas, provenientes de la parte aérea, suficientes para una elongación normal; no así para la formación de raíces adventicias, en donde se requieren mayores concentraciones (Salisbury y Ross, 2000).

Dentro del rango normal de concentración de AIB utilizadas para la mayoría de las especies (0.1 - 0.2 %), las concentraciones mayores también tienen un efecto positivo al inhibir el crecimiento de las yemas en las estacas durante las primeras semanas en el propagador, al inducir el transporte de asimilados hacia la base de la estaca y permitir el desarrollo de raíces sin competencia con un brote en crecimiento. Una vez que se forman las raíces, la recuperación del balance hídrico y las reacciones fotosintéticas en la planta restauran el balance de crecimiento entre el brote y las raíces. Si no se aplican auxinas, el brote podría empezar a desarrollarse en la estaca antes de la formación de las raíces. Esto crea un punto de atracción de asimilados hacia los brotes, en competencia con la base de la estaca, lo cual reduce el enraizamiento (Mesen, 1993).

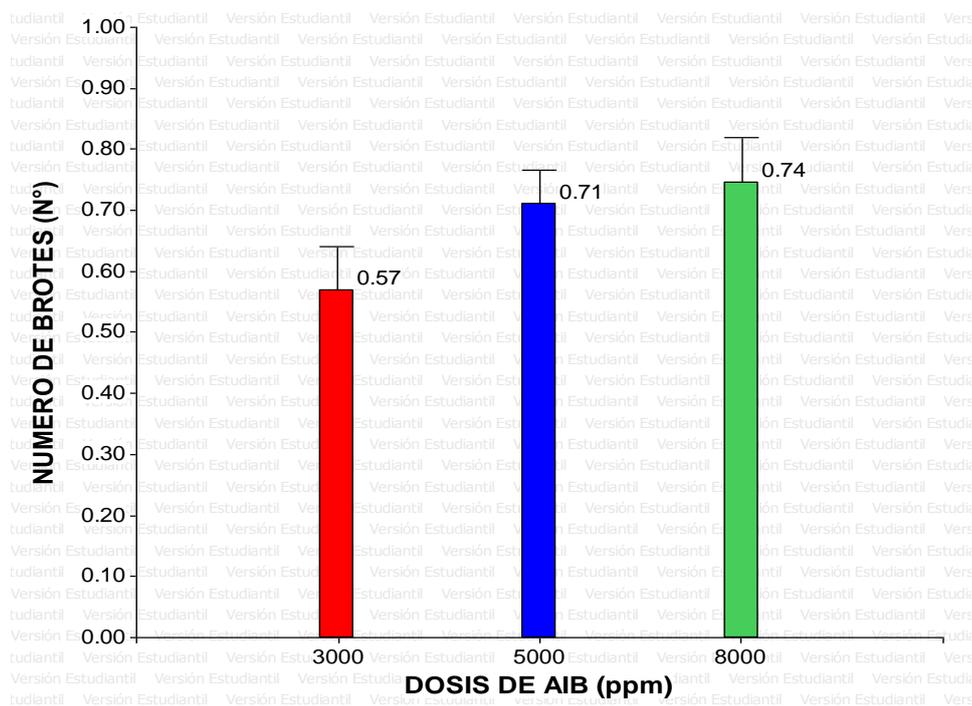
Por lo tanto en el caso de caoba, el mayor número de raíces se relaciona directamente con las altas concentraciones de AIB (8000 ppm), siendo necesario para obtener el mayor número de raíces por estaca juvenil.

#### **4.4.4. Número de brotes (%).**

El análisis de varianza para el número de brotes por estacilla de caoba (cuadro 11), también muestra, que existen diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), debido al factor principal dosis de AIB. En la figura 17 y cuadro 14, muestran que la dosis de 5000 y 8000 ppm, alcanzaron el mayor número de brotes (0.7 ambos respectivamente), superando a la dosis de 3000 que alcanzó un promedio de 0.5 brotes/estacilla.

Estos resultados confirman lo observado de que la especie caoba se caracteriza por no generar abundantes brotes, esto porque las estacas juveniles utilizaron la mayor parte de sus energías para formar raíces. Ruiz (2009), sustenta que en algunas especies el sistema radicular no es abundante para suministrar las necesidades de sustancias nutricionales, como efectuar los procesos fisiológicos de la fotosíntesis y respiración, pues esto podría provocar que las sustancias de reserva de la estaca sean utilizadas para la formación de nuevos brotes y no de

raíces, provocando la muerte de la estaquilla. Es importante mencionar, que mientras la estaca no cuente con un adecuado sistema radicular, no es deseable que presente una brotación abundante, ya que esto provocaría un desequilibrio entre la fotosíntesis y la brotación, de lo contrario las sustancias nutricionales de la estaca son empleadas para la formación de nuevos brotes y no de raíces, produciendo la muerte eventual de la estaca (Díaz, 1991). Por lo tanto en el caso de caoba, al utilizar dosis altas de AIB, contribuirá a la mayor formación de brotes.

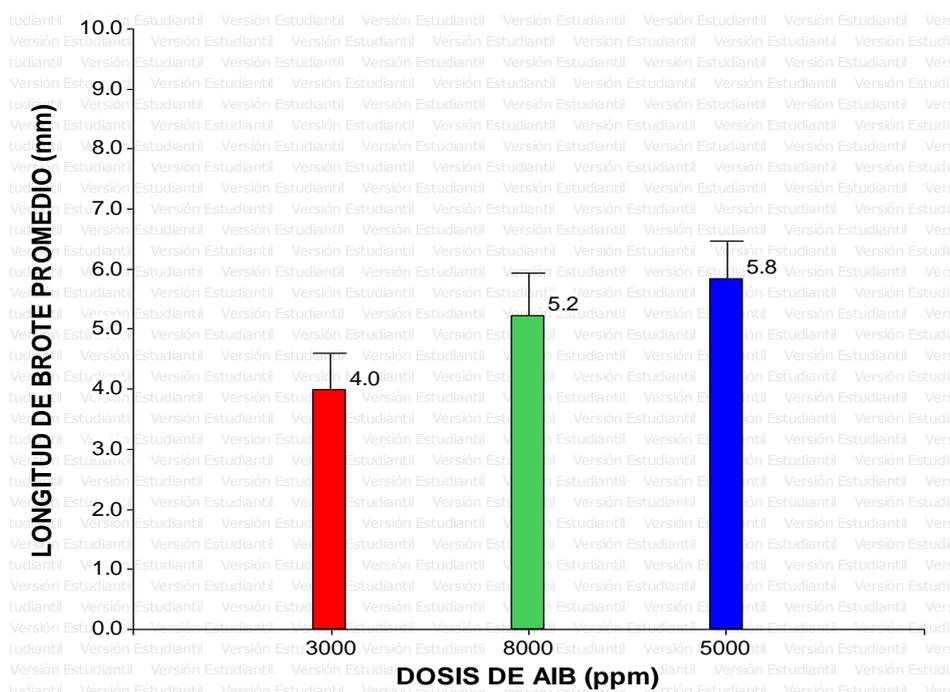


**Figura 17.** Número de brotes por efecto de la dosis de AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

#### 4.4.5. Longitud de brote promedio (mm).

El análisis de varianza para la longitud promedio de brotes por estaquilla de caoba (cuadro 11) muestra que existe diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), debido al factor principal dosis de AIB. En la figura 18 y cuadro 14, se observa que la dosis de 5000 ppm fue estadísticamente superior alcanzando un promedio de 5.8 mm en longitud de brotes por estaca juvenil de caoba, seguido por la dosis de 8000 ppm con 5.2 mm de longitud promedio de brotes, finalmente la dosis de 3000 ppm

logró solo un promedio de 4.0 mm en longitud por estacas juveniles de caoba. Según lo observado, se puede afirmar que existe una relación positiva, porque a medida que aumenta la dosis de AIB, también aumenta la longitud promedio de brotes por estaquillas. Influenciado, al igual que los anteriores casos, por la mayor acumulación de nutrientes y carbohidratos disponibles, respondiendo positivamente no solo en la máxima longitud del brote, sino también del mayor número de estaquillas con brotes y mayor longitud de raíz (Baggio, 1982).



**Figura 18.** Longitud de brote promedio por efecto de la dosis de AIB, en el enraizamiento de estacas juveniles de caoba (*S. macrophylla* king), después de 60 días de instalación en cámara de sub-irrigación.

Similar resultado se encontró con la especie *Amburanaa cearensis*, donde el mayor número y longitud de raíces se encontró con la dosis de concentración alta de 8000ppm (Flores 2010). El número y longitud de raíces producido por las estacas es altamente influenciado por la habilidad de la estaca a suplir carbohidratos, ya sea de reserva o producido mediante fotosíntesis al área donde surgen las raíces (Veierskov y Andersen, 1982). Por lo tanto en el caso de caoba, es necesario utilizar dosis altas para obtener la mayor longitud de brotes.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- El costo de producción del sustrato de cascarilla de arroz carbonizada obtenido a través del quemador cilindro rotatorio fue de S/ 0.13 por kilo de CAC, costo menor de producción en comparación con los demás quemadores y método tradicional.
- Utilizando el quemador cilindro rotatorio, se obtuvo un rendimiento promedio de 80.5 % y un tiempo promedio de 1:51 horas en la producción del sustrato CAC.
- El sustrato adecuado para el enraizamiento de las estacas de caoba (*S. macrophylla* king) fue aquel obtenido a través del quemador cilindro rotatorio y utilizando 8000 ppm de AIB, favoreciendo el mayor porcentaje de enraizamiento, logrando hasta un 95.83 %.
- Utilizando el sustrato del quemador cilindro rotatorio en el enraizamiento de las estacas de caoba, se alcanzaron promedios superiores en el porcentaje de brote (79.2 %), número de brote (0.85) y en la longitud de brote promedio (7.78 mm).
- Utilizando la dosis de 8000 ppm de AIB en el enraizamiento de las estacas de caoba, se alcanzaron promedios en el porcentaje de brote (68.3 %), longitud de raíz (14.5 mm) y en el número de brote (0.74).

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el quemador del tipo cilindro rotatorio para la producción del sustrato CAC, con ello se logró hasta un precio de S/. 0.13 por kilo de sustrato presentando el menor costo en comparación a los demás quemadores y método tradicional, siendo además el más eficiente y presentando una ergonomía para el trabajo
- Para obtener un alto porcentaje de enraizamiento en estacas de caoba, se recomienda el uso del sustrato producido a través de quemador cilindro rotatorio y dosis de 8000 ppm de AIB.

## BIBLIOGRAFIA

- Abad, M. 1993b. Evaluación Agronómica de los sustratos del cultivo. Actas de horticultura, 11: 141-154 p.
- Acosta, S 1959. Propagación vegetativa de leñosas y forestales. Editorial LA HACIENDA. Barcelona España. 36p.
- Amad, Oriol, Contabilidad y Gestión de Costes/ Oriol Amad, Pilar Soldevilla – Barcelona: Ediciones Gestión 2000, S.A., 2002.270p.
- Andriolo, J. 1997. Cultivo de tomate en sustratos. Santa Maria: Centro de Ciências Rurais, UFSM. (Informe técnico, 2). Brasil.
- Ansorena, J. 2000. Sustratos. Mundi prensa, Madrid. 12 P.
- Astigarraga 1994. Hornos industriales de resistencias. McGraw-Hill. Madrid.
- Baggio, A.1982. Establecimiento, manejo y utilización del sistema agroforestal cercos vivos de *Glincidia sepium* en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turialba.C.R. UCR/CATIE. 91p.
- Ball. V.1991. Soil Mixes In: G.J. Ball Ball (ed). Ball Red Book.Publishing. pp 197-199.
- Bocker. I. 1987. Resultados preliminares de los ensayos y procedencias en campo abierto en la selva central. En avances de silvicultura en la Amazonia Peruana. Pucallpa, Perú. Lima, Perú: Instituto Nacional de Desarrollo, Documentos de trabajo. 11: 156-170 p.
- Botti, C. 1999. Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. En: Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile 72-82 p.

- Boter Maupi, Fernando. Curso de Contabilidad/. Fernando Bouter Maupi. Barcelona: [s.n] 1923.203p.
- Bueno, J.1987. La madera como combustible, combustión. Revista forestal del Perú, vol. XIV nº2 UNA la Molina. Lima-Perú, 3-15 pág.
- Caballero, J. M.; del Rio., C. 1999. Métodos de multiplicación. In: Barranco, D.; Fernandez, E; Rallo, L. Eds. El cultivo del olivo. Mundi prensa. Madrid. 93-112p.
- Caballano, J. 2001. Primac. S.A. autopista sur Nº 24-52 Itagui, Colombia.
- Cabrera, R. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para La producción de plantas em maceta. Revista Chapingo, serie horticultura. Vol. V. Núm. 1. 1999. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Calderón, F. 2001. Que son los cultivos hidropónicos y el porqué de la hidroponía. Pp. 1-20. En: Calderón, F. (ed.). Memorias, primer curso de hidroponía para la floricultura. Mayo 31- junio 2, Bogotá.
- Carrera, M.V. 1997. La propagación vegetativa en el género Pinus. Ciencia forestal (Méx.) 2 (7): 3 – 29.pg
- Castro Mora, Javier. Operación y mantenimiento de calderas, 244 páginas, Bogotá-Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002.
- Centa, 2000. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. Cascarilla caolinizada de arroz en su uso como sustratos hidropónicos. Edit. Giras. Colombia – tolima 34-76 Pág.
- Cevallos, F. 2001. Los sustratos. En: [www.drcalde-ronlabs.com](http://www.drcalde-ronlabs.com); consulta: Octubre de 2003.
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. The New York Botanical Garden.

- Davis T.D., Haissig B.E., Sankhla N.1986. Adventitious root formation in cuttings. Oregon: Dioscorides Press, 315 p.
- Días M, E.R.A. 1991. Técnicas de enraizado de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. y *Gmelina arbórea* Linn. Tesis Mag. Sc. Turrialba; Costa Rica. CATIE. 93 p.
- Díaz E, Salazar R, Mesén F. 1991. Enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. *Silvoenergía*, 51:1- 4.
- Díaz F. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coahuila, México, Octubre 13, 14 y 15 del 2004.
- Dirr, M. y Heuser, C.1987. The reference manual of woody plant propagation. From seed to tissue culture. Georgia, USA. Varsity Press INC. 239 p.
- Espinoza, M. 2008. Preparación del carbón de cascarilla de arroz para su utilización en viveros forestales de alta tecnología. FONDEBOSQUE/UNU. Pucallpa-Perú.
- FAO 1999. Métodos simples para la carbonización, producidos por el departamento de montes.
- FAO, 2000. El cultivo de arroz, un producto alimenticio a nivel mundial. Boletín informativo a las naciones. Vol. III.
- FAO, 2003. Seminario Nacional sobre hidroponía Chile. <http://www.rlc.fao.org/eventos/1998/mayo/hidropon.htm>.
- Ferratto, J.A.; Herrera, O. 1994. Análisis económico del cultivo de plantas ornamentales en macetas bajo invernadero. *Horticultura Argentina*. 13(34-35) p.9-15.

- Flores A. R. 1986. Efectos de topofisis y de dos profundidades de siembra en la propagación por estacas de *Eriolina poppiana* (wopen). O. F. Cook (Pro). Tesis para optar el grado de magíster agricultura IICA de la OEA. Costa Rica. 67 p.
- Flores M, 2010. Evaluación del efecto de cinco dosis de fitohormona, tres tipos de sustrato y tres rasgos de morfotipo en el enraizamiento de estaquillas juveniles de *Amburana cearensis* (Allemaño) A.C. Smith (ishpingo), en ambientes controlados en Pucallpa – Ucayali, Perú. Tesis para optar el título de ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali. 46- 70 p.
- Gispert, 1984. Frutales y bosque. Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera. Tomo 3. Ediciones OCEANO. Barcelona – España.204 p.
- Grabe, 1989. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo - Serie Horticultura. 5(1): 5-11.
- Gomes J.M. 2001. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de NPK. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 166 p.
- Gutierrez, M. 2003. Propagación del burío (*Heliconia appendiculatus* Turcz.) por semillas, estacas y acodos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.120 p.
- Haissig, B.E. 1986. Metabolic processes in adventitious rooting. In New Root Formation in Plants and Cuttings (Ed. Jackson, M.B.) Martinus Nijhoff Pub., Dordrecht, Boston, Lancaster. Pp 141-189.
- Hartmann, H. T. y Kester, D. 1972. Propagación de plantas: principios y prácticas. Trad. Por Marino Ambrosio A. La Habana. Instituto cubano del libro. 693 p.

- Hartmann, H. Kester, D. 1983. Propagación de plantas, principios y prácticas. Trad. Por Marino Ambrosio A. La Habana, Cuba. Instituto Cubano del libro. 693 p.
- Hartmann, H. y Kester, D. 1980. Propagación de plantas. Principios y prácticas. México. Compañía Editorial Continental S. A. 814 p.
- Hartmann, H. y Kester, D. 1988. Propagación de plantas. Principios y prácticas. México. Compañía Editorial Continental S. A. 760 p.
- Henríquez, E. 2004. Evaluación de tres factores de enraizamiento en morera (*Morus alba*). Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Facultad de ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 77 p. [En línea]. Cybertesis.
- Hernández, S; Leal, F. 1997. Enraizamiento de estacas de cacao. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología 15(1):1-12.
- Hoyos, Jesús. Guía de árboles de Venezuela. Caracas: Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Monografía n° 32, 1983, pp. 224-225.
- INEI, 2010. Estadística agrícola en todas las regiones productoras de arroz. Incremento de la producción de arroz en chala en los departamentos del Perú.
- ISTA 1993. Asociación internacional de análisis de semillas. El muestreo y su metodología como ciencia en la obtención de semillas mejoradas.
- James, R. 1986. Propagation media: What a grower needs to know. Washington, U. S. A. The International Plant Propagators Society. 36: 396 - 399.
- Jiménez, R. Y M. Caballero. 1990. El cultivo industrial de plantas en maceta. Ediciones de Horticultura, SL. Reus, España. Pág. 90-100.

- Kononova, M. Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación, Barcelona: Oikos-Tau, 1982. 365 p.
- Leakey, R. 1990. Propagación vegetativa de especies forestales. Manual sobre Mejoramiento genético. CATIE, Turrialba. Costa Rica Pp 113 -120.
- Leakey, R Y Mesen, F 1991. Propagación vegetativa de especies forestales: enraizamiento de estacas suculentas. Manual sobre Mejoramiento genético con referencia especial a América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 113-133 p.
- Llurba, M. 1997. Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. Revista Horticultura Nº 125 – Diciembre 1997.
- Macdonald, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. London. Ed. Batsford. 669 p.
- Maroto, J. 1990. Elementos de Hortícola General. Editorial Mundi Prensa. Madrid.
- Marquez M., Manuel. Combustión y quemadores, 159 páginas, Barcelona: Marcombo, S. A., 1989.
- Mastalerzt, J. W. 1977. The Greenhouse Enviroment. Tomo II. John Wiley and Sons. New York. E.U.A. Pp 341-384.
- Medellín 2002. Determinación de densidades facultad de ingeniería departamento de materiales universidad de Antioquia. Colombia.
- Mesen, F. 1988. Propagación vegetativa de *Araucaria hunsteinii* Sch. Mediante enraizamiento de estacas. Tesis Ing. agrónomo. Turrialba. Universidad de Costa Rica. 77 p.
- Mesen, F. 1993. Vegetative Propagation of Central American Hardwoods. Thesis Ph.D. Edinburgh, Scotland, University of Edinburgh. Institute of Terrestrial Ecology. 231 p.

- Mesén, F (1998). Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Serie Técnica. Manual Técnico No. 30. Turrialba, CR. CATIE. Proyecto de Semillas forestales-PROSEFOR. 36 p.
- Mesen, F. 2008. Curso: “Bases Técnicas Para la Propagación Vegetativa de Árboles Tropicales Mediante Enraizamiento de Estaquillas”. Pucallpa -Perú.
- MINAG, 2002. Estadística agrícola en el Perú. Ministerio de agricultura. Boletín informativo a las regiones productoras de arroz. Bol. II.
- MINAG, 2010. Ejecución y perspectivas de la información Agrícola. Campaña agrícola en la Región Ucayali. Ministerio de Agricultura-Perú, 2010.
- Moe, R., Andersen, A.S. 1988. Stockplant environment and subsequent adventitious rooting. In Adventitious Root Formation in Cuttings. (Eds. Davis, T.D., Haissig, B.E. and Sankhla, N.) B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. Pp 214-234.
- Muñoz, J. Z. (2007). Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). Tesis para optar el título de Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 2007.
- Nuñez, Y. 1997. Propagación vegetativa del Cristóbal (*Platymiscium pinnatum*, Benth); pilon (*Hyeromina alchorneoides*, Allemo) y surá (*Terminalia oblonga*, Ruiz & Pavon) mediante el enraizamiento de estacas juveniles Tesis Mg. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 172 p.
- Osava, M. 2005. Se extingue bromuro de metilo en Brasil y Cuba. <http://www.tierramerica.org/2003/0623/acentos2.shtml>.
- Palencia, G. 2000. Propagación del árbol de cacao. En: Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. Mejía L; Argüello, O. comps. CORPOICA. Bucaramanga, CO. p. 65-72.

- Peate, N. 1989. Media for cutting propagation. Washington. U. S. A. The International Plant Propagators Society. 39: 71-76.
- Perik, R. 1990. Cultivo in vitro de plantas superiores. Madrid. Ediciones Mundi prensa 1990. 326 pp.
- Quijada R.M. 1980. Métodos de propagación vegetativa. En mejora genética de árboles forestales. FAO. DANIDA. Roma. 341 p.
- Ramírez, L. 2000. Algunos avances en la morfogénesis de la teca (*Tectona grandis*). Tesis para optar por el grado de Master en Ciencias. Universidad de Ciego de Avila, Cuba. P. 55.
- Reinoso, Francisco, (2005) “Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones”, Revista Uniandes, Colombia, 66–69.
- Richey, T. 1985. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 15-29 p.
- Rodríguez, C. 1994, Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Oregon. Estados Unidos. 66-68
- Rojas, S. (2008). Producción del arroz. Editorial Universidad de San Martín de Porres.
- Ruiz, G., Vargas, J., Cetina, V., Villegas, A. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina Arborea* Roxb. Revista Fitotecnia Mexicana. 28(4):319-326.
- Ruiz S, 2009. Efecto de cuatro dosis de ácido indolbutírico y tres tipos de estacas en el enraizamiento de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en san martín. Tesis para optar el título de ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de la Selva. 30- 75p.

- Salisbury, F. B., W.C. Ross. 1992. Plant physiology. Wadsworth publishing company. California. 682 pag.
- Santelices, R. 1998. Propagación vegetativa del Hualo, (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser), mediante estacas procedentes de rebrotes de tocón. Tesis Magister en Ciencias Forestales, Mención Manejo Forestal. Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 93 p.
- Santos G. 2002. Miniestaquia na clonagem de jequitibá, mogno, centro de canjerana. 70 f. Monografia (Graduação)-Universidade Federal Vicosa. Scientia; Stubsgaard; Grabe. 2007. No 37. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- Soudre, M., Mesén, F., Del Castillo, D., Guerra, H. 2009 memoria del curso internacional: "Bases técnicas para la propagación vegetativa de árboles tropicales mediante enraizamientos de estaquillas" IIAP/FINCYT. Pucallpa - Perú. 104 p.
- Soukup Jaroslav SDB. 1980. Vocabulário de los nombres vulgares de La flora peruana y catálogo de los géneros. Impreso en los talleres gráficos Librería Salesiana. Lima – Peru. 436 pag.
- Souza, F. 1993. Cascarilla de arroz carbonizada: un sustrato para la propagación de plantas. CNPAI/EMBRAPA. Revista Lavoura Arrozeira V. 46 nº. 406 jan./fev. Brasil. Pág. 11.
- Stanley, E. 2007. Operaciones para la combustión. Introducción a la química analítica ambiental, S.A. Ed. Reverte.
- Taveira, A. 2005. Fibra de coco: Una nueva alternativa para la formación de plantas. Revista Brasileira de Reproducción de Plantas 28 (5): 275 - 277.
- Terres, V.; Artetxe, A.; Beunza, A. 1997. Caracterización física de los sustratos de cultivo. Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.

- Van Der Berg, 1987. Comparative growth performance of seedling and vegetative propagules of *Pinus radiata* (D. Don) and *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. Ph D. Thesis. University of California, Berkeley. 207 p.
- Vargas, A. 2000. Universidad de Tolima, facultad de agronomía. Programa agroindustrial - Ibagué.
- Vastey, J. DE 1962. Estudios sobre propagación de especies forestales por estacas. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA. 67 p.
- Vázquez, A. 2009. Propagación vegetativa de caoba (*Swietenia macrophylla*) mediante enraizamiento de estaquillas juveniles en cámaras de sub-irrigación, en Pucallpa- Perú. Tesis para optar el título de ingeniero forestal. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. 45-78 p.
- Veierskov y Andersen 1982. Dynamics of extractable carbohydrates in *Pisum sativum*. III. The effect of IAA and temperature on content and translocation of carbohydrates in pea cuttings during rooting. *Physiologia Plantarum*. 55:179- 182.
- Veierskov, B. 1988. Relations between carbohydrates and adventitious root formation. In *Adventitious Root Formation in Cuttings*. (Eds. Davis, T.D., Haissig, B.E. And Sankhla, N.). B.E. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp. 70-78.
- Wells, J. 1979. *Silvicultura chilena actual*. Chile. Ed. Hucke. 75 p.
- World Conservation Monitoring Centre 1998. *Swietenia macrophylla*. 2006 IUCN Lista Roja de Especies Amenazadas, bajado 23 de agosto 2007.
- Yépez, F., Del Castillo, D., Soudre, M., Soplin, J., Chung, J. 2009. Avance en la propagación vegetativa de caoba: una técnica potencial para la reforestación y conservación genética en la Amazonia Peruana.

Zanoni-Mendiburu, C.A, 1975. Enraizamiento de estacas de ocho especies forestales utilizando estimuladores para germinación de raíces. Editorial Turrialba, Universidad de Costa Rica.

Zobel, B. y Talbert, J. 1984. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México. Ed. Limusa. 554 p.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Cuadro general de costos para la producción del sustrato CAC.

Descripción	Unidad	Costo unitario (S/.)	TRADICIONAL		CILINDRO MEDIO		CÓNICO		CILINDRO ROTATORIO	
			Cantidad	Costo total (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
<b>I COSTOS DIRECTOS</b>				<b>13,81</b>		<b>13,50</b>		<b>14,04</b>		<b>9,87</b>
<b>1.1 Estructuras metálicas</b>				<b>0,00</b>		<b>0,02</b>		<b>0,03</b>		<b>0,09</b>
Plancha negra de 1/27 pulg de espesor x 1.2 m de ancho x 2.4 m largo	Unidad	72,00	0,00	0,0	36,25	0,0242	41,2	0,0275	5,1	0,00340
Plancha negra de 1/8 pulg de espesor x 1.2 m de ancho x 2.4 m largo	Unidad	265,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98	0,00132
Fierro corrugado de 1/2 pulg de espesor x 9 m de largo	m	27,70	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	12,83	0,00855
Fierro liso de 1/2 pulg de espesor x 9 m de largo	m	20,60	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00023
Tubo de fierro de 1 1/4 de espesor x 6 m de largo	m	52,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	24,61	0,01641
Tubo de fierro de 2 pulg de espesor x 6 m de largo	m	115,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	26,83	0,01789
Tubo de fierro de 2.5 pulg de espesor x 6 m de largo	m	480,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	12,80	0,00853
Cilindro de acero 1.81 m de ancho x 0.86 m de largo	m <sup>2</sup>	50,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	50,00	0,03333
Bisagras de 2 x 3/8	unidad	1,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00133
<b>1.2 Insumos</b>				<b>7,47</b>		<b>9,07</b>		<b>9,60</b>		<b>5,33</b>
Cascarilla de arroz (peso 12 kg/ saco)	saco	0,50	14	7,00	17	8,50	18	9,00	10,00	5,00
Costales de polietileno	unidad	0,50	0,93	0,47	1,13	0,57	1,2	0,60	0,67	0,33
<b>1.3 Herramientas</b>				<b>0,84</b>		<b>0,84</b>		<b>0,84</b>		<b>0,84</b>
<b>1.3.1 Producción de CAC</b>				<b>0,84</b>		<b>0,84</b>		<b>0,84</b>		<b>0,84</b>
Escobas de plásticos	unidad	15,00	0,0067	0,10	0,0067	0,10	0,0067	0,10	0,0067	0,10
Regadera para jardinero	unidad	30,00	0,0017	0,05	0,0017	0,05	0,0017	0,05	0,0017	0,05
Machete	unidad	10,00	0,0011	0,01	0,0011	0,01	0,0011	0,01	0,0011	0,01
Malla plástica (Zaranda)	m	4,00	0,0067	0,03	0,0067	0,03	0,0067	0,03	0,0067	0,03
Carretilla tipo bugui	unidad	140,00	0,0011	0,16	0,0011	0,16	0,0011	0,16	0,0011	0,16
Baldes de 10 litros	unidad	24,00	0,0067	0,16	0,0067	0,16	0,0067	0,16	0,0067	0,16
Baldes de 20 litros	unidad	8,00	0,0067	0,05	0,0067	0,05	0,0067	0,05	0,0067	0,05
Bolsas plásticas de 0.5 kg 1 paquete de 100 unidades	paquete	6,00	0,0400	0,24	0,0400	0,24	0,0400	0,24	0,0400	0,24
Palas	unidad	20,00	0,0011	0,02	0,0011	0,02	0,0011	0,02	0,0011	0,02
Rastrillo de fierro	unidad	15,00	0,0017	0,03	0,0017	0,03	0,0017	0,03	0,0017	0,03
<b>1.4 Equipos</b>				<b>0,62</b>		<b>0,62</b>		<b>0,62</b>		<b>0,62</b>
<b>1.4.1 Producción de CAC</b>				<b>0,62</b>		<b>0,62</b>		<b>0,62</b>		<b>0,62</b>
Balanza gramera de 20 kg	unidad	80,00	0,0017	0,13	0,0017	0,13	0,0017	0,13	0,0017	0,13
Balanza capac. 100 kg	unidad	420,00	0,0011	0,47	0,0011	0,47	0,0011	0,47	0,0011	0,47
Calculadora	unidad	20,00	0,0011	0,02	0,0011	0,02	0,0011	0,02	0,0011	0,02
<b>1.5 Materiales de oficina</b>				<b>0,88</b>		<b>0,88</b>		<b>0,88</b>		<b>0,88</b>
Tablero de apuntes	unidad	10,00	0,002	0,02	0,002	0,02	0,002	0,02	0,002	0,02
Papel bond A4	millar	25,00	0,02	0,50	0,02	0,50	0,02	0,50	0,02	0,50
Lapiz n° 2	caja	10,00	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10
Lapiceros	unidad	10,00	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10
Cinta Adhesiva (Maskentei)	unidad	5,00	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05
Rafia	unidad	5,00	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05
Plumones indhelebles	unidad	6,00	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	0,06
<b>1.6 Mano de obra</b>				<b>4,00</b>		<b>2,07</b>		<b>2,07</b>		<b>2,10</b>
<b>1.6.1 Construcción de los quemadores</b>				<b>0,00</b>		<b>0,067</b>		<b>0,067</b>		<b>0,10</b>
Mano de obra y equipos	Global		0	0,00	100,0000	0,067	100,0000	0,067	150,0000	0,10
<b>1.6.2 Producción de sustrato CAC</b>				<b>4,00</b>		<b>2,00</b>		<b>2,00</b>		<b>2,00</b>
Operario	jornal	20,00	0,2	4,00	0,1	2,00	0,1	2,00	0,1	2,00
<b>II COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>2,16</b>		<b>3,12</b>		<b>3,22</b>		<b>2,67</b>
<b>2.1 Gastos administrativos y servicios de diseño</b>				<b>2,16</b>		<b>3,12</b>		<b>3,22</b>		<b>2,67</b>
Diseño de prototipos de quemadores	servicio	100	0,00	0,00	0,004	0,40	0,004	0,40	0,01	1,00
Transporte de mater. Para quemador	Flete	8	0,00	0,00	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Transporte de quemadores	Flete	10	0,00	0,00	0,001	0,007	0,001	0,007	0,001	0,007
Transporte de cascarilla de arroz	Flete	30	164,7	2,06	208,300	2,60	216,500	2,71	124,6200	1,56
Agua	M3	1,00	0,1	0,10	0,1	0,10	0,1	0,10	0,1	0,10
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>15,97</b>		<b>16,62</b>		<b>17,26</b>		<b>12,54</b>
<b>Costo por kg de CAC</b>				<b>0,160</b>		<b>0,166</b>		<b>0,173</b>		<b>0,125</b>
Utilidad por Kg de CAC (30%)				<b>0,05</b>		<b>0,05</b>		<b>0,05</b>		<b>0,04</b>
Precio de venta al público				<b>0,21</b>		<b>0,22</b>		<b>0,22</b>		<b>0,16</b>

## Anexo 2. Cuadro general de costos de cada quemador.

**Cuadro 15.** Materiales utilizados y costo en la construcción del quemador Cilindro Rotatorio.

Nº	Descripción	Unidad	Superficie utilizado	Costo (\$/)
1	Plancha negra de 1/27 pulg de espesor x 1.2 m de ancho x 2.4 m largo	m <sup>2</sup>	0.204	5.10
2	Plancha negra de 1/8 pulg de espesor x 1.2 m de ancho x 2.4 m largo	m <sup>2</sup>	0.0216	1.98
3	Fierro corrugado de 1/2 pulg de espesor x 9 m de largo	m	4.17	12.83
4	Fierro liso de 1/2 pulg de espesor x 9 m de largo	m	0.15	0.34
5	Tubo de fierro de 1 1/4 de espesor x 6 m de largo	m	2.84	24.61
6	Tubo de fierro de 2 pulg de espesor x 6 m de largo	m	1.40	26.83
7	Tubo de fierro de 2.5 pulg de espesor x 6 m de largo	m	0.16	12.80
8	Cilindro de acero 1.81 m de ancho x 0.86 m de largo	m <sup>2</sup>	0.00	50.00
9	Bisagras de 2 x 3/8	unidad	0.00	2.00
10	Mano de obra (construcción y soldadura)			150.0
				<b>286.49</b>

**Cuadro 16.** Materiales utilizados y costo en la construcción del quemador Cónico.

Nº	Descripción	Unidad	Superficie utilizado	Costo (\$/)
1	Plancha negra de 1/27 pulg de espesor x 1.2 m de ancho x 2.4 m largo	m <sup>2</sup>	1.648	41.20
2	Servicio de rolado	1	1.648	25.00
3	Mano de obra (construcción y soldadura)			100.00
				<b>166.20</b>

**Cuadro 17.** Materiales utilizados y costo en la construcción del quemador Cilindro medio.

Nº	Descripción	Unidad	Superficie utilizado	Costo (\$/)
1	Plancha negra de 1/27 pulg de espesor x 1.2 m de ancho x 2.4 m largo	m <sup>2</sup>	1.441	36.25
2	Servicio de rolado	1	1.441	25.00
3	Mano de obra (construcción y soldadura)			100.00
				<b>161.25</b>

### Anexo 3. Formato de registros meteorológicos en la cámara de sub-irrigación.

FECHA DE INSTALACION: 31/08/2008

LUGAR: VIVERO IIAP

TESISTA: GILDER JOEL SABOYA SABOYA

FECHA	HORA	T° Ambt	EXTERIOR DEL PROPAGADOR						INTERIOR DEL PROPAGADOR						LUXES	TEMPERATURA DE SUSTRATOS °c				
			TEMPERATURA °c			HUMEDAD RELATIVA (%)			TEMPERATURA °c			HUMEDAD RELATIVA (%)				C-4	C-1	C-2	C-0	C-3
			Minima	Media	Maxima	Minima	Media	Maxima	Minima	Media	Maxima	Minima	Media	Maxima						
27/10/2009	08 00 a m	40,0	22.3	46.5	33.8	37	74	54	22.5	28.3	35.7	37	74	61	2580					
	12 00 m	40,0	22.3	32.4	33.8	37	53	54	22.5	35.0	35.7	37	59	61	658	29,0	29,0	29,0	27,0	29,00
	03 00 p m	40,0	26.9	26.7	34.8	37	59	61	22.5	30.9	35.7	37	60	61	390	28,0	27,0	28,0	27,0	28,00
28/10/2009	08 00 a m	33,0	19.4	31.5	40.9	24	69	94	22.5	28.6	35.7	37	77	86	720	28,0	27,0	28,0	27,0	28,00
	12 00 m	41,0	19.4	36.1	42.7	24	47	94	26.9	33.1	35.5	44	61	89	710	28,0	28,0	28,0	27,0	29,00
	03 00 p m	38.5	19.4	34.9	42.7	24	46	94	26.9	33.4	35.5	44	60	89	586	29.5	28.5	29,0	28,0	29,00
29/10/2009	08 00 a m	37,0	19.4	28.7	42.7	24	76	94	26.9	28.0	35.5	44	79	89	553	27.5	27,0	28,0	26.5	28,00
	12 00 m	31,0	19.4	28.3	42.7	24	73	94	26.9	28.1	35.5	44	79	89	376	28,0	27,0	28,0	27,0	28.5
	03 00 p m	37,0	19.4	31.9	42.7	24	86	94	26.5	31.9	35.5	44	78	89	280	28,0	27,0	28,0	22,0	29,00
30/10/2009	08 00 a m	33,0	19.4	30.0	42.7	24	80	94	26.5	28.0	35.5	44	87	89	387	29,0	27,0	28,0	27,0	28,00
	12 00 m	42,0	19.4	35.8	42.7	24	51	94	26.5	35.0	35.5	44	62	89	389	29,0	29,0	29,0	29,0	29,00
	03 00 p m	41,0	19.4	35.1	42.7	24	53	94	26.5	35.2	35.5	44	59	89	381	30,0	30,0	30,0	28,0	29,00
31/10/2009	08 00 a m	32,0	19.4	31.9	42.7	24	76	94	26.5	29.3	35.5	44	84	89	699	28,0	28,0	28,0	27,0	29,00
	12 00 m	41,0	19.4	35.7	42.7	24	53	94	26.5	34.6	35.5	44	64	89	734	29,0	28,0	29,0	28,0	29,00
	03 00 p m																			
02/11/2009	08 00 a m	27,0	19.4	24.8	42.7	24	77	94	24.7	24.6	35.5	44	85	89	1423	27,0	26,0	26,0	25,0	27,00
	12 00 m	36,0	19.4	31.7	42.7	24	56	94	24.2	31.9	35.5	44	59	89	2610	28,0	27,0	28,0	27,0	28,00
	03 00 p m	43,0	19.4	32.6	42.7	24	55	94	24.2	33.1	35.5	44	59	89	2090	29,0	28,0	29,0	28,0	29,00
03/11/2009	08 00 a m	29.5	19.4	27.3	42.7	24	83	94	24.2	26.5	35.5	44	86	89	1415	27,0	26,0	27,0	26,0	27,00
	12 00 m	41,0	19.4	35.7	42.7	24	54	94	24.2	35.1	35.5	44	60	89	7800	30,0	31,0	29,0	27.5	29,00
	03 00 p m	47,0	19.4	35.3	42.7	24	50	94	24.2	35.5	38.5	44	57	89	3520	29.5	29,0	30,0	27,0	30,00
04/11/2009	08 00 a m	28,0	19.4	27.6	42.7	24	79	94	22.5	26.7	37.9	45	79	81	397	27,0	27,0	28,0	26,0	28,00
	12 00 m	27.5	19.4	27.0	42.7	24	76	94	22.5	27.8	37.9	45	74	81	59	28,0	27,0	28,0	26,0	28,00
	03 00 p m	22,0	19.4	21.5	42.7	24	60	94	22.1	21.1	37.9	45	84	81	98	27,0	26,0	27,0	26,0	27,00
05/11/2009	08 00 a m	25,0	19.4	24.8	42.7	24	80	94	22.1	25.1	38.5	44	85	91	253	26,0	25,0	26,0	25,0	26,00
	12 00 m	33,0	19.4	30.1	42.7	24	80	94	22.1	29.5	38.5	44	86	91	3580	26,0	26,0	27,0	26,0	27,00
	03 00 p m	36,0	19.4	33.8	42.7	24	77	94	22.1	32.2	38.5	44	77	91	3140	27,0	27,0	28,0	21.5	28,00
06/11/2009	08 00 a m	40,0	19.4	28.3	42.7	24	83	94	22.1	26.7	38.5	44	84	91	3410	27,0	26,0	28,0	26,0	27.5
	12 00 m	44,0	19.4	34.0	42.7	24	66	94	22.1	32.8	38.5	44	72	91	4100	28,0	28,0	29,0	27,0	29,00
	03 00 p m	38,0	19.4	33.2	42.7	24	64	94	22.1	32.5	38.5	44	68	91	1020	28,0	28,0	29,0	27,0	29,00

### Anexo 4. Formato de evaluación final en la propagación vegetativa de la caoba.

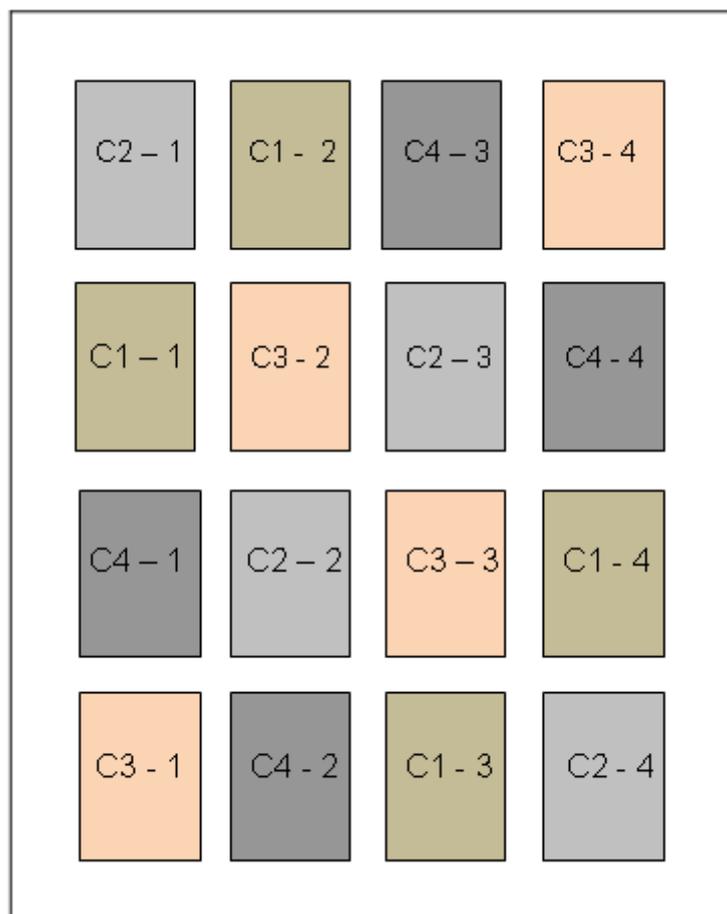
FECHA DE INSTALACION: 31/08/2008

LUGAR: VIVERO IIAP

TESISTA: GILDER JOEL SABOYA SABOYA

BLOQUE / TRATAMIENTO	DOSIS / CODIGO	NUMERO ESTACA	RAICES (1)		CALLOS (2)	BROTOS AEREOS (3)			VIGOR (4)	ESTACA	OBSERVACIONES	
			Numero	Long. (mm)	Numero	Numero	Long (mm)	Num. Hojas	Codigo	Diametro (mm)	Describir	
III - C4	D3 - T15	1			2				2	4.6		
		2				1	0.5		3	6.4		
		3							3	5.6	base seca	
		4				1	0.5		3	4.2	base seca	
		5			3				3	5.4		
		6				1	1.1	3	3	5.4		
		7				3	1	2.1	2	3	8.4	sin nervadura
		8	2	19.8/ 114.2	1	1	2.2	3	1	6.8		
III - C4	D1 - T13	1	1	2.2	1	1	4.0		2	5.2	brote sin hoja	
		2							3	5.4	base seca	
		3			2				2	3.6		
		4							0	4.4	estaca muerta	
		5	1	6.7	1	1	3.6		1	4.8		
		6	1	3.8		1	3.8		1	5.6	necrosis en base	
		7				1	1.2		2	7.8	necrosis en base	
		8				1	4.8		3	4.4	necrosis en base	
III - C4	D2 - T14	1							4	5.2	estaca muerta	
		2			2				2	4.6		
		3			1	1	5.8		3	5.2		
		4							4	4.8	estaca muerta	
		5			1	1	9.2		2	5.8		
		6	1	48.4	1	2	10.83/ 3.6		1	6.8		
		7	3	20.62/ 20/ 50.1	2	1	19.2	1	1	5.5		
		8	2	87 / 76	4	1	10.96	2	1	8.8		

## Anexo 5. Croquis del diseño en la distribución de los tratamientos.



Donde los tratamientos se codificaron de la siguiente manera:

C1 = CAC del quemador cilindro medio

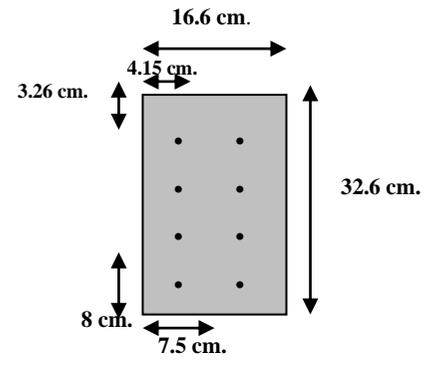
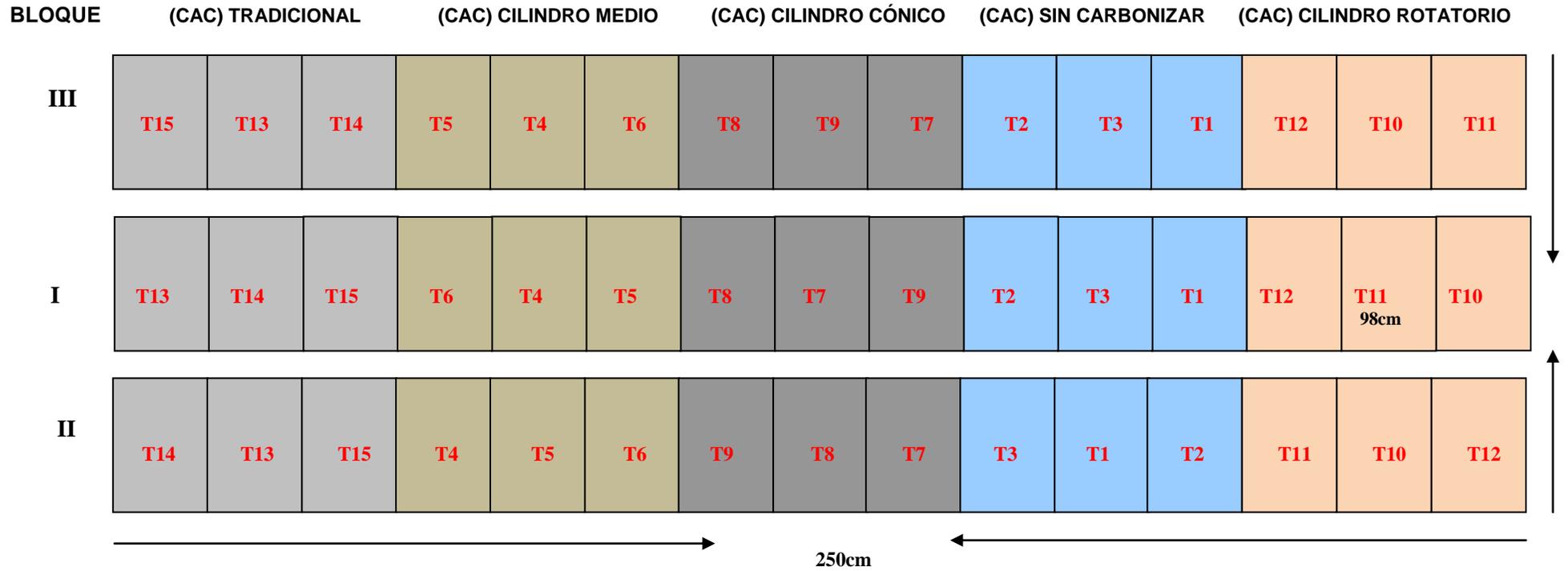
C2 = CAC del quemador cónico

C3 = CAC del quemador cilindro rotatorio

C4 = CAC del método tradicional (testigo)

Repeticiones: 1, 2, 3, 4

### Anexo 6. Croquis del diseño en la distribución de los tratamientos.



## Anexo 7. Procedimiento metodológico en la propagación vegetativa de caoba.



Foto 15. Cosecha del material vegetativo



Foto 16. Preparación de estacas juveniles



Foto 17. Desinfección de estacas en cupravit



Foto 18. Aplicación de la hormona AIB



Foto19. Evaporación del alcohol



Foto 20. Sembrado de las estacas

## Anexo 8. Estacas enraizadas con los sustratos utilizados



Foto 21. Estaca enraizada CAC (C0)



Foto 22. Estaca enraizada CAC (C1)



Foto 23. Estaca enraizada CAC (C2)

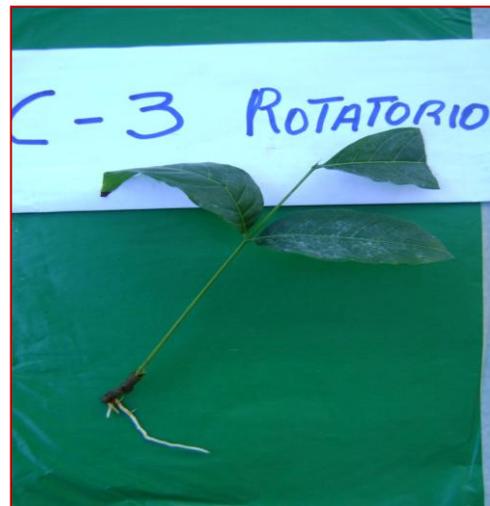


Foto 24. Estaca enraizada CAC (C3)



Foto 25. Estaca enraizada CAC (C4)