



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AGRARIA



UNIVERSITAT DE LLEIDA

FACULTAD DE RECURSOS  
NATURALES Y DEL AMBIENTE

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA AGRÓNOMA

## TRABAJO DE TESIS

---

***“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL BIOMÁSICO  
PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD PROCEDENTE  
DE RESIDUOS FORESTALES  
EN EL MUNICIPIO DE ROSITA, R.A.A.N.  
(NICARAGUA)”***

Elaborado por: David Poveda Alarcón

Asesores: Carlos Zelaya Martínez  
Serafín Filomeno Alves-Milho

Managua, Mayo de 2003

# ÍNDICE GENERAL

Capítulo	página
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1. LA ENERGÍA DE BIOMASA.....	5
2.1.1. Fuentes de biomasa.....	6
2.1.2. Algunas características de la biomasa.....	8
2.1.3. Aspectos ambientales.....	10
2.1.4. Ventajas y desventajas.....	12
2.1.5. Conceptos básicos de energía.....	14
2.1.6. Algunos Aspectos Técnicos de la Energía de Biomasa.....	15
2.2. SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN NICARAGUA.....	18
2.3. CARACTERIZACIÓN FORESTAL DE NICARAGUA.....	20
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
3.1.1. Localización geográfica, superficie y población.....	21
3.1.2. Características del medio físico.....	21
3.1.3. Descripción de la actividad forestal en el municipio.....	22
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO.....	22
3.2.1. Justificación de las mediciones.....	22
3.2.2. Medición de residuos producidos en la industria.....	23
3.2.3. Medición de los residuos generados en las actividades de explotación.....	29
3.2.4. Procesamiento de los datos obtenidos.....	32

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
4.1. RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA.....	37
4.1.1. Planta de Plywood.....	37
4.1.2. Aserrío.....	42
4.2. RESIDUOS GENERADOS EN EL CAMPO.....	46
4.2.1. Apeo de árboles.....	47
4.2.2. Residuos procedentes de daños a otros árboles.....	48
4.2.3. Residuos procedentes de la apertura de caminos y trochas de extracción.....	49
4.3. CONVERSIÓN A MATERIA SECA.....	53
4.4. CONVERSIÓN A ENERGÍA UTILIZABLE.....	55
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>página</b>
Tabla 1. Poder Calórico de Algunas Formas de Biomasa.....	16
Tabla 2. Conversiones de Unidades Métricas.....	33
Tabla 3. Pesos Asignados por Especie y Actividad para Volumen de Residuos.....	33
Tabla 4. Pesos Asignados por Especie y Tipo de Material para Contenido de Humedad.....	35
Tabla 5. Conversiones de Unidades Energéticas.....	36
Tabla 6. Residuos Generados Anualmente en Plywood.....	41
Tabla 7. Volumen de Tipos de Residuos en Plywood.....	41
Tabla 8. Residuos Generados Anualmente en Aserrío.....	45
Tabla 9. Volumen de Tipos de Residuos en Aserrío.....	46
Tabla 10. Resumen Actividad Forestal en Municipio de Rosita del Año 2002.....	51
Tabla 11. Resumen Volumen en Metros Cúbicos (m3) de Residuos Anuales.....	52
Tabla 12. Humedades por Especie y Tipo de Material.....	53
Tabla 13. Residuos Totales y Disponibles en Materia Seca.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>página</b>
Figura 1. Valor Calorífico en Función de la Humedad Relativa.....	17
Figura 2. Red Electrificación Nacional.....	19
Figura 3. Esquema de funcionamiento de la planta de Plywood.....	23
Figura 4. Esquema de funcionamiento del Aserrío.....	26
Figura 5. Composición de Residuos por Especie en Plywood.....	38
Figura 6. Composición por Troza en Plywood.....	38
Figura 7. Disponibilidad de Residuos por Especie en Plywood.....	39
Figura 8. Disponibilidad de Residuos por Troza en Plywood.....	40
Figura 9. Composición de Residuos por Especie en Aserrío.....	43
Figura 10. Composición por Troza en Aserrío.....	43
Figura 11. Disponibilidad de Residuos por Especie en Aserrío.....	44
Figura 12. Disponibilidad de Residuos por Troza en Aserrío.....	44
Figura 13. Composición de Residuos por Especie en Campo.....	47
Figura 14. Composición por Árbol en Campo.....	48
Figura 15. Volumen de Daños por Especie en Campo.....	49
Figura 16. Residuos Generados en la Apertura de 1Km de Caminos.....	50
Figura 17. Volumen de Residuos en Campo.....	51

A Paquito,  
que al final no pudo venir y me ha seguido con  
entusiasmo desde Cuenca, él fue quien me motivó  
a hacer este viaje

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Agraria, a la Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense, y a Proleña, como instituciones, por el gran apoyo y facilidades que me han brindado a la hora de elaborar este trabajo.

A la señora Elisa, a Teodora y a Ethel por su gran amabilidad y hospitalidad. A Carlos por su confianza y amistad.

A mi hermano y a Alicia, que en breve serán tres, por esas buenas noticias. A mi madre, que es la que más sufre y, a toda la gente que me ha ayudado en esos pequeños momentos.

## RESUMEN

Dada la problemática existente alrededor de la utilización de los combustibles fósiles y con la promoción e investigación de fuentes de energía alternativas, renovables y limpias, actualmente se está llevando a cabo en Nicaragua un estudio que pretende conocer el potencial de biomasa disponible para fines energéticos a nivel nacional, basado en una metodología de Zonificación Agroecológica (FAO, 1978) y utilizando herramientas SIG. Con el objetivo de contrastar con datos reales los resultados teóricos obtenidos en dicho estudio hemos estimado la cantidad de residuos forestales que se generan anualmente en el municipio de Rosita, situado en una de las zonas elegidas por el estudio nacional. En este municipio se concentra la mayor actividad forestal de la zona y además sufren problemas considerables de abastecimiento eléctrico.

Para la estimación de los residuos se han realizado mediciones en todas las actividades relacionadas con la explotación forestal, tanto en la extracción y transporte de la madera en el monte como en su procesado posterior en la industria. El análisis de los datos recogidos ha permitido concluir que el modelo teórico está sobreestimando del orden de 5 veces la cantidad de residuos forestales disponibles en la zona, y que en el municipio de Rosita existe un potencial de 1.025 MW, el cual podría utilizarse para obtener energía mediante un sistema de cogeneración y solucionar así los problemas ambientales y económicos que suponen estos residuos así como mejorar el servicio eléctrico del municipio.

## **ABSTRACT**

Due to the actual problems around using fossil fuels and thanks to the promotion and investigation about alternative, renewable and clean energy sources, nowadays there is in Nicaragua a study seeking to know the potential of available biomass for energetic use in all the country, based on the FAO Agroecologic Zonification and using SIG tools. For contrasting with real data the theoretical results obtained in this study we've considered the quantity of forest wastes generated annually in the municipality of Rosita, located in one of the selected areas by the national study. In this municipality is concentrated the main forest activity of the area and they also suffer considerable problems of electric supply.

For estimating the amount of forestry wastes we've carried out mensurations in all the activities related with the forest exploitation, both in the extraction and transport of the wood from forest, and in the later industry processing. The analysis of the collected data has allowed to conclude that the theoretical model is overestimating near 5 times the amount of available forestry wastes, and in these moments, in the municipality of Rosita a potential of 1.025 MW from these wastes exists, which could be used to obtain energy from a cogeneration system which could solve this way the environmental problems that suppose these wastes as well as improving the electric service of the municipality.

## I. INTRODUCCIÓN

La biomasa, sustancia orgánica renovable de origen animal o vegetal, era la fuente energética más importante para la humanidad y en ella se basaba la actividad manufacturera hasta el inicio de la revolución industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía primaria.

No obstante, en los últimos años el panorama energético mundial ha variado notablemente. El elevado costo de los combustibles fósiles y los avances técnicos que han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de la biomasa cada vez más eficientes, fiables y limpios, han causado que esta fuente de energía renovable se empiece a considerar por las industrias como una alternativa, total o parcial, a los combustibles fósiles.

Hoy en día, la energía de procedencia de combustibles fósiles, la energía procedente de la biomasa (principalmente combustión directa de madera), la energía hidráulica, y la energía nuclear satisfacen casi la totalidad de la demanda energética mundial, siendo el petróleo y el carbón las de mayor utilización, con un porcentaje que ronda el 75% (NOGUÉS, 2002).

La utilización de los recursos no renovables, además de su cercano y progresivo agotamiento, suponen un constante deterioro para el medio ambiente, que se manifiesta en emisiones de Dióxido de Carbono y óxidos de Nitrógeno y Azufre, con el agravamiento del efecto invernadero, que agrava el problema del calentamiento global, un aumento progresivo de la desertización y la erosión, una modificación de los mayores ecosistemas mundiales con la consecuente desaparición de biodiversidad, contaminación radioactiva y su riesgo potencial incalculable.

Estas agresiones van acompañadas del sobrecalentamiento de agua en costas y ríos generado por las centrales nucleares, la creación de depósitos de elementos radiactivos, y de una gran emisión de pequeñas partículas volátiles que provocan la lluvia ácida, agravando aún más la situación del entorno: parajes naturales defoliados, ciudades con altos índices de contaminación y afecciones a la salud de personas y animales.

Los problemas ambientales derivados del uso de estos combustibles así como el agotamiento de las reservas han servido de estímulo a muchos gobiernos para promover la investigación sobre fuentes de energía alternativas renovables y limpias, como por ejemplo, la solar, la eólica y la de biomasa.

Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala representan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales que utilizan combustibles fósiles, como el carbón, y productos derivados del petróleo.

Poseer un mapa nacional de biomasa potencial a nivel nacional contrastado con datos de campo puede ser una excelente herramienta de apoyo a futuros inversionistas del sector de las energías renovables.

Actualmente se está llevando a cabo un estudio que pretende estimar la cantidad de biomasa potencial para Bioenergía existente a nivel nacional para generación de electricidad. Los resultados teóricos que se tienen hasta ahora han sido obtenidos mediante la Metodología de la Zonificación Agroecológica (FAO, 1978), y utilizando herramientas SIG. Para cada zona agro-ecológica se calcula el rendimiento potencial de producción de biomasa por medio de la comparación entre los diferentes tipos de utilización de la tierra y sus requerimientos ambientales. Este potencial es un potencial teórico máximo, debido a la acción de fotosíntesis en el país sobre las diferentes ecosistemas terrestres. Estimando que la radiación solar promedio es de 5 kWh/m<sup>2</sup> por día. La biomasa real requiere de comprobación de campo, y de un proceso de optimización de la información considerando, el transporte a los centros de conversión, la demanda de biomasa para otros usos y consumo local, además de los factores socio económicos locales.

En dicho estudio se han escogido 4 áreas potenciales en todo el país para instalar plantas de generación eléctrica con biomasa. Una de estas zonas comprende el municipio

de Rosita, donde se ha estimado un potencial BIOMÁSICO aprovechable de 9.477 MW, obtenido haciendo un buffer de 5 Km desde los caminos en un radio de 50 Km a partir del municipio de Wasaking (lo cual supone un área de 3,955.93 Km<sup>2</sup>), situado a 11 Km al Sureste de Rosita, y suponiendo que los residuos en estas zonas estarán disponibles para sacarlos con bueyes.

El municipio de Rosita es el que posee una mayor actividad forestal en la región del triángulo minero (Siuna, Rosita, Bonanza), en la R.A.A.N. Esto lleva consigo una generación importante de residuos asociados a cada tipo de actividad, tanto en la extracción de la madera en el monte como en su procesado.

Estos residuos, en el caso de los que se quedan en el monte, suponen un aumento del riesgo de incendios en las épocas de peligro debido a la acumulación de combustible seco, que incrementan la combustibilidad de las masas así como su continuidad vertical. Además, la presencia de madera muerta en el suelo supone un grave riesgo sanitario, ya que la masa es mucho más susceptible al ataque de hongos, insectos...etc.

Los residuos generados en las plantas de primera y segunda transformación, básicamente consistentes en aserrín, ripios, corteza... suponen un serio problema medioambiental, ya que al no tener un uso definido, son quemados ineficientemente, provocando emisiones de gases invernadero a la atmósfera, o en otros casos arrojados a cauces fluviales, con las consecuencias negativas sobre la calidad de las aguas que esto implica.

Por otra parte, la población de los municipios de la zona enfrenta serias dificultades en servicios básicos de energía, ya que se encuentran fuera de la zona concesionada y no conectadas a la red nacional. Su abastecimiento depende únicamente de una planta Diesel de 0.9 MW, la cuál presta servicio una media de 10 horas al día. Además, el grave aislamiento geográfico que sufre la zona eleva la dificultad de abastecimiento de combustible, que tiene que llegar en camiones cisterna desde la costa Pacífico, a lo largo de carreteras sin pavimentar y prácticamente intransitables durante los meses de la estación lluviosa, lo que supone un incremento de los costos y un consiguiente incremento de las tarifas a los usuarios. Se estima que el precio del KWh en Rosita procedente de la planta Diesel, tiene un precio aproximado de 15 céntimos de US\$ (PRADA S.A, 2001).

Puesto que existe cierto interés por la empresa de transformación más importante de la zona en hacer una mejor gestión de sus residuos, el presente estudio puede servir de apoyo a la decisión sobre su utilización. Esta empresa, Prada S.A., se abastece energéticamente de dos generadores Diesel Caterpillar de 1,100 KW, de los cuáles para el funcionamiento de las instalaciones se utiliza el 50% de la energía generada por uno solo de ellos. De esta forma, la demanda media de la empresa es de unos 470 KW.

Con la instalación de este tipo de planta, se eliminarían de una sola vez los dos serios problemas comentados anteriormente, ya que se utilizarían eficientemente los residuos generados en el monte y en la industria de transformación para prestar un servicio energético de mayor calidad a la población circundante, ya que el servicio saldría más barato (una vez amortizada la inversión inicial), principalmente por el menor precio del biocombustible en comparación con el combustible fósil, y sería más fácil de conseguir y abastecer a la planta. Se cree que sin tener en cuenta la venta de los Créditos de Carbono, el precio del KWh se reduciría en 0.5 – 1 céntimo de US\$ (PRADA S.A., 2001)

El objetivo general del presente trabajo es el de recopilar los datos de campo necesarios para contrastar los resultados teóricos obtenidos en una de las zonas del estudio teórico a nivel nacional de biomasa aprovechable, concretamente los referentes a residuos derivados de la explotación forestal en el municipio de Rosita, en la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua.

Los objetivos específicos son:

- Realizar una estimación de la cantidad de residuos forestales que se generan en la principal planta de transformación del municipio de Rosita, a petición de la propia empresa, para servir de apoyo a la decisión sobre la futura gestión de sus residuos.
- Valorar la cantidad de residuos procedentes de las actividades de corta y extracción de madera en el municipio de Rosita.
- Obtener una aproximación de la cantidad de materia seca procedente de los dos puntos anteriores para conocer la cantidad de energía que podría obtenerse mediante la instalación de una planta de generación eléctrica a partir de biomasa.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LA ENERGÍA DE BIOMASA (BUN-CA, 2002)

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen.

### **2.1.1. Fuentes de biomasa (BUN-CA, 2002)**

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, caleras, secado de granos, etc.

#### *Plantaciones energéticas*

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Una granja típica, usualmente, sólo genera uno o dos productos de mayor valor comercial como maíz, café, leche o carne. El ingreso neto de ello es, a menudo, vulnerable a las fluctuaciones del mercado, al aumento del costo en los insumos, a las variaciones climáticas y a otros factores. Dado que las plantas de generación de energía requieren un suministro estable de combustible, los cultivos asociados a ellas pueden proveer un ingreso permanente a los granjeros que decidan diversificar su producción.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

### *Residuos Forestales*

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor como se muestra en la figura 5, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

### *Desechos agrícolas*

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%. Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía.

Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido. Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de "residuos húmedos" en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Esta práctica puede provocar una sobrefertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

### *Desechos industriales*

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

### *Desechos urbanos*

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericanos carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación. Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía "limpia".

En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

### **2.1.2. Algunas características de la biomasa (BUN-CA, 2002)**

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos que se explican a continuación, determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

#### *Tipo de biomasa*

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de

los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc.

### *Composición química y física*

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado "gas pobre", que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

### *Contenido de humedad (H.R.)*

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

### *Porcentaje de cenizas*

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

### *Poder calórico*

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

### *Densidad aparente*

Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso.

### *Recolección, transporte y manejo*

Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel

de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

### **2.1.3. Aspectos ambientales**

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales: puede contribuir a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero, reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua, reducir la presión provocada por la basura urbana, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y estabilidad de los ecosistemas.

#### *a. Cambio climático*

La actividad humana, principalmente el uso de combustibles fósiles, emite millones de toneladas de los denominados "gases de efecto invernadero" a la atmósfera. Estos incluyen el dióxido de carbono y el metano, entre otros, y contribuyen a modificar el clima global. El metano que escapa de los rellenos sanitarios y de las aguas residuales de procesos industriales, agrícolas y urbanos, puede ser minimizado al convertirlo en energía térmica, eléctrica o mecánica. Todas las cosechas, incluyendo las plantaciones energéticas, capturan carbono a través de las plantas mientras crecen, produciendo un balance natural de carbono en los suelos.

Cuando se quema biomasa, el dióxido de carbono liberado es absorbido por la siguiente cosecha en crecimiento; este se denomina un "ciclo cerrado de carbono". De hecho, la cantidad de carbono secuestrado puede ser mayor que la del liberado durante la combustión debido a que muchos de los cultivos energéticos son permanentes: al utilizar solo una parte de la planta las raíces, además de estabilizar los suelos, secuestran carbono en su regeneración año tras año.

#### *b. Lluvia ácida*

La lluvia ácida es causada, principalmente, por las emanaciones de sulfuro y óxido de nitrógeno de la combustión de hidrocarburos y causa la muerte de cultivos y la contaminación de las aguas; además de ser nocivo para la vida humana y silvestre. Dado que la biomasa no tiene contenido de sulfuro, su conversión en energía no produce lluvia ácida.

#### *c. Erosión de suelos y contaminación de agua*

Los cultivos y plantaciones energéticas ayudan a estabilizar los suelos, lo cual reduce la erosión y la pérdida de nutrientes. Los procesos de digestión anaeróbica reducen la contaminación del agua debido a que se usan desechos animales y agrícolas antes de que penetren en los suelos y lleguen a los ríos. La combustión de los desechos de aserrío puede evitar que el aserrín y las astillas producidas en los aserraderos contaminen los ríos que deben alimentar, luego, los procesos agrícolas aguas abajo.

#### *d. Contaminación por basura urbana*

El aprovechamiento de los residuos urbanos y agrícolas reduce el volumen de los rellenos sanitarios y la generación del gas metano. Esto permite convertir un producto contaminante en energía libre de emanaciones nocivas para el ambiente.

#### *e. Hábitat silvestre*

Los cultivos energéticos son hábitat de todo tipo de vida silvestre; por ejemplo los árboles ofrecen posibilidades para que la vida acuática florezca, al proveer sombra y estabilizar los cauces de ríos y las orillas de los lagos. Las plantaciones energéticas pueden ofrecer refugio para aves y otros animales, especialmente si son planificados apropiadamente; además, pueden ser un soporte vital para bosques centenarios que albergan hábitats no sustituibles.

#### **2.1.4. Ventajas y desventajas (BUN-CA, 2002)**

##### *Ventajas*

La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye a acelerar el calentamiento global; de hecho, permite reducir los niveles de dióxido de carbono y los residuos de los procesos de conversión, aumentando los contenidos de carbono de la biosfera.

La captura del metano de los desechos agrícolas y los rellenos sanitarios, y la sustitución de derivados del petróleo, ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.

Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan "lluvia ácida".

La combustión de biomasa produce menos ceniza que la de carbón mineral y puede usarse como insumo orgánico en los suelos.

La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

La biomasa es un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles.

En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo.

El uso de los recursos de biomasa puede incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Las plantaciones energéticas pueden reducir la contaminación del agua y la erosión de los suelos; así como a favorecer el mantenimiento de la biodiversidad.

### *Desventajas*

Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía.

La clave para este problema es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de biomasa, como aserraderos, ingenios azucareros y granjas, donde los desechos de aserrío, el bagazo de caña y las excretas de animales están presentes.

Su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases. Si se usa combustión a altas temperaturas, también se producen óxidos de nitrógeno. A escala doméstica, el impacto de estas emanaciones sobre la salud familiar es importante.

La producción y el procesamiento de la biomasa pueden requerir importantes insumos, como combustible para vehículos y fertilizantes, lo que da como resultado un balance energético reducido en el proceso de conversión.

Es necesario minimizar el uso de estos insumos y maximizar los procesos de recuperación de energía.

Aún no existe una plataforma económica y política generalizada para facilitar el desarrollo de las tecnologías de biomasa, en cuanto a impuestos, subsidios y políticas que cubren, por lo general, el uso de hidrocarburos.

Los precios de la energía no compensan los beneficios ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

El potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima.

### 2.1.5. Conceptos básicos de energía (BUN-CA, 2002)

#### *Eficiencia*

En todas las transformaciones de energía, se pierde una parte de ella debido a su conversión parcial en una forma que no se puede aprovechar, generalmente en calor. La fracción de la energía utilizable, como resultado de un proceso de conversión, y su insumo se llama la eficiencia del proceso, la cual, generalmente, se representa como un porcentaje. En fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = (\text{Egreso de Energía} / \text{Insumo de Energía}) \times 100$$

Cuanto más alta sea la eficiencia, menos energía se pierde.

#### *Potencia*

Este es un concepto muy relacionado con el de energía. Se define como la capacidad de suplir una cierta cantidad de energía durante un período de tiempo definido. Esto se ilustra así: cuando aplicamos un proceso de conversión de energía, estamos interesados en dos cosas:

- la cantidad de energía convertida, y
- la velocidad a cual se convierte. Esta velocidad se llama potencia (P), expresada como energía por segundo

Por ejemplo, un tanque de gasolina de un vehículo contiene una cantidad dada de energía. Este se puede usar en un cierto período de tiempo, o sea, el proceso de combustión puede ser corto o largo. Cuanto más corto el período, más alta es la potencia. Este principio aplica para cualquier proceso de conversión de energía.

Si bien en lenguaje común estos términos se intercambian frecuentemente, cuando se habla técnicamente sobre un sistema de generación o utilización de energía es importante distinguirlos bien.

#### *Unidades de medición*

Existen diferentes unidades aplicadas para la expresión cuantitativa de energía y potencia. La unidad científica y más usada para energía es el Joule (o julio, abreviado como J). Otras unidades usadas son, por ejemplo caloría, toneladas de carbón equivalente (TCe) y el British Thermal Unit (BTU). Existen factores específicos para convertir las diferentes unidades en otras.

La unidad para potencia es el Watt (o vatio, abreviado como W). Este es definido como 1 joule por segundo ("J/s"). Otra unidad que se usa frecuentemente es el caballo de fuerza (HP). Un Joule y un Watt son medidas muy pequeñas comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por eso, se usan múltiplos de 1.000; por ejemplo, 1.000 watt es equivalente a 1 kilowatt o 1 kW.

Adicionalmente, se pueden agregar índices a una unidad para indicar la forma de energía o potencia. Por ejemplo, para la potencia de un equipo de convertir energía térmica se usa kWth. Igualmente, la potencia eléctrica se indica como kWel y, la potencia mecánica como kWm.

#### *Factor de capacidad (factor de planta)*

El factor de capacidad, o de planta, es un indicador para medir la productividad de una planta de generación eléctrica como, por ejemplo, una turbina eólica o un sistema hidroeléctrico. Este indicador compara su producción real, durante un período dado, con la cantidad que se habría producido si hubiese funcionado a plena capacidad en el mismo tiempo. En fórmula:

$$\text{Factor de Capacidad} = (\text{Producción real} / \text{Producción teórica}) \times 100$$

Por ejemplo, un sistema de 1 kW, teóricamente, podría generar 8.760 kWh en un año. Sin embargo, la planta no puede funcionar el 100% del tiempo, por razones de mantenimiento periódico, fallas técnicas o falta de combustible ó recurso renovable. Si la producción real de esta planta en un año dado fue de 6.000 kWh; entonces, el factor de capacidad para ese período sería de 68,5%.

### **2.1.6. Algunos Aspectos Técnicos de la Energía de Biomasa (BUN-CA, 2002)**

#### *Composición química*

Todas las formas de biomasa consisten en una parte orgánica, una inorgánica y agua. En la combustión se quema la parte orgánica. La inorgánica influye en el proceso de combustión y forma la ceniza o residuo sólido que queda después de la combustión.

Los elementos químicos más importantes son carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), y azufre (S) y, en algunos casos, cloro (Cl). Además, contiene oxígeno (O), lo cual no se determina directamente, sino que se calcula como diferencia entre el peso total y la suma de los otros elementos, más la ceniza.

### Valor calorífico

Todas las formas de biomasa tienen un valor calorífico, el cual se expresa como la cantidad de energía por unidad física; por ejemplo, joule por kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente. El valor calorífico se puede anotar de dos formas diferentes: bruto y neto. El bruto se define como la cantidad total de energía que se liberaría vía combustión, dividido por el peso. El neto es la cantidad de energía disponible después de la evaporación del agua en la biomasa; es decir, es la cantidad de energía realmente aprovechable, y siempre es menor que el valor calorífico bruto.

Para madera completamente seca, la cantidad de energía por unidad de peso es más o menos igual para todas las especies, con un promedio de valor calorífico bruto de 20 MJ/kg para madera de tronco. Los valores pueden variar ligeramente de este promedio, según el contenido de ceniza: para ramas pequeñas, tienden a ser más bajos y más variables. Sin embargo, en la práctica, la humedad relativa es el factor más importante que determina el valor calorífico. En la Tabla 1 se indican valores caloríficos de algunas formas de biomasa

Tipo de Biomasa	Valor Calorífico Bruto (MJ/Kg)
Madera	
Astillas de Madera	20.30
Corteza de Pino	20.96
Desechos Industriales de Madera	19.00
Aserrín	19.34
Sub - Productos Agrícolas	
Paja de Trigo	18.94
Caña	19.08
Bagazo	19.09
Cascarilla de Arroz	15.58

Tabla 1. Poder Calórico de Algunas Formas de Biomasa.

Fuente: RWEDP (2002)

### Contenido de humedad

El contenido de humedad, o humedad relativa, se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso. Para combustibles de biomasa, este es el factor más crítico, pues determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando se quema la biomasa, primero se necesita evaporar

el agua antes de que el calor esté disponible; por eso, cuanto más alto el contenido de humedad, menos el valor calorífico.

Todos los combustibles contienen una cantidad de agua, pero, para la biomasa, los niveles pueden ser altos; esto afecta el valor calorífico y el proceso de combustión. El contenido de humedad puede variar dependiendo del tipo de biomasa, el tiempo entre su cosecha y su uso y la humedad atmosférica. Después de haberla cosechado, paulatinamente ésta perderá la humedad hasta que se establezca un equilibrio con el ambiente. El valor de la humedad se puede indicar según sea en base seca o en base húmeda: en base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje.

El contenido de humedad en base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material. El valor en base húmeda siempre es más bajo que en base seca, por lo que es muy importante indicar el método aplicado.

La figura 1 muestra la variación del valor calorífico para diferentes cifras del contenido de humedad.

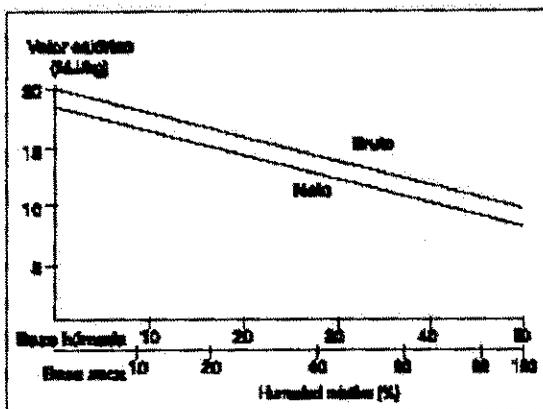


Figura 1. Valor Calorífico en Función de la Humedad Relativa

Fuente: Leach and Gowen, 1987

## 2.2. SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN NICARAGUA

En 1990, el 60% de la energía eléctrica producida en Nicaragua era generada por plantas geotérmicas e hidroeléctricas que aprovechaban fuentes renovables de energía. Menos del 40% de la electricidad consumida era generada por la combustión de petróleo y sus derivados. Esto permitió que los precios de la electricidad gozaran de cierta autonomía con respecto a los precios del petróleo.

La situación ha cambiado radicalmente hoy en día. En 1998, la producción nacional de electricidad se incrementó un 39% con respecto a 1990. El 77% de la electricidad fue producida con combustibles fósiles (derivados de petróleo y gas). La generación hidroeléctrica y geotérmica aporta actualmente sólo el 22% del total generado en el país. Esto ha incrementado la factura petrolera de Nicaragua, lo que hace que el sector eléctrico y la economía en general sean más susceptibles a los vaivenes en los precios del crudo. Las tarifas eléctricas mostraron incrementos hasta del 21.8% durante 1998, equivalentes a un 1.5% mensual en el sector residencial (PNUD, 2000).

La privatización del sector eléctrico ha permitido que las compras de energía eléctrica por parte del Estado se incrementen de 2.1 millones de US\$ en 1990 a casi 19 millones de US\$ en 1998. Las principales compras se realizaron a nuevos suplidores nacionales que usan principalmente plantas térmicas consumidoras de bunker.

Paradójicamente, el país cuenta con enormes potenciales para generar energías limpias. El potencial fotovoltaico, eólico e hidroeléctrico de Nicaragua se estima en más de 7,000 MW (en 1998 se generaron unos 2,000 MW en Nicaragua), lo cual podría satisfacer a mediano y largo plazo las necesidades del desarrollo nacional, llevando la electricidad a toda la población nicaragüense (PNUD, 2000).

### *La energía primaria*

En Nicaragua, históricamente la producción de energía primaria ha estado constituida básicamente por Hidroenergía, Geoenergía y Biomasa (principalmente Leña y Residuos Vegetales).

La principal fuente de energía primaria en Nicaragua es la Biomasa, en el año 2000 los porcentajes de producción de energía primaria por fuente fueron los siguientes: 83.1% de

leña, 16.9% de residuos vegetales, 8.7% de Geoenergía finalmente el 3% de Hidroenergía (CNE, 2003).

Durante el año 2000 la producción de energía primaria fue superior en un 4.2% con relación a 1999. Este aumento se atribuye en primer lugar al incremento obtenido en la Geoenergía, y en segundo lugar, por los residuos vegetales.

### La energía secundaria

En el año 2000 en la Energía Secundaria se dio un crecimiento del 16.6% resultado de un mayor consumo de energía secundaria (diesel y fuel oil) en las centrales termoeléctricas para la generación de electricidad. Para este año los derivados del petróleo representaron el 79.7% , seguido por la energía eléctrica con el 18.6% y el 1.6% restante pertenecientes al carbón vegetal. (CNE, 2003)

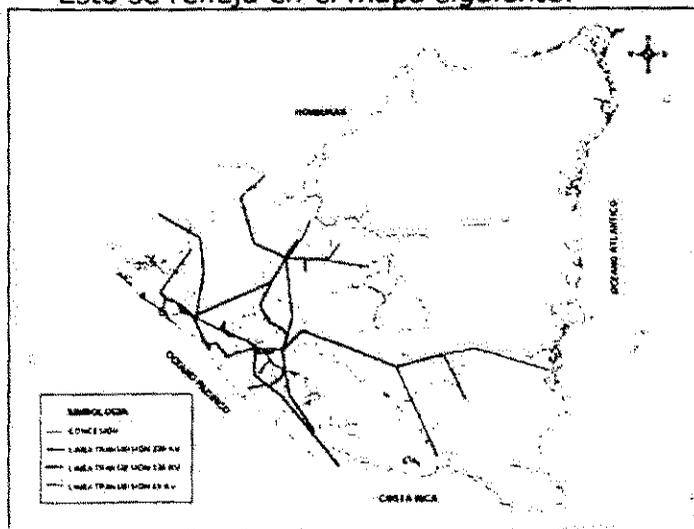
La energía secundaria que se obtuvo en los centros de transformación a partir de fuentes primarias, el total obtenido le correspondió a los derivados de petróleo el 94.4%, electricidad el 3.7% y por último carbón vegetal con el 1.9%.

Respecto a la generación bruta de energía eléctrica del sistema eléctrico a nivel nacional (público y privado) para el año 2000 las fuentes fueron: 81% térmica, 9% hidroeléctrica 6% geotérmica y 4% de auto-productores (térmica).

### La red de energía eléctrica

En Nicaragua, las redes de energía eléctrica llegan casi exclusivamente a la parte suroeste del país, la cual es el área concesionada, ver figura 2.

Esto se refleja en el mapa siguiente:



El índice de electrificación nacional no llega ni al 50%, sin embargo, la meta de electrificación nacional para el 2005 es del 70%.

Figura 2. Red Electrificación Nacional  
Fuente: CNE, 2003

### **2.3. CARACTERIZACIÓN FORESTAL DE NICARAGUA**

Nicaragua, a diferencia de otros países centroamericanos, todavía tiene áreas de bosques naturales.

De los 12 millones de hectáreas de todo el territorio, el 44% de los suelos tienen potencial forestal, es decir, 5.3 millones de hectáreas. Otras 3.5 millones tienen vocación agrosilvopastoril. En total existen 8.8 millones de hectáreas con un gran potencial para actividades potenciales, lo que equivale en total al 73% del territorio nacional.

Actualmente 5.2 millones de hectáreas (43%) del territorio nacional corresponde a agricultura y pastos; 2.1 millones de hectáreas a áreas protegidas (17.4%); 500,000 hectáreas tienen otros usos. En cuanto a los recursos forestales, 3.2 millones de hectáreas (27%) corresponden a bosques y barbechos forestales, de éstos, 1.4 millones de hectáreas corresponden a bosques latifoliados cerrados; 1.18 millones a bosques latifoliados abiertos; 397,000 hectáreas a bosque de pino abierto; 57,000 hectáreas a bosque de pino cerrado y 150,000 hectáreas a barbecho forestal (MAGFOR, 2002).

De acuerdo a los estudios realizados sobre el uso potencial y uso actual del suelo, un 53% del suelo tiene uso adecuado, sin embargo existe un 31% equivalente a 3.9 millones de hectáreas, que de acuerdo a su uso potencial está siendo sobreutilizado, y en su mayoría corresponde a suelos de vocación forestal (FAO, 1998).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Breve descripción del área de estudio**

##### **3.1.1. Localización geográfica, superficie y población**

El presente estudio se localiza en el término municipal de Rosita, en la parte central de la Región Autónoma Atlántico Norte de Nicaragua, ubicado entre las coordenadas 13° 55' de latitud Norte y 84° 24' de longitud Oeste (Ver Mapa 1, Anexo IV).

La extensión total del municipio es de 2,233.95 Km<sup>2</sup>. Su población es de 17,814 habitantes (INEC, 2000), con una densidad poblacional de 8 Hab/Km<sup>2</sup>. De esta población, 10,025 personas forman la población rural y 7,789 se concentra en las zonas urbanas. Esta población es mayoritariamente mestiza, aunque existen diversas etnias con alrededor de 6,000 personas. De la población total, 76.89% son mestizos, 17% Miskitos, 3.53% Mayagnas y 2.58% Creoles (GOB-RAAN, 1999). Un 81.2% de la población vive en condiciones de Pobreza Extrema, el 14.9% son Pobres y solamente el 3.9% son población No Pobre (SAS, 1999).

##### **3.1.2. Características del medio físico**

La zona de vida del Dr. L.R. Holdridge, clasifica el área boscosa dentro de la formación de Bosque muy Húmedo Subtropical Cálido (BMH-SC), y siguiendo el sistema de Koppen, se clasifica como Zona Tropical Lluviosa con un periodo seco muy corto.

##### *Clima y precipitaciones*

La zona bajo estudio se encuentra dentro de la clasificación de clima subtropical, donde la variabilidad de precipitación y temperaturas inciden directamente en la diversidad florística de la Zona. La temperatura en esta zona varía entre 24° a 27°; sin embargo en época seca alcanza temperaturas máximas de 38°. La precipitación promedio de la zona oscila entre 2300 hasta 3500 mm/año, concentrándose mayormente en los meses de Mayo a Enero. La estación seca se extiende mayormente en los meses de Febrero, Marzo y Abril. La humedad relativa es bastante alta, variando entre aproximadamente el 55% en época seca y el 95% en época lluviosa.

### *Descripción de la vegetación*

Según el Dr. J.B. Salas las clasifica como bosque perennifolio de zonas moderadamente frescas muy húmedas (pluvioselva de bajura). La superficie forestal comprende 1,893.98 Km<sup>2</sup>, de los cuales 1,622.89 Km<sup>2</sup> están formados por Bosque Latifoliado Cerrado, 256,13 Km<sup>2</sup> pertenecen a Bosque Latifoliado Abierto y 14.96 Km<sup>2</sup> son pinares (Ver Mapa 2, Anexo IV).

### **3.1.3. Descripción de la actividad forestal en el municipio**

En el área de estudio la explotación forestal está claramente dominada por la empresa Prada S.A., que posee una planta de Plywood y un Aserrío. La planta de Plywood presenta una producción media anual de 12,000 m<sup>3</sup> de producto final, que se comercializa en un 80% en los mercados Internacionales de Guatemala , Estados Unidos y Cuba, y el 20% restante se vende en el mercado nacional. El Aserrío tiene una producción menor, del orden de 4,800 m<sup>3</sup> de tablas (PRADA, 2003).

Para tener una visión de la actividad extractiva se puede decir que del total de madera que se corta en el municipio de Rosita, el 50% sale a Puerto Cabezas, donde se procesa y se envía al mercado internacional, un 40% es procesada en Prada S.A. y el resto se divide entre las pequeñas industrias locales (URACCAN, 2003).

## **3.2. Diseño metodológico**

### **3.2.1 Justificación de las mediciones**

Las muestras de residuos en la industria se han tomado en las instalaciones de la empresa Prada S.A. en Rosita, ya que es donde se realiza el 80% del procesamiento de la madera en todo el municipio. Este hecho da una representatividad muy buena a los datos obtenidos.

Para el caso de las muestras de residuos procedentes de la explotación forestal en el campo, se ha elegido una de las zonas que actualmente está explotando dicha empresa, ubicada en un tipo de bosque clasificado como Bosque Latifoliado Cerrado, que representa un 85.7% del territorio forestal en el municipio. Así, también en este caso la muestra es suficientemente representativa.

Las mediciones realizadas según actividad se detallan a continuación:

### 3.2.2. Medición de residuos producidos en la industria

#### Planta de Plywood o Contrachapado

La planta de plywood estudiada, como ya se ha comentado antes, presenta una capacidad de producción anual de 12,000 m<sup>3</sup> de tableros de contrachapado. Prada S.A. utiliza 12 especies arbóreas para su producción de plywood, de las cuales solamente el Cedro macho (*Carapa guianensis*), la Ceiba (*Ceiba pentandra*), la Mora (*Chlorophora tinctoria*) y el Sebo (*Virola sebifera*) suponen el 81.4% del total (Ver Tabla 5, Anexo I).

A modo de esquema, el proceso de obtención de Plywood se puede apreciar en la Figura 3:

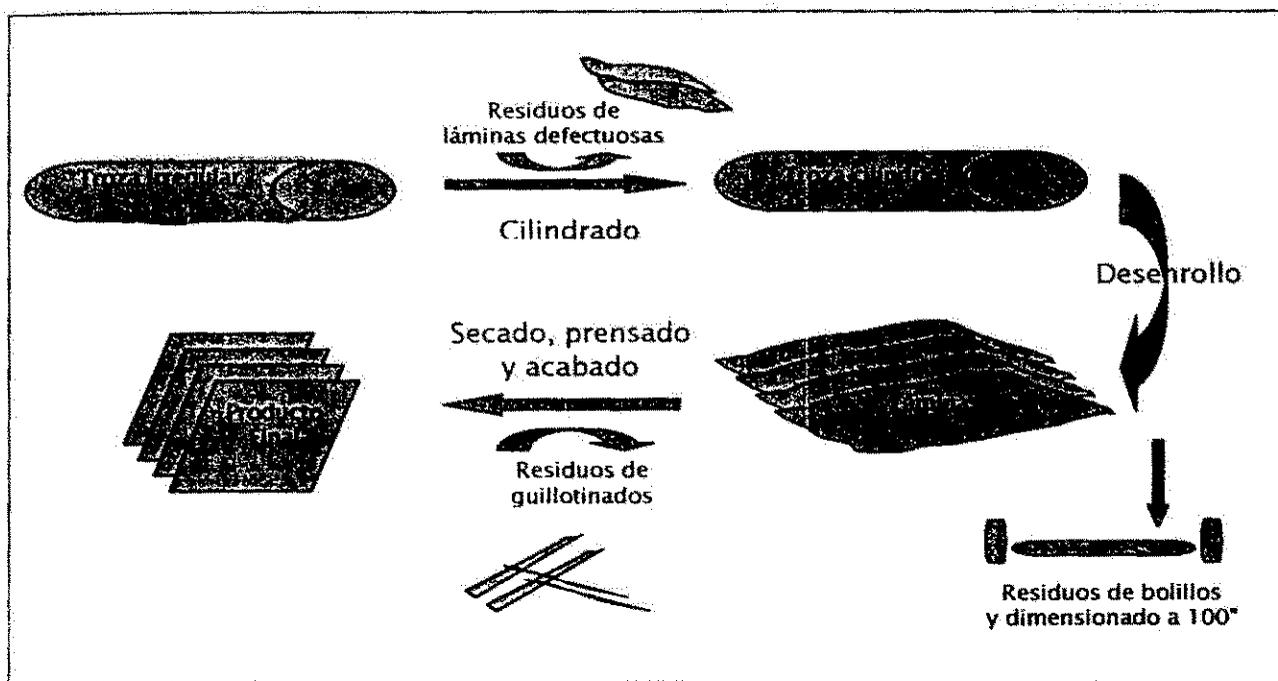


Figura 3. Esquema de funcionamiento de la planta de Plywood.

David Poveda, Rosita, 2003

El proceso de producción comienza cuando la troza entra al torno de desenrollo, previo corte y descortezado, donde una cuchilla longitudinal la corta en una capa continua de unos pocos milímetros de grosor. Los primeros giros de la troza en el torno se denominan cilindrado, donde la cuchilla corrige las irregularidades del fuste para darle una forma cilíndrica perfecta.

Durante el tiempo que la troza está girando en el torno, se realiza el primer dimensionamiento, donde la lámina queda con un ancho de 100" (2.54m) y con lo cuál se genera otro residuo. Cuando la lámina comienza a salir se separan los segmentos que no son continuos (proceso que se denomina guillotinado) para posteriormente volverlos a unir utilizando cola, estas láminas se utilizarán para relleno. Los segmentos que son defectuosos se desechan y se envían al vertedero a través de una cinta transportadora. El siguiente paso es el secado de las láminas que han ido preparándose en rollos, de distinta especie según el producto final deseado, el cual se lleva a cabo en dos secadoras; una de rodillos para rellenos o interiores y una de malla para las caras, donde a una temperatura aproximada de 140°C se llevan a una humedad del 6 al 8% los primeros y al 12% las segundas.

Tras el secado se realiza otro guillotinado y juntado manual para sanear, tras lo cual se procede al armado de las capas, donde según el tipo y el grosor del plywood a obtener se utilizan más o menos capas con unas u otras especies. Para el armado se utiliza una goma a partir de formaldehído, harina, agua y un catalizador para endurecimiento. Posteriormente se realiza un primer prensado mecánico, sin utilizar calor, para después prensar en caliente para cristalizar y terminar de endurecer el pegamento

El proceso finaliza con el acabado, el cual consta de varias partes; en primer lugar se utilizan unas sierras cuadradoras que realizan unos cortes longitudinales y transversales para cantear el plywood y darle la dimensión final. Para reparar pequeñas grietas o defectos, se utiliza una masilla a base de aserrín, agua y resina, la cual se aplica manualmente. El lijado y la asignación de la calidad conforman el último paso tras el cual el producto final se embala y se guarda en la bodega para ser posteriormente comercializado.

Visto el proceso, se puede apreciar a primera vista que hacer un seguimiento individualizado de los residuos generados por cada troza es imposible, ya que a partir del desarrollo, las diferentes especies de madera se mezclan sucesivamente para la obtención del producto final. Sin embargo, se conoce que el rendimiento medio de la planta, a través de los datos internos de producción de la empresa, es de un 65%, por lo que podemos conocer la cantidad total de residuos que se generan dado un volumen de madera entrante determinado.

Por esta razón, las mediciones se realizaron durante un turno completo de producción de 8 horas para estimar adecuadamente la cantidad de residuos generados. Se midieron 3 especies; Cedro macho (*Carapa guianensis*), Ceiba (*Ceiba pentandra*) y Sebo (*Virola sebifera*), con las cuales se trabajó durante todo el día de medición. Estas 3 especies suponen un 73.29% del total en volumen, por lo que son perfectamente representativas al nivel que estamos tratando. Con el volumen obtenido en todo un día de producción se estima la cantidad anual sabiendo la producción media.

En primer lugar se medían las trozas inmediatamente antes de entrar al torno, es decir, cuando eran traídas por la máquina y se disponían en el orden de entrada. Entonces se anotaba la especie, la longitud de la troza, su diámetro en ambos extremos (sin contar la corteza) y el espesor de corteza.

El formato de tabla que se ha utilizado para tomar 'in situ' las mediciones explicadas anteriormente se puede ver en la Tabla 1 del Anexo I.

Tras estas mediciones iniciales, y cuando la troza comenzaba a girar en el torno, se separaban los residuos del cilindrado, en forma de láminas, desde la cinta transportadora que los llevaba al vertedero para ser pesados inmediatamente. El residuo correspondiente al residuo de dimensionado a 100" se ha estimado simplemente restando 100" a la dimensión inicial de la troza y calculando el volumen resultante.

Al finalizar el proceso de cada troza medíamos el bolillo final, su longitud y su diámetro.

Hasta aquí era posible realizar un seguimiento troza por troza, por lo que los resultados se pueden referir directamente, pero en el resto del proceso los residuos pertenecen a trozas diferentes sin posibilidad de separarlas. Así, y sabiendo las trozas que entraron, se estima convenientemente la cantidad del resto de residuos, clasificados como guillotizados, los cuales constan de los residuos de los dos primeros guillotizados .

Las mediciones de longitud se realizaron con una cinta metálica auto enrollable de 5m y las de peso se han realizado con una balanza de plataforma con capacidad para pesar hasta 200 lbs (90 Kg).

## Aserrió

El aserrió estudiado, presenta una producción media anual de 4,800 m<sup>3</sup> de tablas de aserradas. Como se puede apreciar en la Tabla 5 del Anexo I, Prada S.A. utiliza 23 especies arbóreas para su producción de tablas aserradas, de las cuales solamente el Nacintón (*Hyeronima alchorneoides*), el Guapinol (*Hymenaea courbaril*) y la María (*Calophyllum brasiliense* var. *Rekoi*) suponen el 64.93% del total.

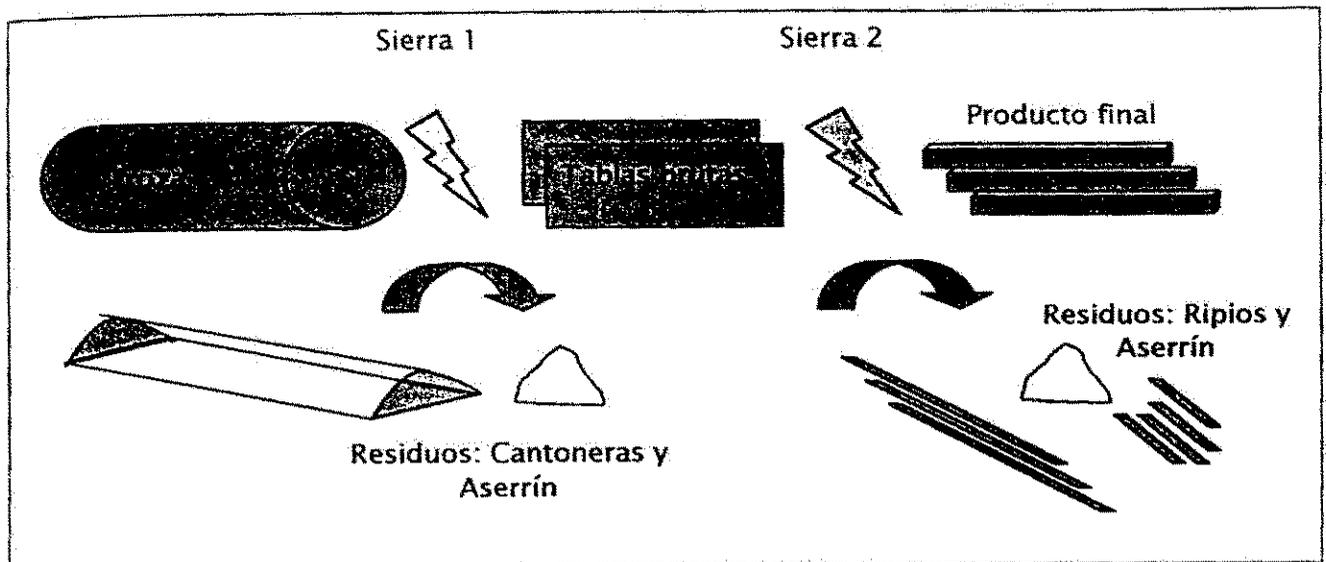


Figura 4. Esquema de funcionamiento del Aserrió

David Poveda, Rosita, 2003

El proceso por el que pasa la madera (ver esquema Figura 4) desde que entra al aserradero hasta que sale en forma de tablas comienza en la sierra de banda, por donde se hace pasar la troza sucesivas veces mediante retorno manual, la cual se ha anclado previamente al carro móvil. Después de los primeros cortes, y cuando ya la troza tiene una cara, se cambia de posición y se asienta por esta cara. En esta posición se mantiene hasta los últimos cortes.

Con este proceso, los primeros cortes dan como resultado las cantoneras, es decir, las tablas obtenidas de la parte exterior del fuste, con la forma curva en una de sus caras y con la corteza.

El siguiente paso comienza con la segunda sierra, esta vez de disco y de menores dimensiones, en la cual se dan forma a los tablonces procedentes de la primera y se ajustan a las dimensiones establecidas. En esta sierra también se efectúan varios cortes a

cada tabla, con retorno también manual. Así, se dimensiona cada tabla y se envía al último paso, que es el de depuración mediante recorte de las partes defectuosas con una sierra de disco de pequeñas dimensiones. Al final, un operario anota la cantidad de tablas, sus dimensiones y su volumen en pies tablares para cada troza de cada especie.

De estos últimos dos procesos se obtienen trozos de madera que no entran dentro de la producción, llamados ripios y formados por las partes externas de los cortes, las que tienen corteza, partes defectuosas...etc.

El aserradero cuenta con un sistema de recogida de aserrín para cada una de las dos sierras principales, consistente en una pequeña plataforma captadora situada bajo la sierra desde la cual sale una cinta transportadora que lleva el aserrín a unos depósitos de madera destinados a tal fin, con una capacidad aproximada de 2 m<sup>3</sup>.

Tras analizar el proceso se observa que las mediciones en este caso se pueden realizar troza por troza, desde el principio hasta el final del proceso, por lo que se decidió realizar las mediciones sobre 3 muestras de 5 especies diferentes, coincidentes con las especies procesadas durante el día de trabajo elegido.

Las mediciones se realizaron a lo largo de todo un día, eligiendo las trozas que iban a ser medidas. No se tomaron más muestras ya que nuestra presencia y requerimientos a la hora de realizar las mediciones dificultaba el trabajo de los operarios, y consecuentemente se reducía la producción. Por todo esto se midieron las siguientes 5 especies; Nancitón (*Hyeronima alchorneoides*), Guapinol (*Hymenaea courbaril*), María (*Calophyllum brasiliense* var *Rekoi*), Mora (*Chlorophora tinctoria*) y Quebracho (*Pithecellobium arboreum*). En el caso de la Mora, aunque es una especie más utilizada para plywood, también se utiliza en ocasiones para aserrío, por lo que se contabilizó en este segundo uso, ya que en los días de mediciones se trabajó de esta forma.

Estas 5 especies suponen (sin contar la Mora) un 67.02% del total en volumen, por lo que también son representativas al nivel que estamos tratando. De esta forma, el volumen obtenido se extrapola a la producción anual conocida para estimar la cantidad anual de residuos.

Para realizar las mediciones, se determinó que se medirían únicamente los ripios y el aserrín, dejando las cantoneras para su estimación posterior mediante resta, ya que se

trataba de grandes trozos de madera muy difíciles de manejar incluso entre dos personas. Puesto que en la tercera sierra, la más pequeña, no existía sistema de captación de aserrín, la medición era muy complicada a la vez que poco necesaria por su poca representatividad, y no se llevó a cabo.

En primer lugar se medían las trozas inmediatamente antes de entrar al carro de la primera sierra, es decir, cuando eran traídas por la máquina y se disponían en el orden de entrada. Entonces se anotaba la especie, la longitud de la troza, su diámetro en ambos extremos (sin contar la corteza) y el espesor de corteza.

Tras estas mediciones iniciales, se disponía el sistema para la recolección de los datos durante el aserrado, que constaba de los siguientes pasos: en la sierra 1, al final de la cinta transportadora se colocaba un saco que recogía el aserrín producido, pesándose inmediatamente después de finalizar el proceso de cada troza. Las cantoneras, como ya hemos dicho, no se medían. En la sierra 2 se procedía con el aserrín exactamente igual que en la anterior, y además se recogían manualmente los ripios producidos y mediante varias pesadas se calculaba su peso total por troza. En la sierra 3, sin captación de aserrín, no se pesaron los ripios, pero se pueden calcular fácilmente ya que el operario que anota la producción anota un volumen bruto y un volumen neto para cada troza, es decir, anota tabla por tabla el volumen obtenido hasta la segunda sierra (volumen bruto) y seguidamente anota el volumen final tabla por tabla de cada troza (volumen neto), por lo que la cantidad, en volumen, de ripios producidos en este último paso simplemente se obtiene por resta de ambos volúmenes.

En la Tabla 3 del Anexo I se presenta el formato de tabla que se ha utilizado para tomar 'in situ' las mediciones explicadas anteriormente es el siguiente:

Las mediciones de longitud se realizaron con una cinta metálica auto enrollable de 5m y las de peso se han realizado con una balanza romana de plataforma con capacidad para 110 Kg. Las pesadas de ripios teníamos que hacerlas en varias veces debido a su elevado peso.

### **3.2.3. Medición de los residuos generados en las actividades de explotación**

#### *Actividades de corta de árboles*

El método de manejo que se implementa mayoritariamente en la zona de estudio es el Sistema Silvicultural Policíclico, o entresaca, en el cual se ejecutan varias cortas dentro del turno de madurez del bosque. Este sistema se ajusta exactamente a la distribución diamétrica de *Jota invertida* típica de los bosques primarios tropicales. El ciclo de corta varía según planes de manejo entre 25 y 30 años.

El procedimiento por el cuál se lleva a cabo la corta y desembosque de los árboles previamente inventariados y marcados se realiza por dos operarios, siendo uno de ellos el motoserrista y el segundo el ayudante. Estos se introducen a pie en el bosque con las referencias e indicaciones que aparecen en el Plan Operativo Anual (POA) incluido o no en el Plan de Manejo General. En el bosque se han creado previamente, en las operaciones de inventariación y marcajeo, unos bloques y unas fajas de actuación, que son las que sirven a los operarios para la orientación sobre el terreno y para el conocimiento de los árboles que deben apearse. Cada uno de los árboles marcados está numerado, ubicado dentro de un bloque y faja, e incluido en la relación del POA, donde hay información referente a su diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal, altura comercial y volumen comercial estimado mediante unos factores de forma.

Los operarios, utilizando gracias a una reciente capacitación, unos métodos de tala dirigida, que permiten realizar unos cortes más eficientes con el objetivo de aprovechar una mayor parte del fuste, apean los árboles para seguidamente hacer un corte allí donde el fuste posee alguna bifurcación o deformidad importante y pierde su valor comercial. En ocasiones, y cuando existe alguna rama de muy grandes dimensiones, y es fácilmente accesible, también la cortan para ser arrastrada posteriormente por el Skidder.

Esto implica que prácticamente la totalidad de la copa de cada árbol que se derriba, a partir de la primera bifurcación, se queda en el bosque sin aprovechamiento alguno. En muchas ocasiones, se quedan en el monte ramas que superan ampliamente los 50 cm de diámetro, y que podrían ser utilizadas para muchos otros usos, principalmente, y en el caso que nos ocupa, para la generación de electricidad.

Además, cuando un árbol de las dimensiones que estamos tratando es derribado, derriba a su paso a varios otros árboles más pequeños, algunos de los cuales poseen unas dimensiones importantes.

Para representar los residuos que se generan en el bosque hemos elegido 5 especies, las cuáles suponen un 70% de las especies extraídas en el municipio durante el año 2002 (Ver Gráfico 1 del Anexo III, extracción por especies), de las cuales se han realizado mediciones sobre 4 árboles apeados de cada una.

Así, y sabiendo que como media se apean 3 árboles por Hectárea (URACCAN, 2003), se han obtenido las muestras sobre un equivalente a unas 7 Ha de bosque. Posteriormente, y sabiendo la cantidad de Hectáreas explotadas y los volúmenes extraídos se puede estimar la cantidad total de residuos por unidad de superficie en el municipio.

Las especies elegidas son: Cedro macho (*Carapa guianensis*), Nancintón (*Hyeronima alchorneoides*), Ceiba (*Ceiba pentandra*), María (*Calophyllum brasiliense* var. *Rekoi*) y Guapinol (*Hymenaea courbari*), las cuales suponen aproximadamente un 70% de las especies extraídas en la zona en el año 2002 (Ver Anexo III).

Con todo esto, y tras observar los procedimientos de corta 'in situ', decidimos realizar las mediciones a la vez que los operarios apeaban los árboles, hecho que facilitaba mucho la asociación de cada residuo a cada árbol. En primer lugar se medían las dimensiones del fuste comercial, con su longitud y sus diámetros inicial y final, también se medían las ramas comerciales, en el caso de existir, con las mismas mediciones. Posteriormente se procedía a la medición de las ramas de la copa, la cual se realizaba midiendo rama por rama, y entre bifurcación y bifurcación, y estableciendo un límite para el diámetro inicial de 20 cm. Las ramas con un diámetro entre 10 y 20 cm se estimaban visualmente ya que resultaba prácticamente imposible medirlas, por su elevada cantidad y por su difícil accesibilidad. Las ramas con un diámetro inicial inferior a 10 cm y el follaje no se han tenido en cuenta ya que se trata de biomasa rápidamente descomponible y que retorna al suelo una gran cantidad de nutrientes, además de ser una biomasa cuya extracción es sumamente complicada.

Otra parte de las mediciones asociadas a la corta de árboles la forman los daños creados por la caída del pie apeado. Para este caso se han medido únicamente las dimensiones de su fuste, es decir, longitud y diámetros inicial y final (solamente diámetros iniciales mayores de 20 cm)

También hay que mencionar que para el caso de los pies de Cedro macho (*Carapa guianensis*) y de Ceiba (*Ceiba pentandra*), dada su importancia en relación con el

volumen total de madera cortada, se han medido los aletones o contrafuertes de la base de sus troncos, los cuales también se dejan en el monte como residuo, y poseen en muchos casos unas dimensiones considerables.

El formato de tabla que se ha utilizado para tomar 'in situ' las mediciones explicadas anteriormente se adjunta en el Anexo I, Tabla 6

Las mediciones de longitud de los fustes se realizaron con una cinta métrica de 50m y las de las ramas y aletones con una cinta métrica metálica auto enrollable de 5m. Las ramas menores de 20cm de diámetro se estimaron visualmente, haciendo un conteo aproximado de la cantidad de trozos de rama de 1m de longitud.

#### *Pistas de acceso*

Obviamente resulta necesaria la apertura de vías de acceso en el monte que se esté explotando, ya que ha de penetrar en él la maquinaria necesaria para los trabajos y el transporte, así como de trochas de extracción a través de las cuales se accede con los Skidder al lugar mismo donde se han apeado los árboles para su extracción a los patios de acopio o patios de montaña.

En la apertura de estas vías de comunicación se emplean maquinarias pesadas con palas frontales, del tipo Bulldozer o Angledozer, las cuales simplemente avanzan por el bosque derribando todos los árboles a su paso, principalmente en los caminos principales (de 4-5m útiles de ancho de rodadura). Todo el material vegetal derribado en estas operaciones se aparta a un lado de los caminos y queda abandonado, hasta que el resto de vegetación los coloniza y se descomponen. En las trochas de extracción también se derriban árboles, pero al ser el camino de un ancho mucho menor la máquina puede ir sorteando los pies mayores, por lo que la cantidad de madera que se convierte en residuos es menor. Por otro lado, se abren muchos más kilómetros de trochas de extracción que de caminos principales.

Este hecho supone que hay una gran cantidad de metros cúbicos de madera que no está cumpliendo ninguna función en el bosque, y significa un riesgo sanitario y de incendios importante, y que podría ser utilizada también para su combustión y posterior generación de energía eléctrica.

Por ello decidimos realizar unas mediciones para estimar la cantidad de residuos biomásicos generados en la apertura de vías de acceso. Para ello se decidió establecer 3 transectos de 100 m cada uno a lo largo de 3 caminos de cada categoría de reciente creación. A lo largo de dichos transectos y a ambos lados del camino se midió la longitud y diámetros inicial y final de cada pie derribado de un diámetro inicial mayor de 10 cm.

El objetivo de estas mediciones es el de obtener una estimación del volumen de residuos que se generan en la apertura de cada kilómetro de los caminos que se abren en este tipo de bosque.

Mediante la consulta de los Planes de Manejo del municipio para el año 2002 se obtuvo la cantidad y tipo de caminos de nueva apertura, por lo que se puede estimar la cantidad total de residuos extrapolando los datos obtenidos a la cantidad total de caminos abiertos

El formato de tabla utilizado esta en la Tabla 8 del Anexo I.

En este caso no se han tenido en cuenta las especies de los árboles que han sido derribados, solamente se cuantificará el volumen y se le asignará un densidad y humedad medias para su posterior procesado en la hoja de cálculo.

Las mediciones para el establecimiento de los transectos se realizaron con una cinta métrica de 50m y las medidas de los pies derribados se hicieron con la cinta métrica metálica auto enrollable de 5m.

#### **3.2.4. Procesamiento de los datos obtenidos**

Una vez realizadas todas las mediciones anteriormente descritas es necesario homogeneizarlas para poder trabajar con todas ellas y obtener unos resultados válidos. Esta homogeneización es necesaria ya que las mediciones obtenidas en el campo aplicando la metodología elegida arrojan datos en diferentes sistemas métricos y unidades.

En el caso de las mediciones realizadas en la planta de plywood se obtendrán los datos de longitud unos en centímetros, otros en metros, en pies y en pulgadas, y los datos de pesos en libras. Para el caso de las mediciones realizadas en el aserrío, las medidas de peso son en Kg, y además tendremos unos datos en Kg de aserrín, que no son comparables a los datos obtenidos en Kg de madera. Para los volúmenes finales brutos y netos se trabaja con pies tablares, medida de volumen que es necesario también

convertir. En las mediciones de bosque y caminos principales obtenemos los datos en centímetros y metros.

Para el procesamiento de los datos obtenidos se va a establecer que los residuos de madera, así como los de aserrín, se expresen en volumen, más concretamente en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), y los datos de biomasa destinada a la obtención de energía se expresarán en peso (Kg ó Tm) de materia seca, es decir, materia totalmente libre de humedad, ya que es de esta forma como se obtendrá el poder calorífico de los residuos. En la Tabla 2 se muestran las unidades utilizadas y las conversiones a las unidades de trabajo finales.

Unidades Iniciales	Conversión	Unidades Finales
Pies (ft)	x 0.3048	Metros (m)
Pies tablares (pt)	/ 423.78	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
Pulgadas (")	x 2.54	Centímetros (cm)
Libras (lbs)	x 0.450	Kilogramos (Kg)

Tabla 2. Conversiones de Unidades Métricas.

David Poveda, Rosita, 2003

Para la estimación de los volúmenes de residuos que se generan anualmente se ha trabajado con medias ponderadas de las especies analizadas. De esta manera, para cada tipo de actividad, se le asignó un peso a cada una de las especies según su utilización. En la Tabla 3 se detallan los pesos asignados para cada especie y actividad.

	Plywood					
	Cedro macho	Ceiba	Sebo	TOTAL		
<b>Peso</b>	0.7	0.2	0.1	<b>1</b>		
	Aserrío					
	Nancitón	Guapinol	María	Mora	Quebracho	TOTAL
<b>Peso</b>	0.5	0.15	0.15	0.1	0.1	<b>1</b>
	Corta en Campo					
	Cedro macho	Guapinol	Nancitón	María	Ceiba	TOTAL
<b>Peso</b>	0.5	0.15	0.15	0.15	0.05	<b>1</b>

Tabla 3. Pesos Asignados por Especie y Actividad para Volumen de Residuos

David Poveda, Rosita, 2003

Para referir la cantidad de biomasa disponible, obtenida en volumen, a peso seco, es necesario conocer la humedad de las distintas especies y tipos de residuo analizado, para lo cuál se tomaron algunas muestras representativas para cada caso.

En el caso de las muestras de plywood, se tomaron tres discos procedentes del centro de los bolillos de las dos especies más representativas (Cedro macho y Ceiba), así como una muestra de corteza de cada una. En las especies de aserrío también se han tomado 3 muestras de tablas del interior de otras tantas trozas de 4 especies (Nancitón, María, Mora y Guapinol) así como tres muestras de corteza de 3 trozas de dichas especies. A partir de estas muestras se obtuvo su humedad así como su densidad verde y anhidra.

Para nuestro caso hemos establecido que la humedad con la que llegan los árboles a la planta de primera transformación es igual a la humedad que tienen al cortarlos, ya que el tiempo que transcurre entre el apeo y la entrada al procesado no es suficiente como para que la madera pierda humedad.

Para el caso del aserrín recogido en el aserrío, cuyas medidas se han obtenido en Kg, se tomaron muestras, concretamente 6 muestras de 1 Kg cada una y de la forma que se detalla a continuación; 2 muestras de aserrín de Mora, 2 de María, 1 de Nancitón y 1 de Guapinol.

También se tomó una muestra de corteza de cada una de las especies siguientes: Cedro macho, Ceiba, Nancitón, María, Mora y Guapinol.

Esta irregularidad en la toma de las muestras fue debida a que durante el momento de la recogida de muestras la empresa atravesaba por dificultades logísticas y no trabajó de forma normal, haciendo imposible recoger más muestras.

Para la estimación de la cantidad total de materia seca también se ha realizado una media ponderada de la humedad de la madera, la corteza y el aserrín de las distintas especies utilizadas (Véase Tabla 4).

	<b>Cedro macho</b>	<b>Nancitón</b>	<b>María</b>	<b>Mora</b>	<b>Guapinol</b>	<b>Ceiba</b>
<b>Madera</b>	0.5	0.25	0.05	0.05	0.05	0.1
<b>Corteza</b>	0.5	0.25	0.05	0.05	0.05	0.1
<b>Aserrín</b>	-	0.5	0.15	0.15	0.2	-

Tabla 4. Pesos Asignados por Especie y Tipo de Material para Contenido de Humedad

David Poveda, Rosita, 2003

La medición de las humedades se ha realizado utilizando una balanza electrónica DENVER INSTRUMENT AA-250 y un horno de secado CONTROLS D1401/S, del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la UNA. Las muestras de madera se convirtieron en astillas para asegurar el secado en el tiempo deseado, se pesaron antes de la entrada al horno en recipientes tarados y se anotó su peso cuando se completó el secado. Para el caso de las muestras de aserrín y de corteza, igualmente se dispusieron en unos recipientes tarados, se pesaron antes del secado y después. En Los cálculos de humedad del Anexo II se presenta el resultado de los análisis de humedad.

El proceso de secado se realizó durante 24 horas a una temperatura de 105°C. Realizada esta operación se determinó la humedad tanto de la madera, como del aserrín y de la corteza (para esta también su densidad).

En el capítulo de resultados, y según el procedimiento detallado anteriormente, se expresarán los datos de residuos en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de madera y toneladas (Tm) para el caso del aserrín, de materia húmeda. Los datos de biomasa destinada a la obtención de electricidad se expresarán en toneladas (Tm) de materia seca.

La conversión a energía se ha realizado de la siguiente forma:

Según la mayoría de la bibliografía, un Kilogramo de madera posee un valor calorífico de 15 Mega Joules (MJ). Para el presente análisis se ha utilizado un valor menor, de 11.5 MJ, correspondiente al valor calorífico de 1 Kg de madera con un contenido de humedad del 20%. Esta consideración tiene la finalidad de no pecar de optimismo y que los resultados obtenidos, aunque sean algo más bajos, sean más fiables.

1 Kilo Watt hora (Kwh) equivale a 3.6 MJ, por lo que para pasar e MJ a Kwh solamente hay que dividir entre 3.6. Para tener una idea del valor de esta unidad, 1 lámpara de 100w encendida durante 10 horas constituye 1 Kwh. Para pasar de Kwh a KW, valor anual, hay que dividir por el total de horas que tiene un año, es decir, 24 horas multiplicado por 365 días (8760). Las unidades finales a las que se referirán los datos serán Mega Watts (MW), equivalentes a 1,000 KW (Tabla 5).

Unidades Iniciales	Conversión	Unidades Finales
1 Tonelada (Tm) Madera tiene 11,500 Mega Joules (MJ)		
MJ	/ 3.6	Kilo Watts hora (Kwh)
Kwh	/8,760	Kilo Watts (KW)
KW	/ 1,000	Mega Watts (MW)

Tabla 5. Conversiones de Unidades Energéticas

David Poveda, Managua, 2003

Además de esto, se ha supuesto una eficiencia de la planta del 20%, basándonos en la fórmula:

$$\text{Eficiencia} = (\text{Egreso de Energía} / \text{Insumo de Energía}) \times 100$$

Así mismo, el factor de carga ha sido estimado del 80% según la fórmula:

$$\text{Factor de Capacidad} = (\text{Producción real} / \text{Producción teórica}) \times 100$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez procesados tanto los datos obtenidos en campo como los de laboratorio se presentan a continuación los resultados obtenidos.

### 4.1. Residuos generados en la industria

#### 4.1.1. Planta de Plywood

##### *Residuos Totales<sup>1</sup>*

Según información interna de la empresa, el rendimiento medio de la planta de plywood es del 65%, por lo que se ha utilizado este dato para estimar los residuos que no pudieron medirse. Para las 49 muestras analizadas de las 3 especies seleccionadas se ha obtenido la composición porcentual en residuos totales. Los datos para la obtención de estos resultados se pueden consultar en la Tabla 1 del Anexo II.

Los residuos más importantes los forman los bolillos y los guillotinos, aunque se observa que en el caso de la Ceiba su residuo más importante es la corteza, debido a su gran grosor. Estas variaciones se aprecian más claramente en la Figura 5.

Con el cálculo de la media ponderada se obtiene la composición media por troza, eliminando el inconveniente de esta variabilidad, lo cual se muestra en la Figura 6.

---

<sup>1</sup> Partes de las trozas que no forman parte del producto final, incluyendo los que utilizan como combustible de la caldera para el secado del plywood

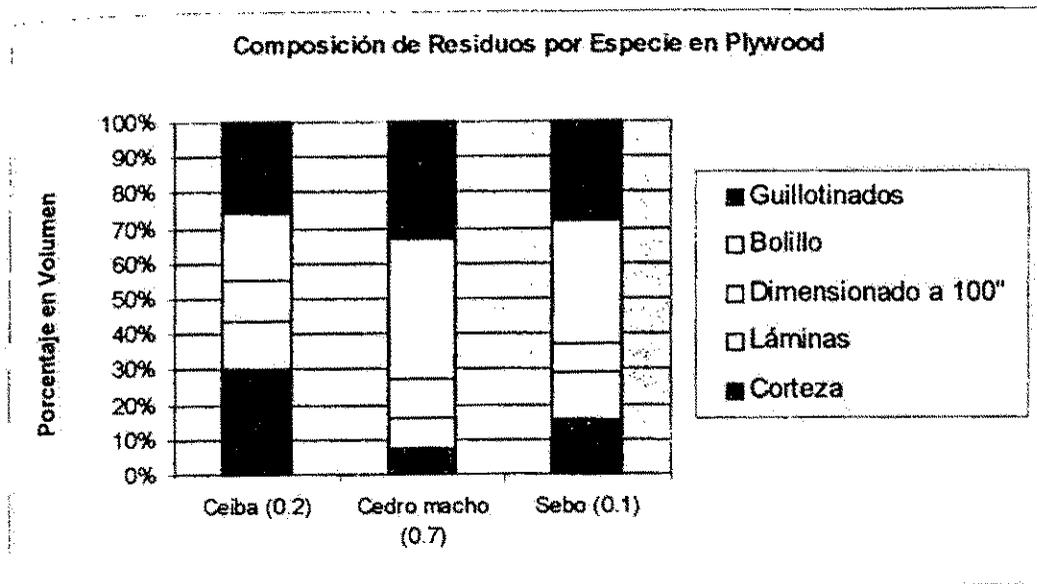


Figura 5. Composición de Residuos por Especie en Plywood  
David Poveda, Rosita, 2003

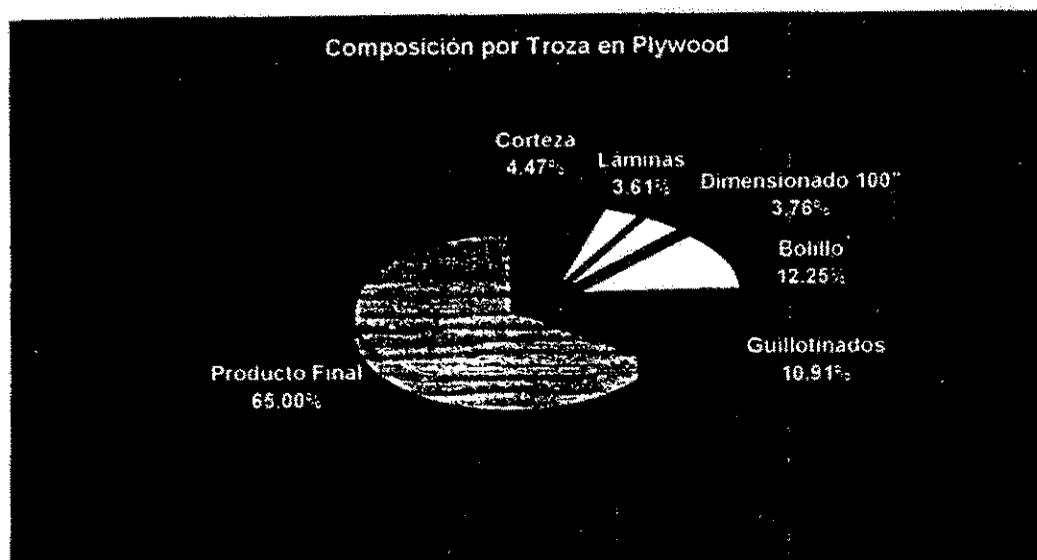


Figura 6. Composición por Troza en Plywood  
David Poveda, Rosita, 2003

La troza tipo representada en este gráfico posee un rendimiento aceptable para este tipo de plantas, siendo sus más importantes residuos los del bolillo, es decir, el centro de la troza donde se adapta el eje de giro, y los de los guillotinos, donde están incluidos además todos los residuos posteriores al secado.

Los bolillos tienen un diámetro medio ponderado de 26.5 cm, y su longitud media es de 2.66 m. Tienen dimensiones más que suficientes para dedicarlos a muchos otros usos, sin embargo la empresa los considera como residuos.

### Residuos Disponibles<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta que los bolillos y guillotinos (excepto los bolillos y parte del guillotinado de la Ceiba) se queman en la caldera, los residuos que actualmente se están desechando son menores, como bien se puede apreciar en las Figuras 7 y 8.

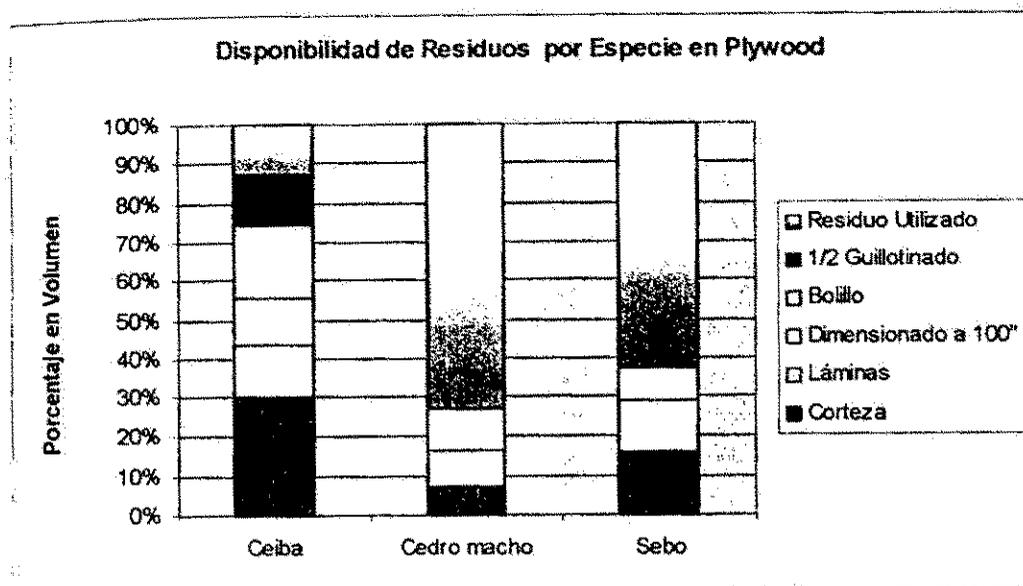


Figura 7. Disponibilidad de Residuos por Especie en Plywood

David Poveda, Rosita, 2003

Para el caso del Cedro macho y del Sebo, se utilizan del orden del 70% de los residuos que generan, mientras que solamente se queman un 16% de los residuos que genera la Ceiba, siendo estos solamente los residuos de madera seca, ya que en verde posee un elevadísimo contenido de humedad, que la hace poco eficiente en la caldera.

<sup>2</sup> Partes de las trozas que no forman parte del producto final, y no tienen uso alguno, se tienen que arrojar a vertederos.

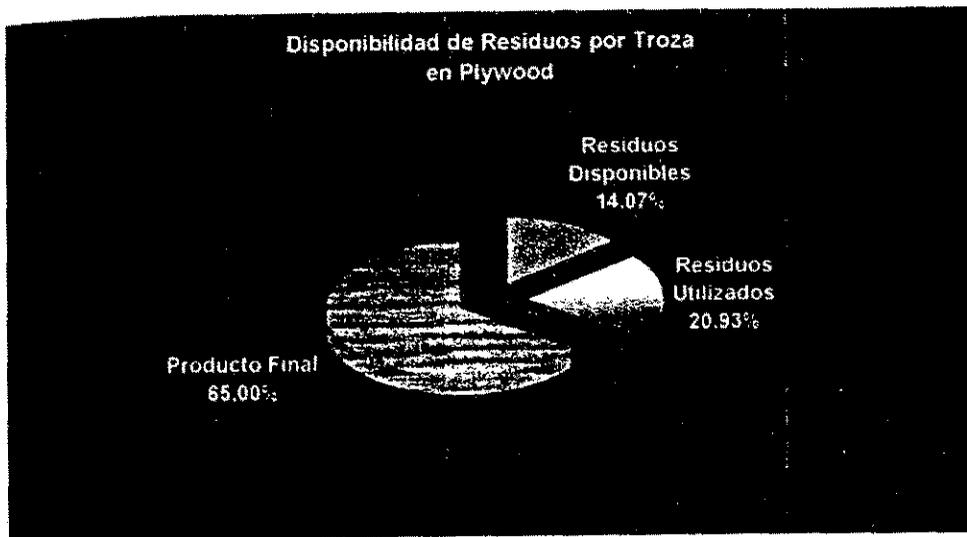


Figura 8. Disponibilidad de Residuos por Troza en Plywood

David Poveda, Rosita, 2003

Debido a que el Cedro macho es la especie más utilizada con diferencia en el proceso del plywood, en la media ponderada se atenúa el efecto de la Ceiba, por lo que aproximadamente el 57% de los residuos totales son utilizados en el proceso de plywood.

Aún así, la cantidad de bolillos, con un diámetro medio de 31.7 cm, así como la gran cantidad de corteza generan un volumen de residuos importante.

Sobre el volumen total que entra al proceso, el 14.07% se está desechando, por lo que actualmente es un residuo disponible.

#### *Cuantificación*

Según información suministrada por la empresa, la planta de plywood posee una producción media anual de 12,000 m<sup>3</sup> de producto terminado. Si a esto le aplicamos el factor de rendimiento del 65%, tenemos que para ello tienen que entrar a la planta 18,461.5 m<sup>3</sup> anualmente. En las Tablas 6 y 7 se muestra, en base lo anterior, la cantidad de residuos que se generan anualmente en la planta, así como los residuos que se generaron el año 2002, según los ingresos de madera en la empresa para los años 2001 y 2002, presentados en la Tabla 2 del Anexo III. Además se especifica la cantidad de residuos disponibles de cada tipo.

<b>M<sup>3</sup></b>	<b>Volumen Ingresado</b>	<b>Volumen Producto Final</b>	<b>Residuos Totales</b>	<b>Residuos Utilizados</b>	<b>Residuos Disponibles</b>
<b>Año 2002</b>	13,051.42	8,483.42	<b>4,568</b>	2,731.66	<b>1,836.33</b>
<b>Media Anual</b>	18,461.54	12,000	<b>6,461.54</b>	3,864	<b>2,597.54</b>

Tabla 6. Residuos Generados Anualmente en Plywood

David Poveda, Rosita, 2003

<b>M<sup>3</sup></b>		<b>Año 2002</b>	<b>Media Anual</b>
<b>Residuos Totales</b>	<b>Madera (30.53%)*</b>	3,984.6	5,636.31
	<b>Corteza (4.47%)</b>	583.4	825.23
<b>TOTAL</b>		<b>4,568</b>	<b>6,461.54</b>
<b>Residuos Disponibles</b>	<b>Madera (9.6%)</b>	1,252.93	1,772.31
	<b>Corteza (4.47%)</b>	583.4	825.23
<b>TOTAL</b>		<b>1,836.33</b>	<b>2,597.54</b>

\*Sobre el Volumen Total

Tabla 7. Volumen de Tipos de Residuos en Plywood

David Poveda, Rosita, 2003

La diferencia de producción entre el año 2002 y la media anual se debió a problemas de abastecimiento durante la estación lluviosa de dicho año, lo que redujo la entrada de madera a la planta. Para la cuantificación de la biomasa para obtención de electricidad se trabajará con la media anual, por ser un valor más representativo.

De esta forma, la planta genera anualmente 6,461.54 m<sup>3</sup> de residuos, de los cuales 5,636.31 m<sup>3</sup> corresponden a madera, y 825.23 m<sup>3</sup> son corteza.

De estos, solamente 2,597.54 m<sup>3</sup> de residuos están disponibles, de los cuales 1,772.31 m<sup>3</sup> son madera y 825.23 m<sup>3</sup> son corteza.

Se creía que la cantidad de residuos generados sin aprovechamiento iba a ser mayor, pero se puede apreciar que con la parte que ellos utilizan la cantidad se reduce a menos de la mitad. Aunque la empresa realiza un aprovechamiento a tener en cuenta con los residuos del plywood, está desechando una parte importante en forma de bolillos, los cuales se podrían destinar a otros usos.

#### **4.1.2. Aserrío**

##### *Residuos Totales*

Puesto que en las mediciones se pudo hacer un seguimiento individualizado troza por troza, se pudo averiguar con más exactitud el rendimiento del aserradero. La composición porcentual en residuos totales generados fue obtenida a partir de 15 muestras, de las cuales 1 se desechó por estar casi totalmente podrida y no aportaba información válida al conjunto, de 5 especies.

Se observa que el residuo más importante es el formado por las cantoneras, seguido de cerca por los ripios. Las trozas de Nancitón y Mora son las que mayor porcentaje de cantoneras presentan, esto es debido a que el Nancitón posee normalmente un fuste irregular y poco cilíndrico, aunque esto se compensa con los grandes volúmenes de sus trozas, que le hacen tener el mayor rendimiento. Las trozas de Mora, sin embargo, suelen tener un volumen mucho más pequeño, por lo que su porcentaje de cantoneras es más elevado y su rendimiento es mucho menor.

El aspecto que más llama la atención, en cambio, es el bajísimo rendimiento que presenta el aserrío, cercano al 35%. Esto supone una muy elevada generación de residuos, como se puede apreciar en las Figuras 9 y 10, que analizan, con los datos presentados en el anexo II (cálculos de aserrío) la proporción de los distintos tipos de residuos.

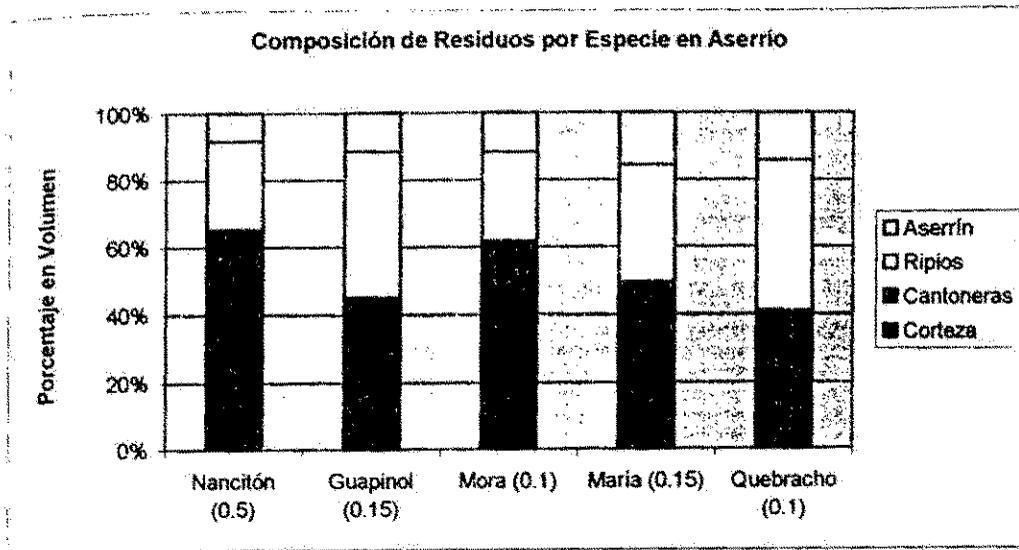


Figura 9. Composición de Residuos por Especie en Aserrió

David Poveda, Rosita, 2003

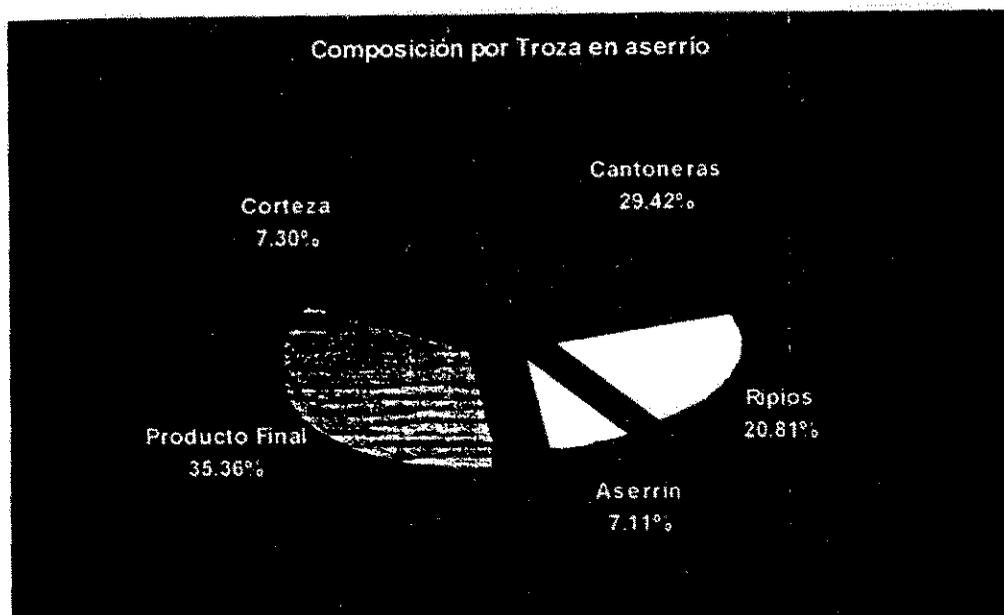


Figura 10. Composición por Troza en Aserrió

David Poveda, Rosita, 2003

Aquí se aprecia claramente la poca eficiencia del aserrió. Buena parte de la culpa puede tenerla el hecho de usar un sistema de sierras tradicional, y ciertamente obsoleto, con solamente dos sierras, que realizan unos cortes poco efectivos.

### Residuos Disponibles

Los residuos procedentes del aserrío, aún siendo mucho más numerosos en comparación con los de Plywood, son mejor aprovechados, como se observa en las Figuras 11 y 12.

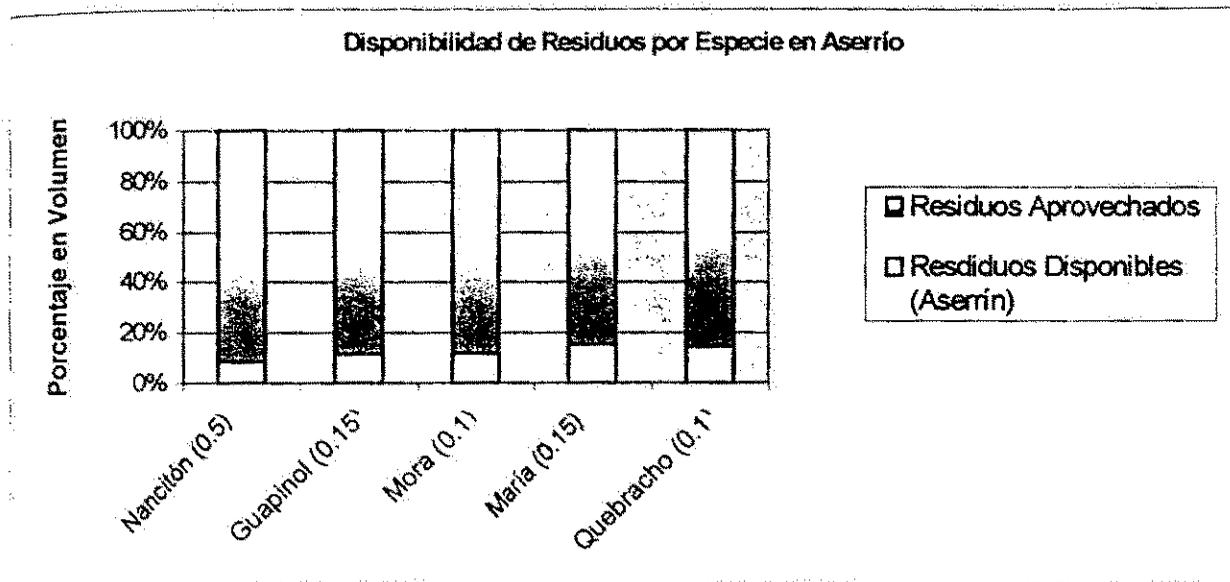


Figura 11. Disponibilidad de Residuos por Especie en Aserrío

David Poveda, Rosita, 2003



Figura 12. Disponibilidad de Residuos por Troza en Aserrío

David Poveda, Rosita, 2003

Aquí se aprecia claramente la gran cantidad de residuos que se generan, pero a la vez se observa que un 89% de los generados son utilizados como combustibles de la caldera, por lo que el aprovechamiento de los mismos es muy considerable.

Esto significa que más de mitad del volumen total que ingresa al aserrío, un 57.5% acaba en la caldera.

Estos residuos son los compuestos por la corteza, las cantoneras y los ripios. La causa de la utilización en la caldera de la corteza es porque las trozas no se descortezan antes de ser aserradas, como ocurre en el proceso del plywood, por lo que entre las cantoneras y los ripios la llevan toda y no resulta rentable quitarla antes de quemar la madera.

El único residuo disponible actualmente es el aserrín, que supone un 7.11% del volumen total.

#### *Cuantificación*

Según información suministrada por la empresa, la planta de plywood posee una producción media anual de 4,800 m<sup>3</sup> de producto terminado. En las Tablas 8 y 9 se muestra la cantidad de residuos anuales generados, según los ingresos de madera en la empresa para los años 2001 y 2002, presentados en la Tabla 2 del Anexo III, y según la media anual.

<b>M<sup>3</sup></b>	<b>Volumen Ingresado</b>	<b>Volumen Producto Final</b>	<b>Residuos Totales</b>	<b>Residuos Utilizados</b>	<b>Residuos Disponibles</b>
<b>Año 2002</b>	6,292.61	2,225.07	<b>4,067.54</b>	3,620.14	<b>447.40</b>
<b>Media Anual</b>	13,574.66	4,800	<b>8,774.66</b>	7,809.50	<b>965.16</b>

Tabla 8. Residuos Generados Anualmente en Aserrío

David Poveda, Rosita, 2003

M <sup>3</sup>		Año 2002	Media Anual
Residuos Totales	Madera (50.23%)*	3,160.78	6,818.55
	Corteza (7.30%)	459.36	990.95
	Aserrín (7.11%)	447.40	965.16
TOTAL		4,067.54	8,774.66
Residuos Disponibles	Madera (0%)	0	0
	Corteza (0%)	0	0
	Aserrín (7.11%)	447.40	965.16
TOTAL		447.40	965.16

\*Sobre el Volumen Total

Tabla 9. Volumen de Tipos de Residuos en Aserrío

David Poveda, Rosita, 2003

Con los datos anteriores tenemos que el aserrío genera anualmente 8,774.66 m<sup>3</sup> de residuos, siendo una cantidad mayor a la generada por la planta de plywood, aún teniendo esta casi tres veces más producción. Esto se explica sencillamente por la diferencia de rendimiento entre ambas.

De estos 8,774.66 m<sup>3</sup> se queman en la caldera 7,809.5 m<sup>3</sup> (el 89%) y queda disponible el equivalente a 965.16 m<sup>3</sup> de aserrín (obtenido como una resta del resto de volúmenes, ya que carece de sentido medir el volumen del aserrín), del cuál se conoce más exactamente su peso húmedo, que es de 50.3 Kg por cada m<sup>3</sup> que entra a la sierra.

Así tenemos una cantidad de 682.8 Tm de aserrín húmedo al año.

## 4.2. Residuos generados en el campo

A partir de ahora se tratarán los residuos que se generan en las actividades de explotación forestal en el monte, comprendiendo en este estudio las de corta de árboles y las de apertura de vías para extracción de madera y tránsito de vehículos.

#### 4.2.1. Apeo de árboles

En las actividades de corta de árboles se obtienen unos residuos directos procedentes de los propios pies derribados, pero además se provocan unos daños al arbolado circundante que se puede traducir en metros cúbicos de residuos derivados de daños.

Se puede apreciar en la Figura 13 que los residuos más importantes con diferencia son los formados por las ramas de la copa, mientras que los aletones se reducen únicamente a la Ceiba y al Cedro macho, y por la dominancia de este último es por lo que supone un porcentaje relativamente alto sobre el total. El fuste no aprovechado no depende de la especie, está en función únicamente de la existencia de alguna deformidad o enfermedad en el tronco que hace que se descarte de la producción y que se quede en el campo.

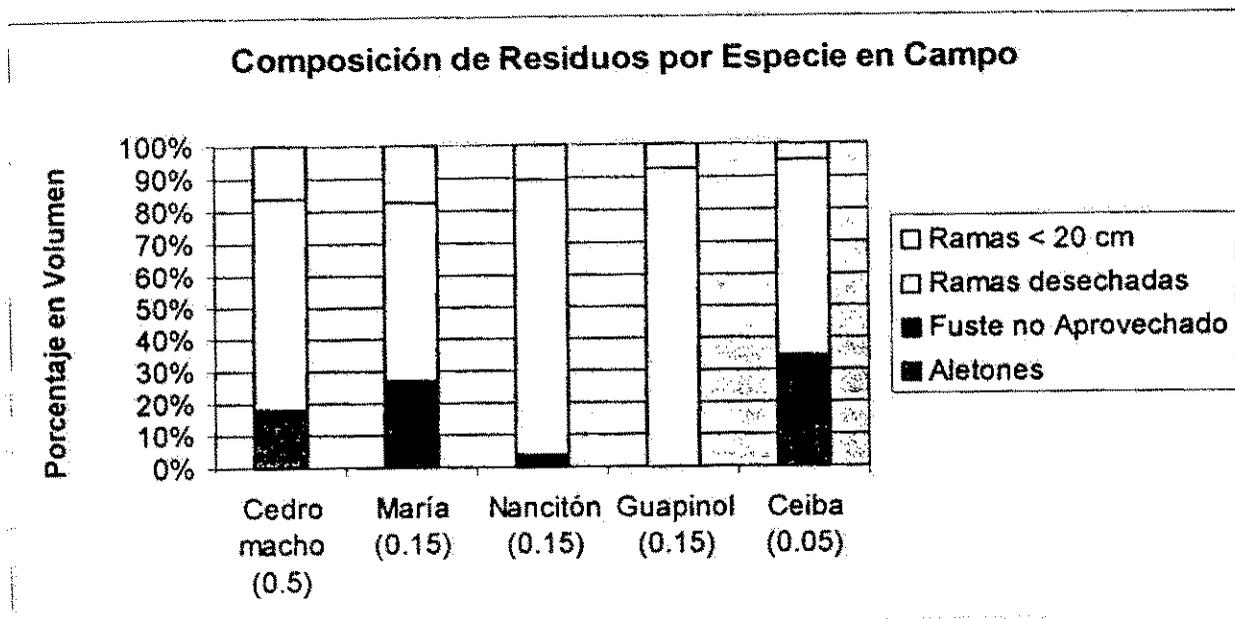


Figura 13. Composición de Residuos por Especie en Campo

David Poveda, Rosita, 2003



Figura 14. Composición por Árbol en Campo.

David Poveda, Rosita, 2003

A partir de la Figura 14 se puede afirmar que prácticamente un tercio (1/3) del volumen del árbol se deja en el monte, para extraer dos tercios (2/3) del mismo. Este dato confirma una de las hipótesis que se ha venido utilizando en el estudio teórico a nivel nacional.

#### 4.2.2. Residuos procedentes de daños a otros árboles

Como hemos dicho anteriormente, existe una cantidad de residuos generados al derribar árboles cercanos al que se apea. Para visualizar estos daños se ha elaborado la Figura 15, donde se muestran los volúmenes de daños para cada una de las especies estudiadas.

Volumen de Daños en Función de la Especie

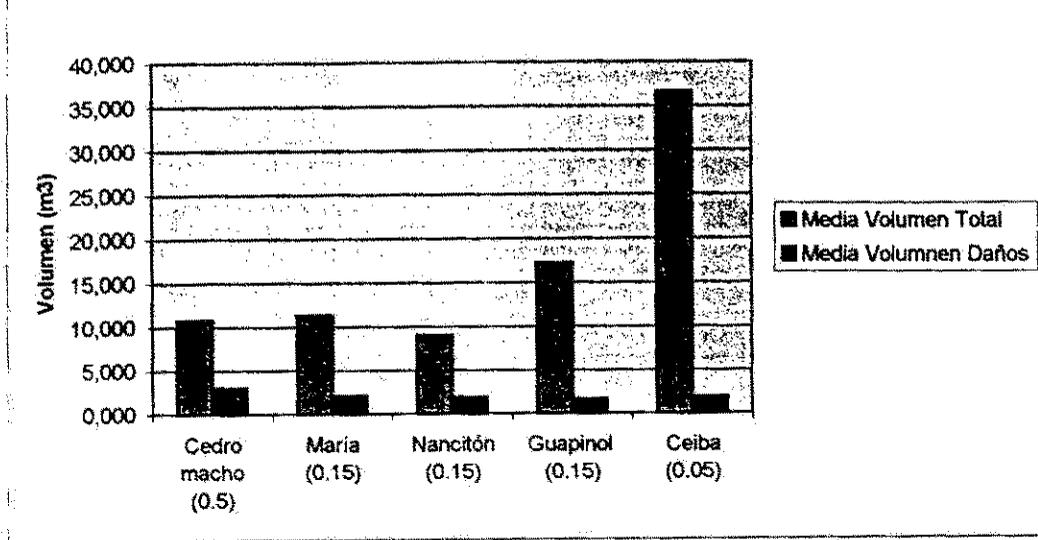


Figura 15. Volumen de Daños por Especie en Campo

David Poveda, Rosita, 2003

A primera vista se aprecia que no existe relación alguna entre el volumen total del árbol y la cantidad de daños que provoca, lo cuál no tiene mucho sentido, ya que en el caso de la Ceiba, al ser un árbol muy dominante y por lo general mucho más alto que el resto debería generar un mayor volumen de daños. La causa de esto seguramente es la escasez de la muestra para este aspecto, ya que para el caso de la Ceiba, solo se pudieron medir 3 árboles y no 4 como en el resto de especies. Este hecho se ha compensado asignando un peso del 5%, para atenuar esta variabilidad.

Cada árbol apeado derriba una media de 3 árboles con diámetro inicial mayor de 20 cm, generando una media de 2.41 m<sup>3</sup> de daños, en forma de troncos, que pasan a ser residuos disponibles.

#### 4.2.3. Residuos procedentes de la apertura de caminos y trochas de extracción

En el siguiente gráfico (Figura 16) se muestra la cantidad de residuos en forma de fustes que se generan con la apertura de un Kilómetro de cada uno de los tres tipos de caminos que se utilizan en la explotación forestal de la zona.

### Residuos Generados en 1Km de Camino

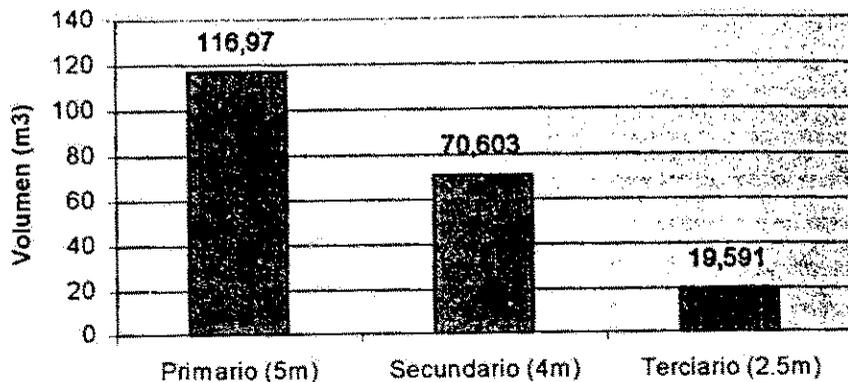


Figura 16. Residuos Generados en la Apertura de 1Km de Caminos

David Poveda, Rosita, 2003

Se puede comprobar que la generación de residuos está estrechamente relacionada con la anchura de la pista. Para el caso de los caminos terciarios o trochas de extracción el volumen es mucho más pequeño debido a que por ser menor el ancho de pala, la máquina puede ir sorteando los árboles de mayores diámetros.

#### Cuantificación

Según la información extraída de los Planes de Manejo del municipio de Rosita, así como de un trabajo realizado en la zona que cuantificó el volumen de madera que se extrajo en el municipio en los años 2001 y 2002, se han podido referir los datos obtenidos a la totalidad del municipio (Ver Tabla 1, Anexo III).

La información de los Kilómetros creados en Rosita para explotación durante el año 2002 fueron obtenidos consultando los Planes de Manejo en INAFOR Rosita (Ver Mapa 3, Anexo IV), mientras que los datos de volúmenes, número de árboles extraídos, y áreas afectadas se obtuvieron gracias a la colaboración de un tesista de la URACCAN (Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense), y se reflejan en la Tabla 10.

Volumen Extraído (m <sup>3</sup> )	Arboles Apeados	Superficie Afectada (Ha)
13,872.72	3,127	1,040
Apertura Caminos Primarios (Km)	Apertura Caminos Secundarios (Km)	Apertura Caminos Terciarios (Km)
15.11	28.05	50.75

Tabla 10. Resumen Actividad Forestal en Municipio de Rosita del Año 2002

Fuente: INAFOR Distrito II. URACCAN

A partir de estos datos y de los anteriores se ha elaborado un esquema que resume la cantidad de volúmenes afectados así como de residuos generados durante el año 2002 en las actividades de explotación forestal de todo el municipio.

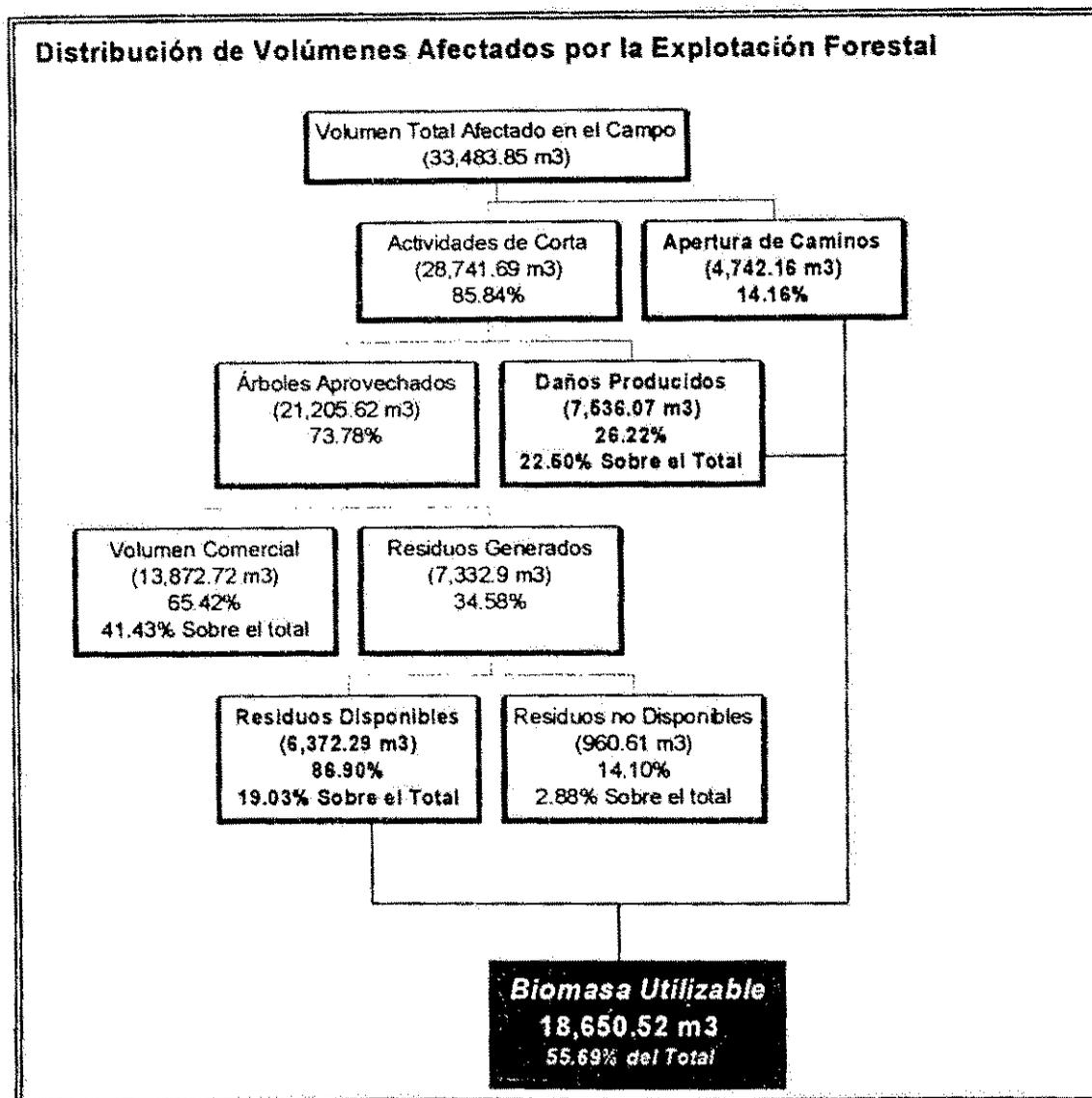


Figura 17. Volumen de Residuos en Campo. David Poveda, Rosita, 2003

Como se aprecia en el esquema de la Figura 17, una parte muy a tener en cuenta de los residuos generados corresponde a la parte de daños, teniendo aproximadamente la misma cantidad que los residuos procedentes de los árboles apeados.

Esto significa que cada metro cúbico de madera comercial extraída lleva asociado otro metro cúbico de residuos.

Los residuos generados en la apertura de caminos también suponen una gran cantidad, aunque no es tan importante como las otras dos. El hecho de estar apilados junto a los caminos, hace que estos residuos estén mucho más accesibles al transporte, siendo sin duda los residuos más rentables y de más fácil extracción.

Los residuos no disponibles corresponden a las ramas menores de 20 cm de los árboles apeados, las cuales son muy difíciles de manejar.

Como dato a tener en cuenta, decir que al entrar al monte a extraer madera, se extrae menos de la mitad del volumen que se afecta con las operaciones, más concretamente un 41.43%.

A modo de resumen, se muestra la Tabla 11, que presenta las cantidades de residuos totales y disponibles para cada tipo de actividad.

M <sup>3</sup>	Volumen Residuos de la Industria				Volumen Residuos del Campo			TOTAL
	Plywood		Aserrín		Árb. Apeados	Daños	Caminos	
Residuos Totales	Madera	5,636.31	Madera	6,818.55	6,372.29	7,536.07	4,742.16	
	Corteza	825.23	Corteza	990.95				
			Aserrín	965.16				
<b>TOTAL</b>		<b>6,461.54</b>		<b>8,774.66</b>	<b>TOTAL</b>		<b>18,650.52</b>	<b>33,886.72</b>
Residuos Disponibles	Madera	1,772.31	Madera	0	6,372.29	7,536.07	4,742.16	
	Corteza	825.23	Corteza	0				
			Aserrín	965.16				
<b>TOTAL</b>		<b>2,597.54</b>		<b>965.16</b>	<b>TOTAL</b>		<b>18,650.52</b>	<b>22,213.22</b>

Tabla 11. Resumen Volumen en Metros Cúbicos (m<sup>3</sup>) de Residuos Anuales

David Poveda, Rosita, 2003

Se utilizan un 34.45% de los residuos totales existentes en el municipio, lo cuál representa una tasa mayor a la esperada, aunque esta utilización solamente es en la industria y para un uso que no es el más factible.

### 4.3. Conversión a materia seca

Tras realizar los análisis de humedad en laboratorio se han obtenido los siguientes resultados, que se muestran en la Tabla 12.

	<i>Madera</i>		
	Densidad verde (Kg/m <sup>3</sup> )	CHbs	CHbh
<b>Cedro macho (0.5)</b>	724,79	58,19	36,75
<b>Nancitón (0.25)</b>	1031,79	82,89	45,32
<b>María (0.05)</b>	852,92	70,10	41,21
<b>Mora (0.05)</b>	1002,55	118,52	54,24
<b>Guapinol (0.05)</b>	1109,25	37,93	27,50
<b>Ceiba (0.1)</b>	569,46	208,00	67,49
<b>Media Ponderada</b>	<b>825,52</b>	<b>81,95</b>	<b>42,60</b>
	<b>Corteza</b>		
	Densidad verde (Kg/m <sup>3</sup> )	CHbs	CHbh
<b>Cedro macho (0.5)</b>	981,87	73,45	42,35
<b>Nancitón (0.25)</b>	632,02	45,06	31,06
<b>María (0.05)</b>	723,68	23,49	19,02
<b>Mora (0.05)</b>	1125,65	51,26	33,89
<b>Guapinol (0.05)</b>	1121,14	72,73	42,11
<b>Ceiba (0.1)</b>	1052,02	141,02	58,51
<b>Media Ponderada</b>	<b>902,66</b>	<b>69,47</b>	<b>39,54</b>
	<b>Aserrín</b>		
	CHbs	CHbh	
<b>Nancitón (0.5)</b>	109,14	52,18	
<b>María (0.15)</b>	75,56	43,04	
<b>Mora (0.15)</b>	110,15	52,41	
<b>Guapinol (0.2)</b>	48,04	32,45	
<b>Media Ponderada</b>	<b>92,03</b>	<b>46,90</b>	

Tabla 12. Humedades por Especie y Tipo de Material

David Poveda, Managua, 2003

Llama la atención el hecho de que la media de densidad verde de la corteza es superior a la de la densidad verde de la madera, lo cual es debido a que varias de la especies analizadas poseen una corteza especialmente densa, como es el caso del guapinol.

A continuación se muestra en la Tabla 13 que refleja la conversión a materia seca, utilizando los datos de la tabla anterior.

	<b>Tipo Residuo</b>	<b>Volumen Húmedo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Materia Seca (Kg)</b>
<i>Residuos Totales</i>	Madera	31,105.38	16,115,790.4
	Corteza	1,816.18	906,455.642
	Aserrín	965.16	542,056.36
<b>TOTAL</b>		<b>33,866.72</b>	<b>17,564,302.402</b>
<b>Residuos Disponibles</b>	Madera	20,422.83	10,581,129.3
	Corteza	825.23	411,872.386
	Aserrín	965.16	542,056.36
<b>TOTAL</b>		<b>22,213.22</b>	<b>11,535,058.046</b>

Tabla 13. Residuos Totales y Disponibles en Materia Seca

David Poveda, Rosita, 2003

La biomasa total en materia seca es en total de 17,564.302 Tm para todo el municipio.

La biomasa seca disponible actualmente sin contar la ya utilizada en la caldera es de 11,535.01 Tm para todo el municipio de Rosita.

#### 4.4. Conversión a energía utilizable

A partir de los datos anteriores, y utilizando las conversiones necesarias, se ha obtenido que a partir de las 17,564.302 Tm de residuos totales se pueden generar un mínimo de 1.025 MW, y a partir de las 11,535.01 Tm de residuos disponibles se pueden generar 0.673 MW.

Como se comentó anteriormente, el estudio teórico ha estimado<sup>3</sup> que en la misma zona se pueden generar 9.477 MW para un área de 3,955.93 Km<sup>2</sup>, lo cuál explica parte de la diferencia obtenida, más concretamente el modelo está prediciendo 5.351 MW para el área equivalente al municipio de Rosita.

Este potencial ha resultado ser bastante menor del que se esperaba a partir del modelo teórico a nivel nacional, aunque es bastante aproximado a las estimaciones realizadas por la empresa.

---

<sup>3</sup> Utilizando en su metodología una Estimación de Acumulación Media Anual de Materia Seca como Biomasa en Plantaciones de *Pinus caribaea* basada en Brown et al., 1986. Farnum et al., 1983. Citado en IPCC (1996)

## V. CONCLUSIONES

Según el presente estudio, con la totalidad de los residuos forestales generados en el municipio de Rosita, se podrían generar un mínimo de 1.025 MW (para 2,233.95 Km<sup>2</sup>). El estudio teórico, por otra parte, estima que en la misma zona se podrían generar 9.477 MW para un área de 3,955.93 Km<sup>2</sup>. De esta manera, está estimando casi 5 veces más energía de la que se ha obtenido con los datos de campo.

Esta sobreestimación se debe en gran medida a que en su metodología se han datos referentes a plantaciones de *Pinus caribaea*, lo cual no es en absoluto comparable a los bosques naturales de latifoliadas, ya que en una plantación de pino, además de existir mayores crecimientos, se corta toda la superficie cada poco tiempo, mientras que en el bosque latifoliado bajo estudio, y mucho más abundante en la zona, las intervenciones son del orden de 3 árboles por Hectárea y mucho más dilatadas en el tiempo.

También hay que tener en cuenta que el modelo teórico no puede predecir la cantidad de madera que se corta en un lugar y se procesa en otra zona muy lejos del origen, como es el caso de la zona de estudio, donde se sabe que el 50% de la madera extraída de Rosita se procesa en Puerto Cabezas, con lo que los residuos derivados de su procesado son incorrectamente tenidos en cuenta para la zona de origen.

De entre los residuos generados por el proceso del Plywood, una parte importante la forman los bolillos, es decir, la parte central de la troza que sirve de eje de giro. Y aunque solo suponen un desperdicio actual e importante los procedentes de la Ceiba (*Ceiba pentandra*) por su elevado contenido de humedad, con unos diámetros medios de 31.7 cm los de todas las especies podrían utilizarse para otros usos, como carpintería, artesanía... ya que son fustes de madera perfectamente cilíndricos y fácilmente accesibles.

El Aserrío presenta un rendimiento muy bajo, del orden del 35%, generando en comparación del orden de 3 veces más residuos, aunque estos se aprovechan mucho mejor. Los residuos en forma de aserrín son poco importantes si se comparan con el total, pero la elevada producción hace que supongan un problema al no tener ningún uso.

En la industria se generan anualmente 15,236 m<sup>3</sup> de residuos, de los cuales se aprovechan 11,673.5 m<sup>3</sup> solamente para secar el plywood, lo cual es aparentemente una utilización poco óptima.

En el campo, una parte muy importante de los residuos proceden de los daños ocasionados por la caída de los árboles cortados. los mayores residuos propios de los árboles corresponden a las ramas de la copa. Cada árbol apeado derriba una media de 3 árboles con diámetro inicial mayor de 20 cm, generando 2.41 m<sup>3</sup> de daños, en forma de troncos, que pasan a ser residuos disponibles, aproximadamente la misma cantidad de residuos propios del árbol, que suponen un tercio de su volumen total. El problema es que en muchos casos son difícilmente accesibles a la maquinaria, aumentando los costos.

Los residuos generados por la apertura de caminos y trochas de extracción son ciertamente importantes, y dada su buena accesibilidad, se presentan como los más fácilmente transportables.

En términos absolutos, se extrae del campo menos de la mitad del volumen que se afecta, por lo que los problemas sanitarios y de riesgo de incendios son muy a tener en cuenta. Por otra parte, se aprovechan un 34.45% de los residuos totales generados en el municipio para secar el Plywood de la mayor empresa de transformación del sector.

## VI. RECOMENDACIONES

Con el objetivo de adecuar el modelo teórico a la zona de estudio, se recomienda aplicarle un factor corrector en esta zona e 0.2 (una quinta parte).

Buscar usos alternativos a los bolillos, bien comercialmente o para ayudar a la población local, así como mejorar los rendimientos del aserrío renovando la maquinaria o utilizando trozas de mayores volúmenes.

Plantearse el hecho de extraer y utilizar los residuos generados por el apeo de árboles y por los daños ocasionados, así como los procedentes de la apertura de nuevos caminos y trochas de extracción aprovechando su fácil accesibilidad

La ubicación ideal de un a posible planta de generación sería en las mismas instalaciones de la empresa de transformación o en sus alrededores, con la finalidad de facilitar la recogida y el transporte de los residuos aprovechando las actividades de la propia empresa, reduciendo así los costos de transporte.

Se recomienda realizar un estudio de este tipo teniendo en cuenta la totalidad de área bajo influencia de la empresa, ya que ésta además procesa madera procedente de municipios próximos, con el objetivo de estimar la cantidad de residuos que se podrían obtener para poder plantear un estudio de prefactibilidad teniendo en cuenta los costos de transporte de los mismos.

Con el potencial mínimo de 1.025 MW procedente de los residuos totales del municipio se podría utilizar un sistema de cogeneración destinando unos 500 MW para la maquinaria y la demanda básica de la empresa (alumbrado, computadoras...) y los 500 restantes a mejorar el abastecimiento eléctrico del municipio de Rosita. Con el vapor utilizado en mover la turbina se podría secar el Plywood, supliendo así la eliminación de la caldera actual. Además, teniendo en cuenta que la planta no suele trabajar a partir de las 17:00 horas, que coincide cuando comienza la mayor demanda eléctrica del municipio, se podrían destinar durante las horas nocturnas más energía a Rosita.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

BEST, G. (1996). *La biomasa en los países en desarrollo: Potencialidades y restricciones*. Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Santiago de Chile (Chile). Disponible en Internet:

<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s08.htm>

BOYLE, G. (2000). *Renewable Energy. Power for a Sustainable Future*. 3ª Ed. Oxford University Press, Glasgow (United Kingdom). ISBN 0-19-856452-X. 477 págs.

BUN-CA, (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa*. 1ª Edición, San José (Costa Rica), 42 págs. Disponible en Internet:

<http://www.bun-ca.org>

CAMPS, M., MARCOS, F. (2002). *Los Biocombustibles*. Ed. Mundiprensa, Barcelona (España). ISBN 84-8476-017-0. 364 págs.

CNE (2003). Situación actual del sector energético. Página Web de la Comisión Nacional de Energía de Nicaragua. Disponible en Internet:

<http://www.cne.gob.ni>

FILOMENO, S.A-M. (2000). *Mecanismo de desarrollo limpio (MDL). Generación de Electricidad a partir de Residuos de Madera en Ocotal (Estudio de Prefactibilidad)*. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. Programa Ambiental Nicaragua-Finlandia. Managua (Nicaragua). 63 págs.

FUJINO, J., YAMAJI, K., YAMAMOTO, H. (1999). *Biomass-Balance for evaluating bioenergy resources*. Applied Energy, Vol. 63, págs. 75-89.

FUWAPE, J.A., AKINDELE, S.O. (1997). *Biomass yield and energy value of some fast-growing multipurpose trees in Nigeria*. Biomass and Bioenergy, Vol. 12, No. 2, págs. 101-106.

HERRERA, Z., MORALES, A. (1993). *Propiedades y usos potenciales de 100 maderas nicaragüenses*. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA). Servicio Forestal Nacional. Laboratorio de Tecnología de la Madera. Ed. Hispamer, Managua (Nicaragua).

HERRERA, Z., MORALES, A. (1993). *Secado al aire de 37 maderas nicaragüenses*. Instituto Nicaragüense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA). Servicio Forestal Nacional. Laboratorio de Tecnología de la Madera. Ed. Hispamer, Managua (Nicaragua).

PRADA, S.A. (2003). Comunicación personal de datos de producción y del sector eléctrico de Rosita.

ROJAS, A. (1996). *Cogeneración usando desechos de madera como combustible principal*. Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Santiago de Chile (Chile). Disponible en Internet:

<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0d.htm>

TROSSERO, M.A. (1996). *Generación eléctrica a partir de combustibles vegetales: Aspectos técnicos, económicos y ambientales*. Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Santiago de Chile (Chile). Disponible en Internet:

<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s09.htm>

URACCAN (2003). Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense. Apoyo con datos de una tesis en elaboración sobre extracción maderera en el Rosita, Siuna y Prinzapolka.

VAN DEN BROEK, R. (2000). *Sustainability of biomass electricity systems: An assessment of costs, macro-economic and environmental impacts in Nicaragua, Ireland and the Netherlands*. Ed. Eburon, Utrecht. ISBN 90-5166-800-7. 216 págs.

VOIVONTAS, D., ASSIMACOPOULOS, D., KOUKIOS, E., G. (2001). *Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method*. Biomass and Bioenergy, Vol. 20, págs. 101-112.

YAMAMOTO, H., FUJINO, J., YAMAJI, K. (2001). *Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model*. Biomass and Bioenergy, Vol. 21, págs. 185-203.

# ANEXOS

## ANEXO I. DATOS RECOPIADOS

Tabla 1. Hoja de campo para muestras de plywood

<b>HOJA DE CAMPO</b>									
<b>MUESTRAS DE RESIDUOS EN PLANTAS DE PLYWOOD</b>									
Nombre de la Empresa: _____							Fecha: _____		
Municipio: _____					Coord. UTM: _____				
Capacidad: _____ m <sup>3</sup> /año				Volumen procesado en 2002: _____ m <sup>3</sup>					
N° Troza	Especie	Longitud (m ó ")	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Espesor Corteza (cm)	Residuo cilindrado (lbs ó Kg)	Residuo Bolillo		Residuo total guillotinado: (lbs ó Kg)
							Long. (cm ó ")	Ø (cm)	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>TOTAL</b>									

Fuente: Elaboración propia (Marzo de 2003).

Tabla 2. Mediciones en las Trozas de Plywood

Nº Troza	Especie	Diámetro1 (cm)	Diámetro2 (cm)	Longitud (m)	Corteza (cm)	Láminas (lbs)	Diámetro Bolillo (cm)	Longitud Bolillo (m)
1	Ceiba	138	137	2,69	4	192	34	2,6924
2	Ceiba	145	143,5	2,7	3,5	241	38	2,69
3	Ceiba	148	149	2,7	3,8	397	40	2,6924
4	Ceiba	102	82	2,59	2,6	152	27	2,59
5	Ceiba	94	113	2,78	2,7	84	30	2,69
6	Ceiba	74	90	2,58	2,3	100	26	2,57
7	Ceiba	152	153	2,65	3,8	371	34,5	2,64
8	Sebo	74,5	71,5	2,63	1,1	43	25	2,66
9	Sebo	67	62	2,64	1,2	45	25,5	2,66
10	Sebo	74	68	2,67	1	61	25	2,65
11	Cedro macho	52	51,5	2,61	0,8	69	25	2,63
12	Cedro macho	57	54	2,61	0,75	32	26	2,64
13	Cedro macho	85,5	87	2,65	0,7	55	27,5	2,66
14	Cedro macho	77,5	78	2,62	1,1	65	24	2,64
15	Sebo	73	72	2,69	1,2	71	22	2,66
16	Cedro macho	56	58,5	2,7	1	68	24,75	2,69
17	Cedro macho	76,5	72	2,69	0,7	42	29	2,66
18	Cedro macho	59	65	2,72	0,4	51	27	2,69
19	Cedro macho	89,5	94	2,68	0,4	26	27	Roto
20	Cedro macho	71	69,5	2,72	0,4	275	25,5	2,73
21	Cedro macho	62,5	58	2,63	0,3	72	23,5	2,64
22	Cedro macho	64	70	2,57	0,4	61	26	2,6
23	Cedro macho	56	59,5	2,72	0,3	28	26	2,72
24	Cedro macho	55	53	2,7	0,3	70	25,5	2,71
25	Cedro macho	62,5	57	2,66	0,4	37	25,5	2,67
26	Cedro macho	53	54	2,62	0,3	37	25	2,705
27	Cedro macho	62,5	68,5	2,66	0,3	64	20	2,67
28	Cedro macho	81,5	79	2,71	0,4	46	26	2,67
29	Cedro macho	66,5	73	2,62	0,3	27	21	2,65
30	Cedro macho	78,5	86	2,66	0,4	73	25,6	2,67
31	Cedro macho	63,5	67,5	2,7	0,3	24	25	2,67
32	Cedro macho	56,5	61,5	2,63	0,3	28	26	2,63
33	Cedro macho	86	92	2,67	0,4	100	28	2,71
34	Cedro macho	58,5	55	2,63	0,3	133	27,5	2,62
35	Cedro macho	70,5	64	2,62	0,3	89	25	2,63
36	Cedro macho	55	52,5	2,64	0,3	24	24,5	2,61
37	Cedro macho	54	56,5	2,63	0,3	27	26,5	2,635
38	Cedro macho	74	70,5	2,65	0,4	60	25	2,69
39	Sebo	79,5	74	2,64	0,4	37	26	2,66
40	Sebo	70,5	70,5	2,54	1,1	42	26	2,54
41	Sebo	56	52,5	2,55	1,2	63	19	2,565
42	Sebo	44,5	48,5	2,65	1,5	89	26	2,65
43	Sebo	48,5	47	2,7	1,1	118	18	2,7
44	Sebo	49	55	2,63	1,2	114	25,5	2,64
45	Sebo	71,5	56	2,68	1	97	27	2,71
46	Ceiba	132,5	124	2,63	4,5	212	34,5	2,66
47	Ceiba	70	77	2,67	2,7	60	27	2,67
48	Ceiba	82,5	77	2,69	3	129	28	2,7
49	Ceiba	110	96,5	2,7	3,5	135	29,5	2,65

Tabla 3. Hoja de campo para muestras de aserrío.

<b>HOJA DE CAMPO</b>								
<b>MUESTRAS DE RESIDUOS EN ASERRÍOS</b>								
Nombre de la Empresa: _____						Fecha: _____		
Municipio: _____				Coord. UTM: _____				
Capacidad: _____ m <sup>3</sup> /año			Volumen procesado en 2002: _____ m <sup>3</sup>					
N° Troza	Especie	Longitud (m)	Ø 1 (cm)	Ø 2 (cm)	Espesor Corteza (cm)	Residuo Aserrín Sierra 1 (Kg)	Residuo Aserrín Sierra 2 (Kg)	Ripios (Kg)
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>TOTAL</b>								

Fuente: Elaboración propia (Marzo de 2003)

Tabla 4. Mediciones en Trozas de Aserrío

N° Troza	Especie	Diámetro1 (cm)	Diámetro2 (cm)	Longitud (m)	Corteza (cm)	Ripios1 (Kg)	Aserrín1 (Kg)	Volumen Final Bruto (pt)	Aserrín2 (Kg)	Volumen Final Neto (pt)
13	Nanciton	81	78	3,23	1,8	402,9	74,7	231,58	42,7	213,5
14	Nanciton	79	68,5	3,37	1,8	195,8	59,8	171,56	31,1	161,42
1	Nanciton	112,5	110	2,9	1,9	315,3	78,8	694,82	53,7	664,98
2	Guapinol	63	62,5	2,23	1,6	239,41	38,6	107,15	31,2	82,92
3	Guapinol	64,5	64,5	2,9	1,7	254,7	61	150	27,4	148,33
4	Guapinol	61	58,5	1,93	1,4	195,01	36	106,63	14,2	93,32
5	Mora	55,75	58,5	3,23	1,1	125,4	51,9	159,89	25,5	138,49
6	Mora	56,5	55,5	3,27	0,8	113,6	52,6	99,11	21,4	86,61
7	Mora	49	56	3,31	0,9	145,9	43,1	79,94	21,7	61,37
10	Maria	45,5	44	2,65	0,8	56	44	59,94	13,4	56,95
11	Maria	82,5	62	3,17	1,2	242,35	70,6	227,23	34	185,29
12	Maria	60,5	54,5	3,23	0,9	134,9	59,9	156,6	17,2	150,27
8	Quebracho	82	74	3,2	0,9	357,6	107,4	289,53	42,7	248,53
9	Quebracho	63,5	67,5	3,26	0,8	283,1	75	181,22	29,8	156,4

Tabla 5. Planificación de entrada de madera para plywood en el año 2002.

Especies para Plywood

	Common name	Scientific name	Volumen (m <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)
1	Cedro macho	<i>Carapa guianensis</i>	12,335.17	51.39
2	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	3,662.44	15.26
3	Mora	<i>Chlorophora tinctoria</i>	1,946.37	8.11
4	Sebo	<i>Virola sebifera</i>	1,593.47	6.64
5	Leche de maría	<i>Symphonia globulifera</i>	1,523.83	6.35
6	Jobo	<i>Spondias mombin</i>	753.57	3.14
7	Paño de agua	<i>Vochysia hondurensis</i>	719.31	3.00
8	Chilamate	<i>Ficus tonduzii</i>	608.49	2.54
9	Jiñocuabo	<i>Bursera simarouba</i>	428.35	1.78
10	Mangalarga	<i>Xylopia frutescent</i>	247.65	1.03
11	Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	164.27	0.68
12	Lagarto	<i>Zanthoxylum belizense</i>	19.17	0.08
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>24,002.09</b>	<b>100</b>
				<b>59.63 %</b>

Especies para Aserrio

	Common name	Scientific name	Volumen (m <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)
1	Nacintón	<i>Hyeronima aichomeoides</i>	4,362.30	37.69
2	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	1,902.71	16.44
3	María	<i>Calophyllum brasiliense</i> var. <i>Rekoi</i>	1,250.39	10.80
4	Guayabo negro	<i>Terminalia amazonia</i>	913.17	7.89
5	Quitacalzón	<i>Astronium graveolens</i>	680.43	5.88
6	Cortez	<i>Tabebuia Guayacan</i>	523.22	4.52
7	Ojoche	<i>Brosimum alicastrum</i>	270.36	2.34
8	Kerosen	<i>Tetragastris panamensis</i>	248.10	2.14
9	Quebracho	<i>Pithecellobium arboreum</i>	241.53	2.09
10	Guayabo blanco	<i>Terminalia bucidiodes</i>	232.57	2.01
11	Areno	<i>Laetia procera</i>	215.86	1.87
12	Guanacaste	<i>Enterolobium clycocarpum</i>	184.00	1.59
13	Frijolillo	<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	146.87	1.27
14	Sapote	<i>Pouteria sapota</i>	138.00	1.19
15	Genizaro	<i>Pithecellobium saman</i>	97.51	0.84
16	Cedro real	<i>Cedrela odorata</i>	43.00	0.37
17	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	26.70	0.23
18	Barazón	<i>Hirtella americana</i>	24.70	0.21
19	Nispero	<i>Manilkara zapota</i>	15.00	0.13
20	Guabillo	<i>Inga sp.</i>	13.92	0.12
21	Plomo	<i>Zuelania guidonia</i>	12.97	0.11
22	Rosita	<i>Saccoglottis trichogyna</i>	12.34	0.11
23	Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	5.79	0.05
	Otras especies		12.19	0.11
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>11,573.63</b>	<b>100</b>
				<b>28.75%</b>

Especies Duras

Comenegro	<i>Dalium guineense</i>	4,677.26	
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>4,677.26</b>	
			<b>11.62%</b>
<b>TOTAL</b>		<b>40,252.98</b>	<b>100%</b>

Fuente: PRADA S.A. (2003)

Tabla 6. Hoja de campo para muestras de bosque\*

<b>HOJA DE CAMPO</b>									
<b>MUESTRAS DE RESIDUOS EN ZONAS DE EXTRACCIÓN</b>									
POA: _____							Fecha: _____		
Ubicación: _____					Coord. UTM: _____				
Árbol nº	Especie:		Fuste comercial			Rama comercial			
			Ø1	Ø2	Long.	Ø1	Ø2	Long.	
Ramas desechadas			Aletones			Árboles derribados			
Ø1	Ø2	Long.	Base	Altura	Grosor	Especie	Ø1	Ø2	Long.
...	...	...							
...	...	...							
...	...	...							
...	...	...	Fuste no aprovechado						
			Ø1	Ø2	Long.				
...	...	...							
...	...	...							
...	...	...	Ramas 10<Ø<20cm:			Ramas Ø < 10 cm:			
...	...	...							

Fuente: Elaboración propia (Marzo de 2003)

\*Todas las unidades en metros (m)

Tabla 7. Mediciones en Actividades de Corta

Tabla 8. Hoja de campo para muestras caminos principales.

**HOJA DE CAMPO**  
**MUESTRAS DE RESIDUOS EN APERTURA DE CAMINOS**

Transecto n°:	Ancho de rodadura (m):	Ancho de apertura de dosel (m):
Pies derribados con diámetro inicial > 10 cm		
Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Longitud (m)
...	...	...

Fuente: Elaboración propia (Abril 2003)

MEDICIONES APERTURA CAMINOS (1 página)

Ancho  
2,5m de rodadura y 5 totales

Diámetro 2	Longitud	Volumen (m3)
0.12	7.5	0.180385988
0.09	8	0.060477792
0.08	7.8	0.065808457
0.05	8.4	0.079827802
0.06	6.2	0.048894845
0.05	6.5	0.032672536
0.14	6.4	0.190663097
0.05	4.1	0.01811323
0.06	5.5	0.043196663
0.08	3.6	0.047783584
0.04	6	0.030158264
0.07	7.2	0.05654862
0.05	9	0.051970472
0.08	6.7	0.066592109
0.07	4	0.022697988
0.09	5.3	0.055050474
0.06	7	0.049617487
0.15	9.6	0.316860767
0.1	7.3	0.09669449
0.07	8	0.06927206
0.06	8.1	0.07013796
0.12	4.5	0.078521497
0.07	8	0.04712385
0.08	7.2	0.05654862
0.11	3.6	0.05152963
0.05	6.1	0.03880849
		<b>1.959066072</b>

Ancho  
4m de rodadura y 8m totales

Transecto 2			
Diámetro 1	Diámetro 2	Longitud	Volumen (m3)
0.1	0.06	7	0.0352
0.12	0.08	5.1	0.0401
0.17	0.13	7.8	0.1378
0.26	0.21	3.4	0.1475
0.11	0.05	3	0.0151
0.2	0.13	9.7	0.2074
0.14	0.09	6	0.0623
0.2	0.08	11	0.1693
0.22	0.13	9	0.2165
0.11	0.07	4.2	0.0267
0.13	0.08	6.8	0.0589
0.16	0.09	7	0.0856
0.35	0.24	12	0.8202
0.19	0.14	9.6	0.2053
0.15	0.11	6	0.0796
0.19	0.08	12	0.1718
0.11	0.06	6.3	0.0471
0.13	0.09	6.7	0.0637
0.34	0.22	9	0.5542
0.19	0.14	10	0.2138
0.18	0.11	6	0.0991
0.13	0.08	7.3	0.0632
0.19	0.14	7	0.1497
0.12	0.06	11	0.0700
0.13	0.09	4.5	0.0428
0.31	0.22	9.6	0.5295
0.17	0.11	4	0.0616
0.21	0.14	4.2	0.1010
0.11	0.07	3.5	0.0223
0.22	0.13	6	0.1443
0.21	0.16	4	0.1075
0.19	0.12	6	0.1132
0.3	0.21	7	0.3575
0.12	0.09	6	0.0520
0.1	0.08	4	0.0254
0.25	0.21	5.4	0.2244
0.22	0.18	6	0.1985
0.18	0.11	7	0.1156
0.21	0.16	6	0.1762
0.27	0.14	11.3	0.3730
0.2	0.12	10	0.2011
0.14	0.08	9	0.0855
0.25	0.19	8.5	0.3231
0.14	0.09	7	0.0727
			<b>7.0603</b>

Ancho  
5m de rodadura y 10m totales

Transecto 3			
Diámetro 1	Diámetro 2	Longitud	Volumen (m3)
0.27	0.21	8	0.3619
0.18	0.13	6	0.0991
0.1	0.07	8	0.0454
0.12	0.08	5.8	0.0456
0.28	0.19	4	0.1735
0.14	0.09	11	0.1143
0.18	0.12	7.2	0.1272
0.14	0.08	7	0.0665
0.35	0.22	7.3	0.4657
0.16	0.11	10	0.1431
0.24	0.17	5	0.1850
0.3	0.21	7	0.3575
0.22	0.17	8.4	0.2509
0.18	0.12	6	0.1060
0.17	0.12	9	0.1486
0.12	0.1	5	0.0475
0.25	0.21	4.3	0.1787
0.13	0.09	5.8	0.0551
0.11	0.08	4	0.0284
0.1	0.07	4	0.0227
0.37	0.24	8	0.5845
0.39	0.25	10	0.8042
0.2	0.16	3	0.0851
0.17	0.12	4.7	0.0776
0.24	0.18	6	0.2078
0.22	0.14	8	0.2036
0.11	0.08	4	0.0284
0.3	0.24	6.5	0.3722
0.37	0.26	9	0.7014
0.11	0.09	5	0.0393
0.32	0.2	8	0.4247
0.12	0.1	3.3	0.0314
0.32	0.26	7	0.4624
0.11	0.08	6	0.0425
0.42	0.31	10.5	1.0987
0.11	0.06	7	0.0397
0.21	0.14	9.4	0.2261
0.32	0.24	6	0.3695
0.12	0.08	5	0.0393
0.18	0.11	6	0.0991
0.16	0.1	8	0.1062
0.24	0.21	6	0.2386
0.38	0.24	6.8	0.5132
0.11	0.09	4.4	0.0345
0.42	0.34	7.6	0.8619
0.32	0.23	7.2	0.4276
0.11	0.08	4	0.0284
0.2	0.14	6	0.1362
0.24	0.18	5.3	0.1836
0.23	0.15	8	0.2268
			<b>11.6970</b>

## **ANEXO II. CÁLCULOS**

**CÁLCULOS PLYWOOD (5 páginas)**

CÁLCULOS EN PLYWOOD

Número Troza	Especie	HUMEDAD bh (%)	Densidad verde (Kg/m3)	Densidad anhidra (Kg/m3)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro (m)	Largo (m)	Volumen s/c (m3)	Peso troza (Kg)	Peso seco troza (Kg)
1	Ceiba	67.49	569.46	340	138	137	1.375	2.69	3.994359879	2274.626348	739.5242287
2	Ceiba	67.49	569.46	340	145	143.5	1.4425	2.7	4.412602072	2512.74141	816.9399579
3	Ceiba	67.49	569.46	340	148	149	1.485	2.7	4.678341146	2662.987088	865.7676814
4	Ceiba	67.49	569.46	340	102	82	0.92	2.59	1.72172955	980.4553214	318.7646472
5	Ceiba	67.49	569.46	340	94	113	1.035	2.78	2.338918076	1331.919218	433.0322348
6	Ceiba	67.49	569.46	340	74	90	0.82	2.58	1.3625013	775.8893665	252.2563698
7	Ceiba	67.49	569.46	340	152	153	1.525	2.65	4.840331161	2756.372768	896.1481366
8	Sebo	0.00	430.00	430	74.5	71.5	0.73	2.63	1.100756802	473.3249949	473.3249949
9	Sebo	0.00	430.00	430	67	62	0.645	2.64	0.862608787	370.8209183	370.8209183
10	Sebo	0.00	430.00	430	74	68	0.71	2.67	1.067103409	454.5544658	454.5544658
11	Cedro macho	36.75	724.79	530	52	51.5	0.5175	2.61	0.848972878	397.8872935	251.6590264
12	Cedro macho	36.75	724.79	530	57	54	0.555	2.01	0.637416369	457.6414236	289.4493594
13	Cedro macho	36.75	724.79	530	95.5	87	0.9125	2.65	1.733010263	1256.060258	794.4338478
14	Cedro macho	36.75	724.79	530	77.5	78	0.7775	2.62	1.243917667	901.5730912	570.727583
15	Sebo	0.00	430.00	430	73	72	0.725	2.69	1.110498069	477.5141696	477.5141696
16	Cedro macho	36.75	724.79	530	56	58.5	0.5725	2.7	0.886031138	503.7483081	318.6110732
17	Cedro macho	36.75	724.79	530	76.5	72	0.7425	2.69	1.164756341	844.1974779	533.938596
18	Cedro macho	36.75	724.79	530	59	65	0.62	2.72	0.821188483	595.1838487	376.4422862
19	Cedro macho	36.75	724.79	530	89.5	94	0.9175	2.68	1.771888766	1284.238822	812.256245
20	Cedro macho	36.75	724.79	530	71	69.5	0.7025	2.72	1.064268124	764.1179741	483.2898569
21	Cedro macho	36.75	724.79	530	62.5	58	0.6025	2.63	0.749824048	543.4614027	343.7288382
22	Cedro macho	36.75	724.79	530	64	70	0.67	2.57	0.90609189	658.722027	415.3639951
23	Cedro macho	36.75	724.79	530	56	59.5	0.5775	2.72	0.712469132	516.3827613	326.6021207
24	Cedro macho	36.75	724.79	530	56	53	0.54	2.7	0.61836918	448.1775913	283.4636683
25	Cedro macho	36.75	724.79	530	62.5	57	0.5975	2.68	0.745842231	540.5754397	341.9035224
26	Cedro macho	36.75	724.79	530	53	54	0.535	2.62	0.688977047	426.8818894	269.9945358
27	Cedro macho	36.75	724.79	530	62.5	68.5	0.655	2.68	0.898300732	649.6255402	410.8756043
28	Cedro macho	36.75	724.79	530	81.5	79	0.8025	2.71	1.370720438	993.4779383	628.3556033
29	Cedro macho	36.75	724.79	530	66.5	73	0.6975	2.62	1.001104076	725.5854571	458.9187843
30	Cedro macho	36.75	724.79	530	78.5	86	0.8225	2.66	1.413328005	1024.359275	647.8874524
31	Cedro macho	36.75	724.79	530	83.5	87.5	0.855	2.7	0.909778939	659.3943453	417.0641846
32	Cedro macho	36.75	724.79	530	56.5	61.5	0.59	2.63	0.719033767	521.1450609	329.6141832
33	Cedro macho	36.75	724.79	530	88	92	0.89	2.67	1.661042871	1203.899209	781.4429918
34	Cedro macho	36.75	724.79	530	58.5	55	0.5675	2.63	0.686237917	482.1546223	304.953484
35	Cedro macho	36.75	724.79	530	70.5	64	0.6725	2.62	0.830626432	674.5043006	426.8109396
36	Cedro macho	36.75	724.79	530	56	52.5	0.5375	2.64	0.699032491	434.1699069	274.6040785
37	Cedro macho	36.75	724.79	530	54	56.5	0.5525	2.63	0.630635913	457.0031227	289.0456484
38	Cedro macho	36.75	724.79	530	74	70.5	0.7225	2.65	1.08845337	787.4453652	498.0469811
39	Sebo	0.00	430.00	430	79.5	74	0.7675	2.64	1.221378328	525.1926811	525.1926811
40	Sebo	0.00	430.00	430	70.5	70.5	0.705	2.54	0.991519969	426.3535866	426.3535866
41	Sebo	0.00	430.00	430	56	52.5	0.5425	2.55	0.688425862	253.4531164	253.4531164
42	Sebo	0.00	430.00	430	44.5	48.5	0.465	2.65	0.460028922	193.5128236	193.5128236
43	Sebo	0.00	430.00	430	48.5	47	0.4775	2.7	0.483503965	207.9087005	207.9087005
44	Sebo	0.00	430.00	430	49	55	0.52	2.63	0.668637003	240.1709113	240.1709113
45	Sebo	0.00	430.00	430	71.5	58	0.6375	2.68	0.866430413	387.8350777	387.8350777
46	Ceiba	67.49	569.46	340	132.5	124	1.2825	2.63	3.397604266	1934.741224	629.0211191
47	Ceiba	67.49	569.46	340	70	77	0.735	2.67	1.132857943	645.1187657	209.7397135
48	Ceiba	67.49	569.46	340	82.5	77	0.7975	2.69	1.343702863	765.1843036	248.7759505
49	Ceiba	67.49	569.46	340	110	96.5	1.0325	2.7	2.260660367	1287.348923	418.541586

CÁLCULOS EN PLYWOOD

Nro Troza	Corteza (cm)	Volumen corteza (m3)	Humedad corteza bh (%)	Densidad verde corteza (Kg/m3)	Peso verde Corteza (Kg)	Residuo seco corteza (Kg)	Residuo láminas (lbs)	Residuo láminas (kg)
1	4	0.476319644	58.51	1052.02	503.2018317	208.7770776	192	88.4
2	3.5	0.438840577	58.51	1052.02	461.4586596	191.4679484	241	108.45
3	3.8	0.490904225	58.51	1052.02	516.4410629	214.2899988	397	178.65
4	2.6	0.200130718	58.51	1052.02	210.5415184	87.35310689	152	68.4
5	2.7	0.250427829	58.51	1052.02	263.4550811	109.3067998	84	37.8
6	2.3	0.167163704	58.51	1052.02	165.3288401	68.59448809	100	45
7	3.0	0.494487731	58.51	1052.02	520.189942	215.8263984	371	166.95
8	1.1	0.067346673	37.82	847.40	57.08934641	35.48401498	43	19.35
9	1.2	0.0653883	37.82	847.40	55.40982769	34.45217581	45	20.25
10	1	0.060393928	37.82	847.40	51.17781171	31.82071033	61	27.45
11	0.8	0.034470908	42.35	981.87	33.84583532	19.51293182	69	31.05
12	0.75	0.034591854	42.35	981.87	33.95452557	19.53133418	32	14.4
13	0.7	0.053686237	42.35	981.87	52.61355773	30.3329717	53	24.75
14	1.1	0.071391282	42.35	981.87	70.09671996	40.41243198	65	29.25
15	1.2	0.074739657	37.82	847.40	63.33405153	39.3792215	71	31.95
16	1	0.049409357	42.35	981.87	48.51340039	27.98913314	68	30.6
17	0.7	0.044337527	42.35	981.87	43.53353955	25.09812452	42	18.9
18	0.4	0.021329632	42.35	981.87	20.94187232	12.07348919	51	22.95
19	0.4	0.031034134	42.35	981.87	30.47138169	17.58747877	26	11.7
20	0.4	0.024148523	42.35	981.87	23.71062947	13.68974377	275	123.75
21	0.3	0.015009818	42.35	981.87	14.73848011	8.486920955	72	32.4
22	0.4	0.021787197	42.35	981.87	21.37248582	12.32174903	67	27.45
23	0.3	0.014881336	42.35	981.87	14.61148663	8.423970761	28	12.6
24	0.3	0.013817666	42.35	981.87	13.56709515	7.321754144	70	31.5
25	0.4	0.02010605	42.35	981.87	19.74148062	11.3814232	37	16.65
26	0.3	0.013284779	42.35	981.87	13.04388148	7.520108977	37	16.65
27	0.3	0.018496988	42.35	981.87	18.19685921	9.337875689	64	28.8
28	0.4	0.027486225	42.35	981.87	26.96718883	15.54722786	46	20.7
29	0.3	0.017297375	42.35	981.87	16.98371557	9.791617357	27	12.15
30	0.4	0.027627017	42.35	981.87	27.12604889	16.63881342	73	32.85
31	0.3	0.018744048	42.35	981.87	18.44042101	9.478295976	24	10.8
32	0.3	0.014898777	42.35	981.87	14.43223922	8.320530349	28	12.6
33	0.4	0.02999565	42.35	981.87	29.45172887	16.97962459	100	45
34	0.3	0.014141068	42.35	981.87	13.88484181	8.004827258	133	59.85
35	0.3	0.016880052	42.35	981.87	16.37758725	9.442069914	89	40.05
36	0.3	0.013448393	42.35	981.87	13.20452862	7.812725887	24	10.8
37	0.3	0.013769259	42.35	981.87	13.51957854	7.794358531	27	12.15
38	0.4	0.02419307	42.35	981.87	23.75436942	13.68498069	60	27
39	0.4	0.025594658	37.82	847.40	21.68882905	13.48448608	37	16.65
40	1.1	0.062947834	37.82	847.40	53.25887523	33.11363428	42	18.9
41	1.2	0.063305657	37.82	847.40	45.17095101	28.08694912	63	28.35
42	1.5	0.069941537	37.82	847.40	50.79425887	31.58235295	89	40.05
43	1.1	0.045579601	37.82	847.40	38.62400232	24.01825098	118	53.1
44	1.2	0.062747045	37.82	847.40	44.69786992	27.79167807	114	51.3
45	1	0.054516011	37.82	847.40	46.19668823	28.72371984	97	43.65
46	4.5	0.493574927	58.51	1052.02	519.2497477	215.4353144	212	95.4
47	2.7	0.172575644	58.51	1052.02	181.553029	75.32588015	60	27
48	3	0.209793024	58.51	1052.02	220.7064571	91.57051148	129	58.05
49	3.5	0.316919672	58.51	1052.02	333.4058336	138.3291776	135	60.75

CÁLCULOS EN PLYWOOD

Número Troza	Volumen residuo láminas (m3)	Residuo seco láminas (Kg)	Volumen dimensionado a 100" (m3)	Peso húmedo dimensionado (Kg)	Peso seco residuo dimensionado (Kg)
1	0.151722807	28.09028103	0.20911503	119.082549	38.71699847
2	0.190443731	35.25915483	0.24333578	138.5698821	45.0617006
3	0.313718612	58.08250817	0.257010338	146.3569885	47.58343677
4	0.120113889	22.23013915	0.030375248	17.297475	5.62373766
5	0.066378728	12.28949795	0.184956399	105.3251862	34.24321853
6	0.079022295	14.6303647	0.019000336	10.81992282	3.517762417
7	0.293172715	54.27861595	0.190636394	108.5597134	35.29482475
8	0.045	19.35	0.033280589	14.29775308	14.29775308
9	0.047093023	20.25	0.027567452	11.85400447	11.85400447
10	0.033837209	27.45	0.0450881	19.38788286	19.38788286
11	0.042840278	19.63862516	0.011287291	8.180881965	6.174237149
12	0.019867954	9.107721812	0.013218014	0.580242871	6.059318538
13	0.034148046	15.65389686	0.06540278	47.40294751	22.98144854
14	0.040358782	18.50005993	0.034363104	24.90587063	15.75248202
15	0.074302328	31.95	0.056221698	24.17533026	24.17533026
16	0.042219403	19.36390685	0.033489349	24.2725861	15.3519418
17	0.02607669	11.95388488	0.055041393	39.89318925	26.23167152
18	0.031664552	14.51543164	0.044037238	31.91753994	20.18722741
19	0.016142713	7.400023972	0.084545587	61.27739311	38.75976735
20	0.170740232	79.26948432	0.060675058	43.90390822	27.76837378
21	0.044702897	20.49237408	0.021755756	15.76825094	9.973114101
22	0.037873298	17.3815947	0.008984162	6.511588003	4.118453817
23	0.01738448	7.969256585	0.037691678	27.24582136	17.23245565
24	0.04348116	19.82314146	0.02847223	20.63625215	13.05203082
25	0.022972322	10.53080334	0.027518561	19.94504699	12.61485691
26	0.022972322	10.53080334	0.014067044	10.18833832	6.443927165
27	0.039735909	18.21544362	0.036864711	26.57404168	16.80766799
28	0.028580184	13.0923501	0.076960385	55.77973632	36.27960564
29	0.016763588	7.884840278	0.027797181	20.14698648	12.74257974
30	0.045323771	20.77699038	0.057582541	41.73497561	28.39655581
31	0.014900968	6.830791359	0.046068861	33.38277532	21.11396048
32	0.01738448	7.969256585	0.01982736	14.37057777	9.089112821
33	0.082087367	28.46163068	0.072869965	52.81507531	33.40451482
34	0.082576188	37.85396878	0.017419184	12.82516736	7.885174462
35	0.056257748	25.33085129	0.024489087	17.74932859	11.22610744
36	0.014900968	6.830791359	0.017978278	13.02893961	8.2405828
37	0.016763588	7.884840278	0.016613366	12.04112249	7.616777364
38	0.037252414	17.0769784	0.039898457	28.77285535	18.19827516
39	0.03872063	18.85	0.040955044	17.81066871	17.81066871
40	0.043953488	18.9	0	0	0
41	0.065930233	28.35	0.002027945	0.872018536	0.572018536
42	0.093139535	40.05	0.012840267	5.521314973	5.521314973
43	0.123488372	53.1	0.024580586	10.56965179	10.56965179
44	0.119302326	51.3	0.014517081	6.242349147	6.242349147
45	0.101511628	43.85	0.036870896	15.76848549	15.76848549
46	0.167527256	31.01635197	0.10786103	61.41679825	19.96776762
47	0.047413377	8.776212821	0.047714685	27.17157144	8.833993956
48	0.101938761	18.87315767	0.065891383	37.40858501	12.1622415
49	0.106680089	19.75097885	0.123028591	70.05980534	22.77777339

CÁLCULOS EN PLYWOOD

Número Troza	Diámetro bolillo (cm)	Longitud bolillo (m)	Volumen bolillo (m3)	Peso humedo bolillos (Kg)	Peso seco bolillos (Kg)
1	34	2.8924	0.244448249	139.2033879	46.2676636
2	38	2.69	0.306078863	173.728817	56.48253812
3	40	2.8924	0.338336877	192.869049	62.64038727
4	27	2.59	0.148291887	84.44811841	27.45503838
5	30	2.69	0.190144736	108.2797336	36.203788
6	26	2.57	0.138448678	77.70200198	26.26239667
7	34.5	2.64	0.248782316	140.5382386	48.69168068
8	25	2.66	0.130572334	56.14810378	56.14610378
9	25.5	2.66	0.135847457	58.41440837	58.41440837
10	25	2.65	0.130081461	55.9350282	55.9350282
11	25	2.63	0.129099714	93.5895671	59.18094355
12	26	2.64	0.140165179	101.5898531	34.25349299
13	27.5	2.66	0.157992525	114.5108497	72.42577373
14	24	2.64	0.119430885	86.56159788	54.7486384
15	22	2.66	0.101115216	43.47954277	43.47954277
16	24.75	2.69	0.12941728	93.79971977	59.32851087
17	29	2.66	0.175698133	127.3434134	80.54224887
18	27	2.69	0.154017235	111.6294186	70.60345072
19	27	2.67	0.152872128	110.7994601	70.078518
20	25.5	2.73	0.13942239	101.0512901	63.91298879
21	23.5	2.64	0.114506243	82.98243477	52.46111189
22	28	2.6	0.138041466	100.0504159	63.27995522
23	28	2.72	0.144412609	104.6681274	66.20058853
24	25.5	2.71	0.13840098	100.3108878	63.44478177
25	25.5	2.67	0.138358161	98.83038259	62.50830772
26	25	2.705	0.132781265	96.23790076	60.86881304
27	20	2.67	0.083880453	60.79531417	38.45188173
28	28	2.67	0.141757966	102.7440809	64.98364632
29	21	2.65	0.091785479	66.52476021	42.07562588
30	25.6	2.67	0.137429734	99.60704273	62.99963025
31	25	2.67	0.131063208	94.99267833	60.08103395
32	26	2.63	0.139634251	101.2048438	64.01010855
33	28	2.71	0.166888694	120.9439868	78.49472238
34	27.5	2.62	0.155916697	112.788885	71.33888435
35	25	2.63	0.129099714	93.5895671	59.18094355
36	24.5	2.61	0.123044498	88.1808342	56.40518178
37	26.5	2.635	0.145332211	105.3348418	66.62212587
38	25	2.69	0.132044956	95.70423403	60.53107915
39	26	2.68	0.141227037	80.72762585	60.72762585
40	28	2.54	0.134855892	57.98603371	57.98803371
41	19	2.665	0.07272506	31.27177553	31.27177563
42	28	2.65	0.140698108	60.4963265	60.4993265
43	18	2.7	0.068706573	28.54382652	29.54382652
44	25.5	2.64	0.134826047	57.97520031	57.97520031
45	27	2.71	0.155162345	66.71980822	66.71980822
46	34.5	2.66	0.248661964	141.6029223	48.03779956
47	27	2.67	0.182872128	87.05449068	28.30306837
48	28	2.7	0.168282943	94.6743247	30.78042116
49	29.5	2.65	0.181125426	103.1436023	33.53394416

CÁLCULOS EN PLYWOOD

Residuo Dimensionado

Número Troza	resta longitud (m)	radio troza (m)	radio bolillo (m)	volumen desechado (m3)
1	0.15	0.6875	0.17	0.20911503
2	0.16	0.72125	0.19	0.24333578
3	0.16	0.7425	0.2	0.257010336
4	0.05	0.46	0.135	0.030375248
5	0.24	0.5175	0.15	0.184956399
6	0.04	0.41	0.13	0.019000336
7	0.11	0.7625	0.1725	0.190636394
8	0.09	0.365	0.125	0.033250589
9	0.1	0.3225	0.1275	0.027567452
10	0.13	0.355	0.125	0.0450861
11	0.07	0.25675	0.125	0.011287291
12	0.07	0.2775	0.13	0.013218044
13	0.11	0.45625	0.1375	0.06540275
14	0.08	0.38875	0.12	0.034363104
15	0.15	0.3625	0.11	0.056221698
16	0.16	0.28625	0.12375	0.033489349
17	0.15	0.37125	0.145	0.055041393
18	0.18	0.31	0.135	0.044037238
19	0.14	0.45875	0.135	0.084545587
20	0.18	0.35125	0.1275	0.060575058
21	0.09	0.30125	0.1175	0.021755756
22	0.03	0.335	0.13	0.008984162
23	0.18	0.28875	0.13	0.037591579
24	0.16	0.27	0.1275	0.02847223
25	0.12	0.29875	0.1275	0.027518561
26	0.08	0.2675	0.125	0.014057044
27	0.12	0.3275	0.1	0.036664711
28	0.17	0.40125	0.12	0.076960365
29	0.08	0.34875	0.105	0.027797181
30	0.12	0.41125	0.128	0.057582541
31	0.16	0.3275	0.125	0.046058851
32	0.09	0.295	0.13	0.01982736
33	0.13	0.445	0.14	0.072869966
34	0.09	0.28375	0.1375	0.017419184
35	0.08	0.33625	0.125	0.024489087
36	0.1	0.26875	0.1225	0.017976276
37	0.09	0.27625	0.1325	0.016613366
38	0.11	0.36125	0.125	0.039698457
39	0.1	0.38375	0.13	0.040955044
40	0	0.3525	0.13	0
41	0.01	0.27125	0.095	0.002027945
42	0.11	0.2325	0.13	0.012840287
43	0.16	0.23875	0.09	0.024580586
44	0.09	0.26	0.1275	0.014517091
45	0.14	0.31875	0.135	0.036670896
46	0.09	0.64125	0.1725	0.10785103
47	0.13	0.3675	0.135	0.047714665
48	0.15	0.39875	0.14	0.065691383
49	0.16	0.51625	0.1475	0.123028591

CÁLCULOS ASERRÍO (8 páginas)

CÁLCULOS EN ASERRÍO

mero Troza	Especie	HUMEDAD bh (%)	Densidad verde (Kg/m3)	Densidad anhidra (Kg/m3)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Diámetro (m)	Largo (m)	Volumen troza s/c (m3)
13	Nanciton	45.32	1031.789045	710	81	78	0.795	3.23	1.603342461
14	Nanciton	45.32	1031.789045	710	79	68.5	0.7375	3.37	1.439605392
1	Nanciton	45.32	1031.789045	710	112.5	110	1.1125	2.9	2.818951161
2	Guapinol	27.50	1109.246195	870	63	62.5	0.6275	2.23	0.668039039
3	Guapinol	27.50	1109.246195	870	64.5	64.5	0.645	2.9	0.947580485
4	Guapinol	27.50	1109.246195	870	61	58.5	0.5975	1.93	0.541158205
5	Mora	54.24	1002.55011	650	55.75	58.5	0.57125	3.23	0.827836294
6	Mora	54.24	1002.55011	650	56.5	55.5	0.56	3.27	0.808403148
7	Mora	54.24	1002.55011	650	49	56	0.525	3.31	0.716532865
10	Maria	41.21	852.9218587	604	45.5	44	0.4475	2.65	0.416794009
11	Maria	41.21	852.9218587	604	82.5	62	0.7225	3.17	1.29964422
12	Maria	41.21	852.9218587	604	60.5	54.5	0.575	3.23	0.838740716
8	Quebracho	0	680	680	82	74	0.78	3.2	1.529074685
9	Quebracho	0	680	680	63.5	67.5	0.655	3.26	1.09847383

CÁLCULOS EN ASERRÍO

Numero Troza	Peso húmedo troza s/c (Kg)	Peso seco troza s/c (Kg)	Corteza (cm)	Volumen Corteza (m3)	Humedad corteza bh (%)	Densidad verdadera corteza (Kg/m3)	Peso verde Corteza (Kg)
13	1654.311187	904.537642	1.8	0.148496111	31.06	632.02	93.85251184
14	1485.369073	812.1641497	1.8	0.143974768	31.06	632.02	90.99493143
1	2908.562927	1590.332382	1.9	0.196884471	31.06	632.02	123.7902627
2	734.9794795	554.8134686	1.8	0.072131159	42.11	1121.14	80.86921103
3	1051.077863	762.0360477	1.7	0.102630818	42.11	1121.14	114.9515199
4	600.2754615	435.2023352	1.4	0.051907643	42.11	1121.14	58.19579632
5	829.9473681	379.7965435	1.1	0.064991148	33.89	1125.65	73.15728611
6	807.4570118	369.5046143	0.8	0.046680609	33.89	1125.65	52.54591475
7	718.3601031	328.7325132	0.9	0.049975974	33.89	1125.65	56.25545502
10	355.4927208	208.9862493	0.8	0.030337078	19.02	723.68	21.9543366
11	1108.494964	651.659489	1.2	0.087777218	19.02	723.68	63.52261741
12	715.3802908	420.5561324	0.9	0.063334396	19.02	723.68	38.59703602
8	1039.770786	1039.770786	0.9	0.071386978	37.82	939.40	67.06060341
9	746.9622041	746.9622041	0.8	0.064321358	37.82	939.40	51.02928344

CÁLCULOS EN ASERRÍO

Numero Troza	Peso seco corteza (Kg)	Volumen total troza (m3)	Peso húmedo total troza (Kg)	Peso seco total troza (Kg)	Peso húmedo ripios1 (kg)	Volumen ripios1 (m3)
13	64.69996895	1.751838572	1748.163699	969.2376109	402.9	0.390486798
14	62.73001247	1.883680188	1578.364004	874.8941622	195.8	0.189767473
1	85.3384315	3.014815632	3032.353189	1675.670814	315.3	0.305686722
2	46.81727182	0.761770197	845.8486905	601.4307405	239.41	0.215931257
3	66.54839938	1.050091302	1166.029382	828.5844471	254.7	0.229815392
4	33.69104732	0.593063849	658.4712578	468.8933825	195.01	0.175804074
5	48.38422761	0.892827443	903.1046542	428.1607711	125.4	0.12608103
6	34.73906628	0.852083654	860.0029266	404.2426795	113.6	0.113311044
7	37.1904396	0.766608839	774.6155582	365.9229528	145.9	0.145528886
10	17.77852045	0.447131087	377.4470574	226.7647697	56	0.065666659
11	61.4403224	1.387421438	1172.017581	703.0998114	242.35	0.284140918
12	31.25670182	0.892075113	753.9773269	451.8118341	134.9	0.158162203
8	41.69631746	1.600461863	1106.831449	1091.467103	357.6	0.625892353
9	31.72848424	1.152795188	797.9914875	778.6906883	283.1	0.416323629

CÁLCULOS EN ASERRÍO

Número Troza	Peso seco ripios1 (Kg)	Volumen total	Residuo húmedo aserrín1 (Kg)	Aserrín Total húmedo kg	HUMEDAD ASERRIN bh (%)	Número Troza
13	220.2960476	1.751838572	74.7	117.4	52.18	13
14	107.0587394	1.583580158	59.8	90.9	52.18	14
1	172.3984706	3.014815632	78.8	132.5	52.18	1
			213.3	213.3		
				0		
				0		
2	173.6732972	0.761770197	38.6	69.8	32.45	2
3	184.6586141	1.050091302	81	88.4	32.45	3
4	141.383103	0.593063849	36	50.2	32.45	4
			135.6	135.6		
				0		
				0		
5	67.38494789	0.892827443	51.9	77.4	52.41	5
6	61.98608846	0.852083654	52.6	74	52.41	6
7	66.7860599	0.766508839	43.1	64.8	52.41	7
			147.8	147.6		
				0		
				0		
10	32.92116217	0.447131087	44	57.4	43.04	10
11	142.4721648	1.387421438	70.6	104.6	43.04	11
12	79.30470408	0.892075113	59.9	77.1	43.04	12
			174.5	174.5		
				0		
				0		
8	357.6	1.600481663	107.4	150.1		8
9	283.1	1.152795188	75	104.8		9
			182.4			

CÁLCULOS EN ASERRÍO

mero Troza	Peso Seco Residuo Aserrín1 (Kg)	Residuo húmedo aserrín2 (Kg)	Peso seco aserrín2 (Kg)	Aserrín seco	Vol final bruto (pies tablares)	Vol final bruto (m3)
13	36.71814286	42.7	20.41718813	58.13634098	231.58	0.546482787
14	28.69364047	31.1	14.87080688	43.48424813	171.56	0.404832696
1	37.6785764	53.7	25.87689788	83.36647428	694.82	1.639577139
				0		
				0		
				0		
2	26.07408301	31.2	21.07542481	47.14950782	107.15	0.252843457
3	41.20616709	27.4	18.60864697	69.71370306	150	0.353957242
4	24.31779783	14.2	9.592020178	33.9098178	106.66	0.251667196
				0		
				0		
				0		
5	24.89938489	25.5	12.136628	38.83489089	159.89	0.377294823
6	25.03249678	21.4	10.18432378	35.21682066	89.11	0.210274199
7	20.51141848	21.7	10.32708488	30.83851314	79.94	0.188635613
				0		
				0		
				0		
10	26.06336482	13.4	7.632839463	32.89688437	59.94	0.141441314
11	40.21481085	34	19.36690608	69.68171683	227.23	0.536198027
12	34.11993159	17.2	9.797376018	43.8173076	156.8	0.369531361
				0		
				0		
				0		
8	107.4	42.7	42.7	160.1	289.53	0.683208268
9	76	29.9	29.9	104.8	181.22	0.427827543

CÁLCULOS EN ASERRÍO

Numero Troza	Peso húmedo final bruto (Kg)	Peso seco final bruto (Kg)	Vol final neto (pies tablares)	Vol final neto (m3)	Peso húmedo final neto (Kg)	Peso seco final neto (Kg)
13	563.8343174	308.2910688	213.5	0.503799141	519.8144346	284.2220536
14	417.701941	228.3893936	161.42	0.380905187	393.0137988	214.8905101
1	1691.697731	924.9797084	684.98	1.569163245	1619.045446	885.2551814
2	280.465642	203.3388172	82.92	0.195667563	217.0435001	167.3574869
3	392.6257237	284.655367	148.33	0.360016518	388.2544907	281.4862039
4	279.1830646	202.408943	93.32	0.220208599	244.2655502	177.0935923
5	378.2569661	173.096143	138.49	0.326796923	327.6302911	149.9286062
6	210.8104212	96.47005629	86.81	0.204374912	204.89609	93.76356834
7	189.1166544	86.54265851	61.37	0.144815708	145.1850023	66.43886606
10	120.6383883	70.92062037	56.95	0.134385788	114.6205575	67.3828717
11	457.3350181	268.8570685	185.29	0.437231692	372.924374	219.2339297
12	315.1813749	185.2881073	150.27	0.354594366	302.4412849	177.7984922
8	464.5816225	464.5816225	248.53	0.586459956	398.7927698	398.7927698
9	290.786729	290.786729	158.4	0.369056418	250.960404	250.960404

CÁLCULOS EN ASERRÍO

umen ripios 2 (pies tablares)	Número Troza	Volumen ripios 2 (m3)	Peso húmedo ripios2 (Kg)	Peso seco ripios2 (Kg)
18.08	13	0.042663618	44.0198828	24.06901513
10.14	14	0.02392751	24.68814223	13.49888348
29.84	1	0.070413894	72.65228445	39.72452497
24.23	2	0.067175893	63.4221419	45.98133029
1.87	3	0.003940724	4.371233057	3.169163086
13.34	4	0.031478597	34.91751436	25.31535064
21.4	5	0.0694879	50.62667506	23.1675368
2.5	6	0.005899287	5.914331198	2.706487944
18.57	7	0.043819907	43.93165214	20.10379245
2.99	10	0.007055548	6.01783085	3.537748664
41.94	11	0.098966445	84.41064409	49.62313677
6.33	12	0.014936996	12.74009006	7.489615064
41	8	0.096748313	65.78885271	65.78885271
24.82	9	0.058668125	39.82632498	39.82632498

Volumen Cantoneras (m3)	Residuo húmedo cantoneras (Kg)
0.552609929	570.1768697
0.756905819	780.9671319
0.745370577	769.0651962
0.16803871	175.3038375
0.284294091	315.3521388
0.068408976	75.88239686
0.248267318	248.8904019
0.40800613	409.0465906
0.317733194	318.5434487
0.14239796	121.4543325
0.356868014	304.2099456
0.220652002	188.1989159
0.099248769	67.48916312
0.10040811	68.27547513

CÁLCULOS EN ASERRÍO

Seco cantoneras (Kg)	Por humedad	Número Troza	Rendimiento por Troza (%)
319.8151847	311.7590241	13	28.7583085
433.2517706	427.014079	14	24.05342001
429.5987311	420.5063863	1	52.0483982
130.5518467	127.096049	2	25.68590426
233.0083636	228.63168	3	33.33200813
57.5004714	55.01506963	4	37.13067308
112.4805618	113.8960349	5	36.60247292
185.832649	187.1859436	6	23.98531066
144.5852817	145.7703289	7	18.89289449
72.44058238	71.40029576	10	30.05511585
180.7485407	178.8382484	11	31.51397048
112.0460135	110.6379491	12	39.74938431
67.48916312	67.48916312	8	36.64317424
68.27547513	68.27547513	9	32.01430935

CÁLCULOS CAMPO (3 páginas)

CÁLCULOS EN CAMPO

e Arbol	Especie	Fuste comercial (m3)	Ramas comerciales (m3)	Ramas desechadas (m3)	Aletones (m3)	Fuste no aprovechado (m3)	Ramas 10-20 (m3)	Ramas <10 (m3)
159	Cedro macho	7.054781993		4.249490583	0.787215		0.388771763	0.186531906
164	Cedro macho	7.23508177		1.989082001	0.44444		0.335757431	0.166896969
165	Cedro macho	11.76211296		1.861902583	0.90477		0.42411465	0.196349375
170	Cedro macho	3.445091156		0.756418296	0.255101		0.2827431	0.1570795
172	María	3.749792007	0.821098529	1.395464826		0.883996302	0.353428675	0.149225525
127	María	12.84418494		2.723363868			0.494800425	0.1570795
130	María	7.026519464	1.166064353	2.216643072		2.650317973	0.441786094	0.149225525
137	María	6.446136237		0.85865447			0.408443206	0.168860463
209	Nancitón	3.822209583		2.779784861		0.602840098	0.247400213	0.113882638
241	Nancitón	3.984496268	0.344590012	3.607280648			0.318085988	0.149225525
160	Nancitón	7.66086539		5.981483688			0.2827431	0.215984313
176	Nancitón	3.524288185		1.787642268			0.247400213	0.153152513
11	Guapinol	13.78902756		3.250271343			0.371100319	0.1570795
9	Guapinol	9.05720397		9.589959318			0.2827431	0.215984313
5	Guapinol	9.494964902		4.842228878			0.353428675	0.153152513
4	Guapinol	10.1566623		6.54866399			0.318085988	0.176714438
12	Ceiba	13.78682354	2.238263102	4.193379802	0.5487	1.634256113	0.300414544	0.137444563
145	Ceiba	10.19363123		5.389688537	1.331946	2.837248469	0.371100319	0.190458894
	Ceiba	39.6635555		18.89153579	3.7913075	4.927387568	0.70685775	0.490873438

CÁLCULOS EN CAMPO

Nº de Árbol	Volumen derribado (m3)	Volumen total desechado (m3)	Volumen total aprovechado (m3)	Volumen total del árbol (m3)	Volumen residuos (m3)
159	3.774453881	5.612009232	7.054781993	12.66679122	8.811159444
164	1.39800755	2.936176401	7.23508177	10.17125817	3.831529551
165	5.854674978	3.387136608	11.76211296	15.14924957	8.621347561
170	0.854119781	1.451341896	3.445091156	4.896433052	1.865639077
172	0	2.782115528	4.570890536	7.353006063	2.279431128
127	3.710571219	3.375243793	12.84418494	16.21942873	6.433935087
130	3.81649778	5.457972664	8.192583817	13.65055648	8.683458825
137	0.525902166	1.433958139	6.448136237	7.880094376	1.384556636
209	0.369765143	3.743907808	3.822209583	7.566117391	3.752390101
241	0.920014632	4.074592161	4.32908628	8.403878441	4.52729528
160	4.353788209	6.4802111	7.66086539	14.14107649	10.3352719
176	1.714993981	2.188194993	3.524288185	5.712483178	3.502636249
11	3.303939517	3.778451161	13.78902756	17.56747872	6.55421086
9	1.850082351	10.08868673	9.05720397	19.1458907	11.44004167
5	0.316672272	5.348810266	9.494964902	14.84377517	5.15890115
4	1.197283511	7.043464415	10.1566623	17.20012671	7.745947501
12	0.929360862	6.814194026	16.02508664	22.83928068	7.305695782
145	1.564158391	10.12044222	10.19383123	20.31427345	11.1230414
?	3.163227701	26.80796204	39.6635555	68.47151754	28.77345855

CÁLCULOS EN CAMPO

Árbol	HUMEDAD bh (%)	Densidad verde (Kg/m3)	Densidad anhidra (Kg/m3)	Peso húmedo residuos (Kg)	Peso seco residuos (Kg)
159	36.75	724.7852389	530	6396.198302	4039.147053
164	36.75	724.7852389	530	2777.036061	1756.42166
165	36.75	724.7852389	530	6248.625452	3952.134883
170	36.75	724.7852389	530	1352.187664	855.2325751
172	41.21	852.9218587	604	1944.202222	1142.953164
127	41.21	852.9218587	604	5487.643873	3228.063554
130	41.21	852.9218587	604	7406.311841	4354.005699
137	41.21	852.9218587	604	1180.91862	694.2357425
209	45.32	1031.789045	710	3871.674999	2116.938942
241	45.32	1031.789045	710	4671.213673	2554.107495
160	45.32	1031.789045	710	10663.82032	5830.720944
176	45.32	1031.789045	710	3613.98171	1976.038438
11	27.50	1109.246195	870	7270.233455	5270.951055
9	27.50	1109.246195	870	12689.82269	9200.176954
5	27.50	1109.246195	870	5722.491469	4148.831345
4	27.50	1109.246195	870	8592.162789	6229.355604
12	67.49	569.4595422	340	4160.298178	1352.591955
145	67.49	569.4595422	340	8334.122062	2059.343389
	67.49	569.4595422	340	18385.32054	5327.178919

## CÁLCULOS DE HUMEDAD

## CÁLCULOS DE HUMEDAD

### MADERA

NO	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN	TARA	TARA + PSH	TARA + PSS	PSH	PSS	% HUMEDAD bs	% HUMEDAD
1	1	María	28.34	65.14	49.97	36.80	21.63	70.10	4
2	2	Nancitón	27.79	64.45	47.84	36.66	20.05	82.29	4
3	3	Mora	29.02	61.70	53.13	52.68	24.11	118.52	5
4	4	Ceiba 1	29.54	58.34	38.87	28.80	9.33	208.60	6
5	5	Ceiba 2	30.02	63.16	41.30	33.14	11.28	193.75	6
6	6	Ceiba 3	28.50	60.59	38.48	32.09	9.98	221.66	6
7	7	Cedro macho 1	20.44	74.02	58.11	44.58	28.67	55.51	3
8	8	Cedro macho 2	29.24	62.92	49.86	33.68	20.62	63.38	3
9	9	Cedro macho 3	29.69	68.55	54.65	38.86	24.96	55.69	3
10	10	Guapinol	28.78	65.93	55.72	37.15	26.94	37.93	2

### CORTEZA

NO	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN	TARA	TARA + PSH	TARA + PSS	PSH	PSS	% HUMEDAD bs	% HUMEDAD
1	1c	Mora	29.89	46.86	41.11	16.97	11.22	51.26	3
2	2c	Guapinol	29.46	42.63	37.08	13.17	7.62	72.73	4
3	3c	María	29.77	49.04	45.38	19.27	15.61	23.49	1
4	4c	Nancitón	28.95	44.57	39.72	15.62	10.77	45.06	3
5	5c	Ceiba	29.84	53.86	39.81	24.02	9.97	141.02	5
6	6c	Cedro macho	29.14	52.28	42.48	23.14	13.34	73.45	4

### ASERRÍN

NO	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN	TARA	TARA + PSH	TARA + PSS	PSH	PSS	% HUMEDAD bs	% HUMEDAD
1	1	María 1	28.29	67.90	50.85	39.61	22.56	75.56	4
3	3	Mora 1	30.11	79.42	53.84	49.31	23.73	107.82	5
4	4	Mora 2	27.38	81.61	52.90	54.23	25.52	112.49	5
5	5	Nancitón	30.11	82.40	55.11	52.29	25.00	109.14	5
6	6	Guapinol	29.98	96.20	74.71	66.22	44.73	48.04	3

### DENSIDAD CORTEZA

Especie	Peso (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Kg/m <sup>3</sup>
Mora	27.02	24	1.13	1125.65
Guapinol	38.12	34	1.12	1121.14
María	10.86	15	0.72	723.68
Nancitón	22.12	35	0.63	632.02
Ceiba	52.60	50	1.05	1052.02
Cedro macho	29.46	34	0.87	870.00

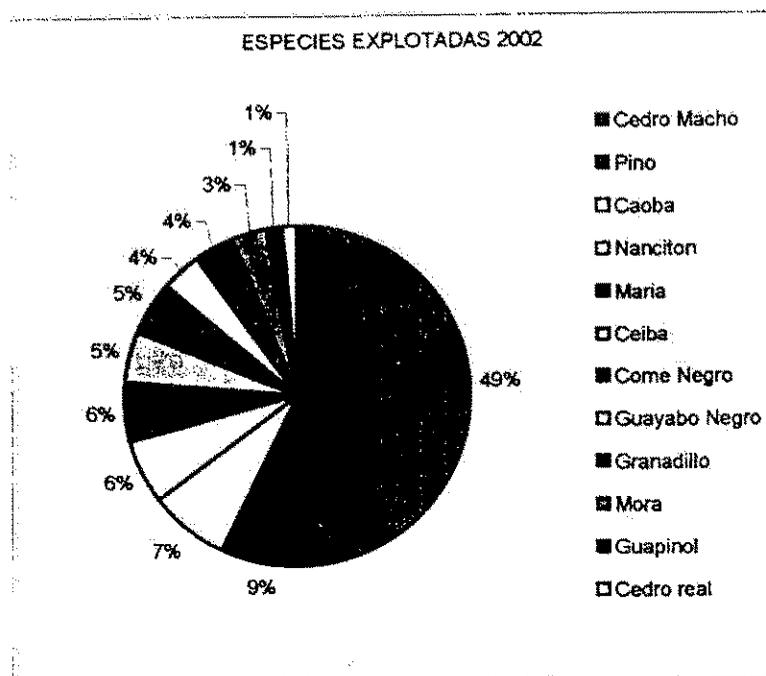
## ANEXO III. INFORMACIÓN EXTRACCIÓN E INGRESOS DE MADERA

Tabla 1. Extracción de madera en Rosita según Permisología 2001-2002

Permisología	2001			2002			Total	%
	Ha.	Árboles	M <sup>3</sup>	Ha.	Árboles	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>
POA	1,616	936	2,933.59	980	2,903	13,016.45	15,950.04	86.64
P.R.A	90	271	509.552				509.55	2.768
P. Domiciliares	84	131	968.032	60	139	590.63	1,558.66	8.466
Subasta	81.6	174	126.122		85	265.64	391.76	2.128
<b>Total General</b>	<b>1,872</b>	<b>1512</b>	<b>4,537.30</b>	<b>1,040</b>	<b>3,127</b>	<b>13,872.72</b>	<b>18,410.01</b>	<b>100.00</b>

Fuente, INAFOR Distrito II, 2001-2002

Gráfico 1. Extracción Por especies en Triángulo Minero



Fuente: (URACCAN, 2003)

Tabla 2. Ingreso de Madera en Prada.

Año 2001	Volumen (m3)	Año 2002	Volumen (m3)
Enero	824,91	Enero	1771,85
Febrero	940,18	Febrero	1511,84
Marzo	1335,55	Marzo	2424,51
Abril	2251,86	Abril	2173,24
Mayo	1273,1	Mayo	5481,1
Junio	1907,75	Junio	1661,96
Julio	1178,72	Julio	1144,7
Agosto	872,22	Agosto	2012,66
Septiembre	638,86	Septiembre	613,47
Octubre	938,6	Octubre	1438,65
Noviembre	1035,75	Noviembre	547,5
Diciembre	1127,33	Diciembre	1105,86
<b>TOTAL</b>	<b>14324,83</b>		<b>21887,34</b>

Fuente: Prada S.A. (2003)

Gráfico 2. Ingreso Madera 2001

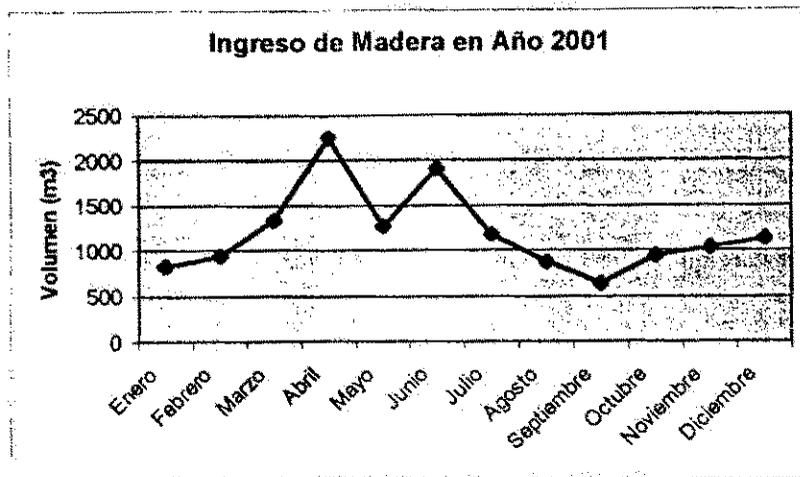


Gráfico 3. Ingreso Madera 2003

