

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO

RECIBIDO
16. 01. 1999

**EVALUACION ECONOMICA Y AMBIENTAL DE LOS DESECHOS
FORESTALES PRODUCIDOS EN LOS ASERRADEROS DE LA
REGION HUETAR NORTE DE COSTA RICA**

POR

JOSE ALBERTO SOTO SANDOVAL

CATIE

Turrialba, Costa Rica
1999

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACION PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSGRADO**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS DESECHOS
FORESTALES PRODUCIDOS EN LOS ASERRADEROS DE LA
REGIÓN HUETAR NORTE DE COSTA RICA**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito parcial para optar al grado de :

Magister Scientiae

Por

José Alberto Soto Sandoval

Turrialba, Costa Rica
1999

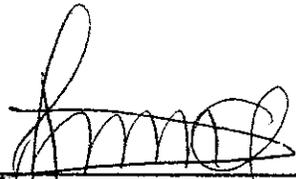
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

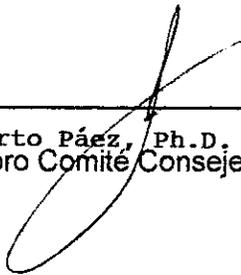
FIRMANTES:



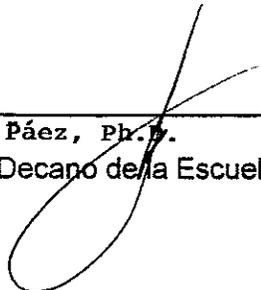
Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Consejero Principal



Johnny Méndez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Gilberto Páez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Gilberto Páez, Ph.D.
Director y Decano de la Escuela de Posgrado



José Alberto Soto Sandoval
Candidato

DEDICATORIA

A María, Madre de Dios por permitirme desarrollar la fe necesaria para concluir el presente estudio

A mi esposa Rosa Elena por su comprensión, paciencia, fe y el amor que me brindó durante este tiempo de estudio y preparación

A mis hijos, Natalia y José Pablo, por el amor y las alegrías que me dieron durante momentos difíciles, su existencia fue un estímulo precioso para culminar esta meta

A Isabel, porque en ella se encuentra la persona generosa y comprensiva que brinda el apoyo incondicional, y en esta etapa de mi vida ha depositado su confianza en mi acogiéndome como a un hijo

José

AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mi agradecimiento a las siguientes personas :

Al Dr. Juan Antonio Aguirre, por su apoyo y dirección en este trabajo, las sugerencias y el tiempo que me dedico

Al Dr. Gilberto Páez, por su disponibilidad y colaboración, así como los consejos en el análisis estadístico e interpretación de los datos

Al M.Sc. Johnny Méndez, por su apoyo en el periodo de evaluación, así como por las sugerencias hechas para el documento

A los Propietarios de los aserraderos, que brindaron la información necesaria para este estudio, especialmente aquellos que permitieron evaluaciones en sus empresas

Al Sr. Johnny Pérez, por su colaboración en el análisis estadístico de los datos

A los profesores de la maestría por sus enseñanzas y consejos durante este tiempo de preparación

Al Personal administrativo de la Escuela de Posgrado y del Area de Economía que con su ayuda hicieron que esta maestría fuera posible

Al Personal de la Biblioteca Orton, por su disponibilidad al momento de las consultas sobre el material bibliográfico

A mis compañeros de estudio por brindarme su amistad, apoyo y compartir esta etapa de mi vida

A la Sra. Marta Núñez por su valiosa ayuda y el tiempo dedicado en la revisión de la estructura del texto

A todas aquellas personas que con su aporte lograron que este estudio llegara a buen termino y fuera posible la obtención de mi maestría

José

SOTO S., J. A. 1999. Evaluación económica y ambiental de los desechos forestales producidos en los aserraderos de la Región Huetar Norte de Costa Rica. Tesis de M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves : Residuos forestales, Aserrío, Costo ambiental, Valoración económica

Resumen

Usos alternativos de materiales que actualmente son considerados como desechos en las aserraderos, tales como, el aserrín, borucha, cabería y costillas, dependen del volumen de residuos disponibles y la calidad de los mismos. En este sentido, la cuantificación de los distintos desechos forestales se convierte en el pilar de cualquier estrategia de aprovechamiento de los residuos.

Debido a que la Región Huetar Norte de Costa Rica posee el mayor potencial para el desarrollo forestal del país, y que en la actualidad evidencia procesos activos de extracción de madera y pérdida de cobertura forestal, 4.5 por ciento menos que en 1986/87 de acuerdo con un estudio realizado por CIEDES - CCT (1998), se decidió hacer una evaluación económica y ambiental del manejo de residuos en los aserraderos en la región, de manera que la información generada sirva de apoyo en la definición de las políticas relevantes para la modernización del sector.

Se realizaron entrevistas a los propietarios/administradores a una muestra de 21 aserraderos de la zona. Para tomar la información se diseñó un cuestionario con los aspectos de interés, como producción, materia prima, instalaciones, equipo, residuos, producto final. Sobre estos rubros se recopiló información de carácter físico (cantidad, dimensiones, manejo) y económico (costo, precio) necesaria para la evaluación. También se estudió el caso específico de un aserradero donde se realizaron evaluaciones sobre el porcentaje de recuperación de la madera en el proceso de transformación troza/producto.

Basándose en tres criterios principales, volumen procesado, obtenido y beneficio neto se agruparon las industrias utilizando la técnica de agrupamiento diferenciado. Los resultados indican que en la región hay tres grupos de industrias. En uno de estos grupos se

procesa madera de plantación exclusivamente. Los aserraderos que pertenecen a los otros grupos procesan casi en su totalidad madera proveniente del bosque natural.

No se encontraron diferencias importantes en cuanto al porcentaje de rendimiento de las industrias, sin embargo, se logró establecer que el método de medición de la madera en troza empleado en los aserraderos tradicionales subestima el volumen de madera. Se calculó un factor de corrección que corresponde a 0.3667 veces más el volumen que registran. Este factor fue aplicado a los datos de volumen procesado registrado en las encuestas para poder estimar el volumen de residuos. El porcentaje de desechos representa entre 51 y 55 por ciento del volumen de madera que se procesa. El volumen de residuos que se genera durante el proceso de aserrío se puede estimar correctamente a partir de los volúmenes de los diferentes tipos de madera.

El costo ambiental en que incurren las industrias se calculó considerando la cantidad de carbono en los residuos que puede ser liberada a la atmósfera. Para un valor de 10 dólares la tonelada de carbono, el costo ambiental estimado según el volumen de residuos que está generando el proceso de aserrío actual, representa como máximo un 15 % de los beneficios que percibe la industria. La aplicación de un costo al daño ambiental ocasionado por la emisión de carbono desde los residuos podría tener diferentes reacciones según el tipo de industria. Es posible que los aserraderos que procesan madera de plantación decidan invertir para mejorar su proceso de producción, mientras que las industrias procesadoras de madera del bosque, especialmente aquellas con bajo margen de contribución, decidan abandonar la actividad dada la reducción continua que ha experimentado la materia prima.

Un balance de la contribución de los bosques y plantaciones al servicio de fijación de carbono, requiere incorporar la cantidad de carbono que se emite a la atmósfera desde los residuos forestales que se generan durante el proceso de transformación troza/producto.

Soto S., J. A. 1999. Economical and environmental evaluation of forests refuses produced in the sawmills the North Huetar Region of Costa Rica. Thesis Mag. Sc., CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Key words : environmental cost, saw process, handling of residues, carbon emissions

Summary

Alternative uses of wood that nowadays are considered as residues by national industry, such as bark wood chips and sawdust, depend on the volume of available residues and the quality of the same. In this sense, the quantify of the different forests refuses is converted in the pillar of any advantage strategy.

Because the North Huetar Region of Costa Rica possesses the greater potential for the country forest development and it at the present time evidences active processes of wood extraction and loss of forest cover, 4.5 percent less that in 1986/ 87 in accordance with a study carried out by CIEDES- CCT (1998), it was decided to make an economical and environmental evaluation of residues handling in the region sawmills, so that the generated information be used as support in relevant politics definition for the sector modernization.

Interviews to the sawmills owners/managers were made. Data was collected from 21 sawmills of the zone. In order to take the information a questionnaire was designed with aspects of interest, as production, primary material, installations, equipment, residues, final product. It was obtained information about physical character (quantity, dimension, handling) and economical (cost, price) necessary for the evaluation. The specific case of a sawmill was also studied. Evaluations on wood recovery percentage in the process of transformation primary wood /product were carried out.

Being based on three principal criterions, processed and obtained volume, and net profit, groups of industries were formed utilizing a clustering technique. The results indicate that there are three groups of industries in the region. One of these groups only process wood plantation. The sawmills that belong to other groups process almost as a whole wood from the natural forest.

For the yield percentage no important differences were found between industries, however, it was possible to establish that the measurement method of primary wood employed in the traditional sawmills underestimate the wood volume. A correction factor was calculated, which correspond to 0.3667 time plus the volume that they register. This factor was applied to the data of processed volume registered in the survey in order to estimate the residues volume. The refuses percentage represent between 51 and 55 percent of the wood volume that is processed. The wood residues generated by saw process could be correctly estimated from the volume of the differents wood types.

The environmental cost for the industries was calculated considering the carbon quantity in the residues that could be released to the atmosphere. For a value of 10 dollars the ton of carbon, the environmental cost estimated according to the residues volume that is generating the current saw process, represents a 15 percent of the industry benefits as maximum. The application of a environmental cost to the damage occasioned by the carbon emission from the residues could have several reactions according to the industry type. It is possible that the sawmills that process wood from plantations decide to invest in order to improve their production process, while the industries that process natural forest wood, especially those with low margin of contribution, they decide to leave the activity because of the continous reduction that has experienced the primary material.

To estimate the real contribution of forests and plantations to the carbon fixation service requires to incorporate the quantity of carbon that is emitted to the atmosphere from the forests residues generated during the transformation process of the wood.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
<i>Objetivo general.....</i>	<i>3</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>
1.3 HIPÓTESIS.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL ASERRÍO	5
2.2 RESIDUOS EN EL ASERRADERO	6
2.2.1 <i>Clasificación y volumen de residuos.....</i>	<i>6</i>
2.2.2 <i>Factores que afectan la producción de residuos</i>	<i>7</i>
2.2.3 <i>Usos alternativos de los residuos de madera de la industria forestal.....</i>	<i>8</i>
2.3 LA INDUSTRIA FORESTAL Y SU RELACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE ANHÍDRIDO CARBÓNICO EN LA ATMÓSFERA	11
2.4 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL FORESTAL EN COSTA RICA	12
2.4.1 <i>El recurso Forestal en Costa Rica.....</i>	<i>12</i>
2.4.1.1 <i>Cobertura boscosa de la Región Huetar Norte</i>	<i>14</i>
2.4.2 <i>La industria Forestal en Costa Rica.....</i>	<i>14</i>
2.5 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA.....	18
3.2 RECOLECCIÓN DE LOS DATOS	18
3.2.1 <i>Información preliminar.....</i>	<i>18</i>
3.2.2 <i>El cuestionario.....</i>	<i>19</i>
3.2.3 <i>Evaluaciones para estimar el volumen real de una troza.....</i>	<i>20</i>
3.2.4.2 <i>Determinación del volumen de residuos.....</i>	<i>22</i>
3.3 <i>Valoración de los residuos</i>	<i>24</i>
3.4 ANÁLISIS DE DATOS	26
3.4.1 <i>Análisis estadístico.....</i>	<i>26</i>
3.4.2 <i>Análisis de rentabilidad.....</i>	<i>27</i>
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA INDUSTRIA DE ASERRÍO DE LA REGIÓN HUETAR NORTE.....	29
4.2 VOLUMEN DE MADERA PROCESADA EN LA REGIÓN HUETAR NORTE.....	36
4.3 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE RESIDUOS MEDIANTE REGRESIÓN.....	39
4.4 ESTIMACIÓN DEL COSTO AMBIENTAL	41
4.5 ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL DE LOS RESIDUOS	44
4.6.1 DESCRIPCIÓN DE LA INDUSTRIA.....	46
4.6.1.1 PATIO DE TROZAS	46
4.6.1.2 SECCIÓN DE ASERRÍO.....	47
4.6.2 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINARIA Y EQUIPO	47
4.6.3 DESCRIPCIÓN ORGANIZATIVA	48
4.6.4 VOLUMEN PROCESADO Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	49
4.6.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y VOLUMEN DE MATERIA PRIMA	50

4.6.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA EMPRESA	52
4.6.6.1 COSTOS DE OPERACIÓN E INGRESO	52
4.6.6.2 COSTOS DE MANEJO DE LOS RESIDUOS.....	53
4.6.6.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO AMBIENTAL	54
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
VI. LITERATURA CONSULTADA.....	59

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de estadísticas de los principales componentes del proceso de aserrío	31
Cuadro 2. Distribución del volumen de madera para los grupos de aserraderos identificados en la Región Huetar Norte de Costa Rica.	31
Cuadro 3. Resumen de estadísticas para el beneficio neto de las empresas.....	33
Cuadro 4. Resumen del análisis de medias para las variables evaluadas	34
Cuadro 5. Volumen promedio de madera por grupo de aserraderos de la Región Huetar Norte, para un periodo mensual.....	37
Cuadro 6. Estadísticas para la prueba de hipótesis realizada a cada grupo de empresas	38
Cuadro 7. Volumen de residuos promedio estimado para cada grupo según la clase de madera para un periodo mensual.	40
Cuadro 8. Cantidad de biomasa seca y contenido de carbono en los residuos por grupo de empresas para un periodo mensual	41
Cuadro 9. Valor estimado del costo ambiental e impacto en la rentabilidad de la industria	42
Cuadro 10. Valor estimado del costo ambiental por mes para diferentes precios de carbono....	43
Cuadro 11. Valor económico de los residuos para un periodo mensual	45
Cuadro 12. Descripción técnica de la maquinaria del aserradero A.....	48
Cuadro 13. Volumen de madera procesada durante el primer semestre de 1999.....	49
Cuadro 14. Distribución en porcentaje y volumen de los diferentes componentes de la muestra según tipo de madera.	51
Cuadro 15. Volumen de residuos estimado por mes según tipo de madera	51
Cuadro 16. Flujo de fondos mensuales para la Empresa A	53
Cuadro 17. Calculo del costo ambiental por mes para el Aserradero A.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema funcional de la industria de aserrío	29
Figura 2. Grupos promedio de dos ejes canónicos de transformación	30

I. Introducción

1.1 Caracterización del problema

La transformación de madera rolliza en madera aserrada y otros productos acabados es uno de los procesos llamados al cambio tecnológico en nuestro país. Tradicionalmente, la industria forestal primaria en Costa Rica se ha caracterizado por su baja eficiencia en el aprovechamiento de la materia prima. De acuerdo con información de los censos de la Dirección General Forestal, el porcentaje de transformación en aserrío está entre 35 y 50 por ciento. El bajo nivel de rendimiento se torna preocupante para el sector forestal, pues las existencias de bosque natural se han reducido sustancialmente en las últimas décadas y la materia prima escaceo como consecuencia de la deforestación y las políticas de protección tomadas por el gobierno, que ha llevado a convertir en áreas protegidas casi la totalidad del bosque natural remanente del país.

Una razón más, para pensar en mejorar el proceso de transformación y aprovechamiento de la troza, es que la industria maderera como consecuencia de la pérdida del bosque natural, a corto plazo dependerá de las plantaciones forestales y del bosque bajo manejo para abastecerse de materia prima. Actualmente en el país existe alrededor de 150000 ha con plantaciones forestales, lo cual no representa un inventario que asegure la disponibilidad de materia prima a las industrias en el largo plazo. Por otro lado, se debe afrontar el problema del equipo con que se dispone en los aserraderos para procesar la materia prima proveniente de estos sitios, ya que el diámetro de las trozas es significativamente menor y el equipo que se utiliza en los aserraderos convencionales aumentaría el porcentaje de residuos.

Si se considera que la industria maderera es la encargada de dar valor agregado al producto forestal y contribuir a la conservación y desarrollo de los recursos forestales mediante el aprovechamiento apropiado de la materia prima, se entiende la necesidad de mejorar los rendimientos hasta ahora obtenidos y buscar alternativas para el

aprovechamiento de los distintos residuos que se generan en el proceso de transformación primario de la madera.

La mayoría de residuos tales como el aserrín, borucha cabería y costillas que se producen durante el proceso de aserrío, moldurado y cepillado, generalmente tienen como destino su acumulación en los patios de los aserraderos donde posteriormente son quemados, liberando con ello gran cantidad de CO₂ al ambiente, o son utilizados como relleno ocasionando problemas de operación en el patio al formar un piso falso.

Para mejorar la eficiencia del sector industrial forestal primario es necesario crear conciencia en los empresarios y organizaciones relacionadas con el sector, sobre la importancia y los beneficios que puede generar la reducción de la cantidad de residuos y el manejo adecuado de los que se producen. No cabe duda que algunos usos alternativos dependen de la cantidad de residuos disponibles y la calidad de los mismos. En este sentido, la cuantificación de los distintos desechos producto del aserrío, se convierte en una herramienta valiosa de incorporar, como un primer paso para evaluar el uso potencial de los residuos, a la vez que permite una visión más clara de la verdadera situación de la industria y de las perspectivas que se tienen.

Debido a que la Región Huetar Norte posee el mayor potencial para el desarrollo forestal del país, y que en la actualidad evidencia procesos activos de extracción de madera y pérdida de cobertura forestal, 4.5 por ciento menos que en 1986/87 de acuerdo con un estudio realizado por CIEDES - CCT (1998), el presente estudio propone cuantificar y hacer una valoración económica del manejo de residuos en los aserraderos en la región, como un mecanismo para incentivar la búsqueda de alternativas que sean técnica y económicamente viables para un mejor aprovechamiento de los residuos que se producen y aumentar los rendimientos en el proceso.

1.2 Objetivos

Objetivo general

El objetivo principal de este trabajo es determinar el volumen de residuos que producen las empresas de aserrío de la región Huetar Norte y poder de esta manera cuantificar los costos ambientales asociados al manejo y tratamiento de los desechos producidos en este proceso de transformación de la madera, a la vez determinar el impacto que tiene en la rentabilidad de esta actividad.

Objetivos específicos

Identificar los mecanismos que utilizan las empresas para deshacerse de los residuos que producen durante el proceso y determinar el costo asociado a cada uno de ellos, de tal manera que a partir de esta información se pueda establecer el costo ambiental correspondiente a la conversión troza/ producto aserrado.

Determinar el volumen de residuos que se produce bajo las condiciones tecnológicas que se presenten en la región, con el objeto de establecer la eficiencia económica y ambiental de las empresas y con ello la pérdida económica asociada al nivel de aprovechamiento de la materia prima de cada uno de los sistemas de producción.

Cuantificar el volumen total de residuos que se produce en la región bajo las condiciones actuales de disponibilidad de materia prima, así como el número de aserraderos y tecnología existente, de manera que la información generada sirva de apoyo en la definición de las políticas relevantes para la modernización del sector.

1.3 Hipótesis

El volumen de desperdicio de los aserraderos es superior al volumen de madera que se transforma en productos duraderos.

La incorporación a la contabilidad de las empresas, de los costos ambientales asociados con el manejo actual de los residuos provocara una reducción de un tercio en la rentabilidad de la empresa.

II. Revisión de Literatura

2.1 Descripción de la Industria del Aserrío

Un aserradero se puede concebir como una combinación de máquinas de diferente tipo que permiten la transformación de las trozas de madera en piezas de diferente acabado. Los aserraderos se pueden clasificar según su sistema básico de corte en aserraderos de banda y de sierra circular. También se pueden encontrar otros tipos de aserraderos que salen de la descripción anterior como son las sierras múltiples que producen astillas para pulpa de la parte exterior de la troza y tablas de la parte interior y los aserraderos cuya sierra principal solamente prepara la troza para ser reaserrada con sierras múltiples o reaserradoras (Zamudio, 1980).

De acuerdo con Zamudio (1980) y FAO (1986), el proceso básico de aserrío comprende las siguientes actividades:

1. Recepción, medición y almacenamiento de las trozas en patio
2. Acercamiento de las trozas al aserradero
3. Preparación de trozas para su aserrío : Trozado y descortezado
4. Aserrío : alimentación de las trozas a la sierra
5. Reaserrío
6. Saneamiento de defectos y trozado
7. Medición de las piezas aserradas y clasificación de las mismas
8. Tratamiento de preservación para proteger del ataque de insectos, hongos o intemperización
9. Secado de los productos aserrados

La ejecución de este proceso varía según el tipo de equipo con que se cuente, las especies de madera a cortar, los productos a obtener y el grado de mecanización que se pretenda.

La disposición de equipos en el aserradero tiene múltiples soluciones y depende de varios factores que entran en juego : volumen de la producción, tipos de piezas a obtener, tipos de maderas a elaborar, dimensiones máximas y promediales de los rollos, forma de

energía a utilizar, relación local entre costo de mano de obra y costo de máquinas, nivel de industrialización de un país o de una región, características del lugar de emplazamiento, permanencia o transitoriedad de la empresa, grado de elaboración a alcanzar, capacidad económica del empresario (Tuset y Duran, 1979).

A través del aserrío se pueden obtener productos de distintas dimensiones como tablas, que son piezas de madera aserrada en las que una de las dimensiones es sensiblemente menor que las otras y que se producen desde 1.5 mm de grosor en adelante. Además se pueden producir piezas de mayor dimensión y grosor, como cuadrados, viguetas, vigas, durmientes, entre otros. De las trozas de más alta calidad en algunas maderas, se producen piezas de sección rectangular para la producción de chapas (Zamudio, 1980).

2.2 Residuos en el aserradero

2.2.1 Clasificación y volumen de residuos

En cada una de las actividades del proceso productivo en un aserradero, aparece una serie de residuos. Los más comunes de encontrar son : desechos por el troceado, costillas, médula y leño circundante, cantos redondeados, despuntes, desechos por clasificación de piezas escuadradas, correcciones del espesor, aserrín, virutas del cepillado. Esta lista explica porque los residuos pueden llegar a significar hasta el 60 o 65 por ciento del volumen de madera ingresada a un aserradero en forma de rollos con corteza (Tuset y Duran, 1979).

Un informe publicado por la FAO en 1991, señala que la producción real de residuos o desperdicios, producidos con la fabricación de productos madereros, es distinta de una instalación a otra y depende de varios factores, que van desde las propiedades de la madera al tipo, funcionamiento y mantenimiento de la industria elaboradora. Sin embargo, se pueden aplicar unos promedios de acuerdo al tipo de industria. Para países en desarrollo la proporción de residuos generados en las industrias de aserrío y fabricación de tableros

contrachapados es de 43 a 45 por ciento, en tanto que la fabricación de tableros de partículas produce apenas un 5 % de desperdicios.

2.2.2 Factores que afectan la producción de residuos

La madera esta sujeta a variaciones en su calidad debido a una serie de factores, los cuales se manifiestan como irregularidades que afectan sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y con ello determinan los usos que puede tener una troza y su grado de aprovechamiento.

Tuset y Duran (1979), señalan que las imperfecciones presentes en una troza pueden ser de índole natural, aquellas que han producido durante la vida del árbol, o provocadas por agentes externos y en la manipulación de las mismas. Dentro de los defectos de estructura a que hacen referencia, los que contribuyen a un menor aprovechamiento del árbol son las tensiones de crecimiento, que se pueden detectar en todas las especies forestales como consecuencia de la maduración de los tejidos. Estas fuerzas de gran magnitud que soportan los tejidos, son liberadas una vez que los árboles son derribados y se manifiestan mediante la separación de los elementos leñosos en forma de grietas o rajaduras en los extremos de los rollos o de las piezas aserradas. Estas tensiones provocan alabeos durante la operación de aserrado, requiriéndose, en muchas ocasiones el reaserrado de las piezas, a fin de obtener productos aceptables en forma y dimensiones. Otro efecto negativo de las tensiones de crecimiento, hacen que la madera inmediata a la médula tenga aplicaciones muy limitadas, salvo su uso como materia prima para pulpa y tableros o para leña.

De acuerdo con Serrano (1991), el rendimiento en aserrío también es afectado por el diámetro de la troza, el cual influye sobre el volumen en forma exponencial (cuadrática). Debido a que el volumen producido de madera aserrada es el que determina el resultado económico de la industria, en el caso de empresas que trabajan con diámetros menores, solamente un mayor número de trozas procesadas puede compensar la reducción en los diámetros, lo cual significa un gran volumen de desperdicios (costillas, orillas, despuntes,

aserrín), disminuyendo de esta forma la productividad del proceso y consecuentemente los beneficios económicos.

En cuanto al equipo que se utiliza para aserrar existen diferencias en el aprovechamiento de la troza. Al respecto, Zamudio (1980), cuando describe el equipo de aserrío, menciona que la ventaja principal de la sierra de banda estriba en que su desperdicio es mucho menor que con las sierras circulares. Esto es así, porque el ancho de la traba del diente es mucho más angosto para un mismo tipo de madera, además que su tensión sostenida por ambos extremos evita desviaciones del plano de corte que se traducen en mayores refuerzos para asegurar un grosor mínimo de tabla.

Por otro lado, la reducción de residuos en el aserradero se puede lograr con ciertas disposiciones como el aserrado selectivo de los rollos, considerando la presencia de defectos; el adecuado mantenimiento de discos y hojas, lo mismo que el de volantes, platinas, carros; la utilización de discos, cintas sinfín y hojas de alternativas del menor espesor posible; la transformación de parte de los residuos (costillas, cantos, despuntes, médula) en partículas, sea durante el proceso de escuadrado de las piezas, mediante sierras astilladoras y canteadoras astilladoras o fuera del proceso, en astilladoras anexas (Tuset y Duran, 1979).

2.2.3 Usos alternativos de los residuos de madera de la industria forestal

Los residuos que se generan durante el proceso de aserrío han sido considerados como un subproducto poco aprovechado en muchos aserraderos, por esta razón, se deshacen de ellos incinerándolos en quemadores o los usan en rellenos de terrenos. Sin embargo, estas dos prácticas se han convertido en tema de análisis debido al interés que actualmente existe por el impacto ambiental que generan las actividades humanas. El aumento de los costos energéticos y los problemas que acarrea el manejo de los residuos, ha hecho que los dueños de aserraderos hayan pensado en las ventajas de emplear los residuos como fuente alternativa de combustible, lo cual ha coincidido también con el aumento en la demanda de residuos como material para la fabricación de pasta-papel y tableros, dado el aumento del costo de la madera sólida y su mayor competitividad (FAO, 1991).

La utilización económica de los residuos es un aspecto clave para muchas industrias madereras. El valor agregado que tienen algunos residuos una vez transformados en partículas es mucho mayor, ya que estas se puede destinar a diferentes usos. La transformación de la madera en partículas aporta una serie de ventajas a las industrias ; entre ellas, se transportan con menor cantidad de mano de obra, necesitan menos espacio y se puede aplicar en ellas equipo de movimiento ya experimentados en otros materiales, como

transportadores neumáticos, tornillos sinfín, entre otros. La transformación de la madera redonda en partículas permite aprovechar mejor la capacidad en peso de vehículos, barcos u otros medios de transporte (Tuset y Duran, 1979 ; FAO, 1986).

La organización de la producción de partículas como una industria autónoma o como un rubro complementario del aserradero, se desarrolla con dos motivaciones: a) la utilización de rollos con diámetros reducidos o con defectos que los hacen inaptos para ser aserrados o para ser transformados en chapas; b) el aprovechamiento de trozos de madera que normalmente son residuos del aserradero (costillas, cantos, despuntes). A grandes rasgos, de cada 100 m³ de madera redonda con corteza que entran en un aserradero, 50 m³ se transforman en madera aserrada escuadrada; la otra mitad se integra con la corteza que traen los rollos y con el aserrín, los costillas, los despuntes y los cantos redondeados que se producen durante el aserrado. Cuando estos tres últimos residuos son transformados en partículas, el aprovechamiento de la madera redonda ingresada se mejora con un 25 a 30 por ciento adicional (Tuset y Duran, 1979).

Un estudio realizado en Louisiana por Kleit et. al. (1997), con el objeto de identificar como emplean las industrias de productos forestales los residuos, mostró que la industria primaria (aserraderos, fabricas de playwood, etc) produce alrededor de 6.97 millones de toneladas métricas de residuos anualmente. De este total 6.92 millones de toneladas se utilizan de varias formas. Los aserraderos grandes, generalmente usan los residuos en secadores, hornos o para cogeneración eléctrica. Los excesos son vendidos para elaboración de pulpa/papel. Alrededor de 49,000 toneladas de residuos producidos no se utilizan. Aserraderos pequeños que no cuentan con hornos tienen relativamente bajas

necesidades de energía, por esta razón, venden los residuos que producen precios que son aproximadamente iguales al costo de transporte. El incentivo que tienen para vender los residuos, principalmente corteza y aserrín, a esos precios es prevenir la acumulación de material en la propiedad. El volumen de residuos que genera la industria secundaria, conformada principalmente por fabricas de muebles, es alrededor de 73,000 toneladas. Sin embargo como son pequeñas empresas, las compañías de elaboración de pulpa/papel no muestran interés para establecer contratos de compra de los residuos. Los autores concluyen que es necesario el desarrollo de facilidades de manufactura que utilicen los residuos generados. Las posibilidades incluyen la producción de tableros aglomerados, tableros de uretano, tableros de fibra, producción de alcohol y otras facilidades químicas.

La gasificación de la madera con el propósito de utilizar el gas en motores de combustión interna, es otra alternativa de uso de los residuos de madera. De acuerdo con un informe de la FAO (1993), pequeños gasificadores han sido utilizados en el pasado, especialmente durante la segunda guerra mundial han desempeñado en algunos países un papel importante en la reducción o eliminación de las necesidades de importación de combustibles. El interés por la tecnología de la gasificación esta estrechamente relacionada con el coste relativo y disponibilidad de combustibles fósiles, líquidos, gaseosos. Sin embargo, en países en desarrollo hay un creciente interés por las fuentes nacionales de energía renovables, de las cuales la biomasa en forma de madera o residuos agrícolas, es fácilmente disponible. Diversos tipos de gasificadores se han diseñado de acuerdo al combustible que utilicen, inclusive, en Suecia se tienen experiencias con gasificadores para vehículos a base de tacos de madera y de astillas. Se debe mencionar, no obstante, que la instalación de un sistema gasificador sólo es viable económicamente, si los costos en mantenimiento, servicio y reparaciones se ven compensados por los ahorros realizados en los costes de combustible, ya que el funcionamiento con gas de madera aumenta el tiempo en las labores descritas y tiene un rendimiento menor.

2.3 La industria forestal y su relación con la concentración de anhídrido carbónico en la atmósfera

La composición de la atmósfera se ha visto modificada en las últimas décadas, producto de la continua y creciente emisión de gases con efecto invernadero que generan las actividades humanas. La hipótesis de un futuro calentamiento global como consecuencia del incremento de emisiones de CO_2 , CH_4 , CFC, N_2O , NO_x , y otros gases, es actualmente un tópico caliente en la comunidad científica y el público (Fredrik y Solberg, 1994).

De acuerdo con Jones y Stuart (1994) citados por Segura (1997), una forma de compensar el medio ambiente es a través de las contrapartidas de emisiones de dióxido de carbono, éstas, han sido consideradas como un medio rentable para almacenar el carbono atmosférico en sumideros a largo plazo, tales como los bosques naturales y plantados. Las contrapartidas representan una inversión hecha con el propósito de disminuir el total de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera, aprovechando la capacidad de fijación de CO_2 que poseen las plantas a través de sus procesos fisiológicos.

La producción forestal influencia el flujo de carbono como CO_2 dentro y fuera de la atmósfera por medio de dos procesos, la fijación o asimilación que representa el crecimiento de la biomasa forestal y el proceso de emisión, dado por la descomposición de la biomasa como consecuencia de la muerte natural o relacionado con el uso final que le dan los hombres. Debido al prolongado lapso entre la fijación y emisión de CO_2 relacionado con el crecimiento de la madera, implica que el incremento en la producción de madera podría reducir la cantidad de CO_2 en la atmósfera por un largo periodo (Fredrik y Solberg, 1994).

Tal y como lo menciona Kyrklund (1990), una ordenación forestal basada en cosechar en el mejor momento, convertir la madera con un mínimo de desperdicio en productos duraderos y regenerar debidamente, permite fijar el máximo posible de CO_2 . En su informe hace referencia a estadísticas publicadas por FAO (1988), en las que se señala que para 1986 se consumieron 1,087 millones de m^3 de madera rolliza industrial, equivalentes a 815 millones de toneladas de madera perfectamente seca que a su vez corresponden a 0,41 toneladas de equivalente en carbón (GtCe). De ese total, el equivalente

de 85 millones de toneladas de madera perfectamente seca (0,04 GtCe) se quemaron en las calderas de la industria de pasta y papel. Alrededor de 0,24 GtCe fueron residuos industriales, de los cuales 0,05 GtCe se reutilizaron para pasta y otros 0,05 GtCe se dejaron podrir lentamente como aserrín; el resto se quemó como lena. Por lo menos 0.17 GtCe se convirtieron en productos industriales. Es decir que, por lo menos 0,27 GtCe, o sea más de dos tercios de la cantidad total de madera industrial consumida en 1986, se transformaron en productos que no se reincorporaron inmediatamente al ciclo del carbono. Esto equivale aproximadamente al 10% de la cantidad en que, según se calcula, aumenta anualmente el contenido de CO₂ de la atmósfera.

Sención (1996), indica que la reserva de carbono en un bosque se cuantifica mediante el estudio químico de la composición de este elemento en la biomasa total del bosque, diferenciando según especies y clases diamétricas. Otros autores, como Shroeder (1993), Carranza et. al. (1996), se refieren a la posibilidad de adoptar la hipótesis de que la biomasa contiene un 50% de carbono, siendo posible calcular a partir del volumen de troncos, el equivalente en biomasa seca de un bosque dado.

Debido a la importancia que ha alcanzado el ciclo del carbono en el denominado "efecto invernadero", se ha hecho necesario derivar un valor para el carbono que debe ser adscrito al bosque tropical, para ello se requiere saber (a) el carbono neto liberado cuando los bosques son convertidos a otros usos, y (b) el valor económico de una tonelada de carbono liberada a la atmósfera, Pearce (1996) citado por Soliz (1998).

2.4 Descripción del Sector Industrial Forestal en Costa Rica

2.4.1 El recurso Forestal en Costa Rica

Información presentada por Solórzano (1990), indica que las existencias de bosque en el país para 1987 eran de 1,475,940 hectáreas, de las cuales 972,606 correspondían a áreas de protección y las restantes 503,334 hectáreas representan las áreas no protegidas o sea que apenas un 9.9% de la cobertura boscosa existente no está bajo protección. Hay que destacar que del total de la masa forestal no protegida, el 47 % tenía características de

bosque de amortiguamiento, y cuyas funciones están más ligadas a la conservación de ecosistemas y de biodiversidad de estos complejos sistemas tropicales ; y por otra parte que solo dos regiones forestales, la Zona Norte y la Pacífico Sur, presentaban una superficie relativamente grande de bosques con potencial productor, concentrando el 70.4% de los bosques.

De acuerdo con un estudio reciente (1996/1997), realizado por Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible (CIEDES), de la Universidad de Costa Rica y el Centro Científico Tropical utilizando imágenes de satélite, Costa Rica posee una cobertura total forestal aproximada de 40.3 % del territorio, que corresponde a 2,057,956 ha. Se estima que para 1997 ocurrió una pérdida de cobertura aproximada de un 10 % de la cobertura forestal presente en 1986/1987. Este porcentaje de cobertura forestal incluye bosques primarios, secundarios, manglares, yolillales y plantaciones forestales uya densidad y cobertura foliar permitió ser detectada por el sensor (CIEDES - CCT, 1998).

La diferencia en cuanto a la magnitud de la cobertura total forestal señalada en los estudios citados arriba se explica por la recuperación de algunas áreas y la razón más importante que es de carácter técnico, se refiere a problemas de cobertura en las imágenes de satélite tomadas en 1986.

Los resultados del último estudio de cobertura muestran que durante el periodo 86/87 - 96/97 se deforestaron 164,485 hectáreas o sea un promedio de pérdida de 16,400 ha/año si se considera el error de omisión y de comisión. La tasa de recuperación para el mismo periodo se estimó en 126,772 hectáreas, alrededor de 13,000 ha/año. El estudio indica que la mayoría de las áreas que se deforestan corresponden a bosque natural mientras que las áreas de recuperación consisten en bosques secundarios, por esta razón no es posible afirmar que hay una pérdida neta equivalente a 37713 ha (diferencia entre área deforestada y área recuperada) durante esta década, pues ambos ecosistemas difieren en calidad ecológica (CIEDES - CCT, 1998).

El estudio realizado por CIEDES - CCT (1998), pone en evidencia que regiones como la Zona Norte y la Zona Atlántica del país, presentan procesos activos e importantes

de deforestación 4.5 y 8 por ciento de pérdida de cobertura forestal para el periodo 86/87-96/97 respectivamente, provocando la fragmentación de los ecosistemas.

2.4.1.1 Cobertura boscosa de la Región Huetar Norte

De acuerdo con Fernández (1991), las existencias de bosque virgen en la región Huetar Norte para 1990, eran de 53,000 hectáreas. Otro documento elaborado por el proyecto COSEFORMA en 1993, sin embargo, reporta que el inventario forestal de la región para 1992, era de 151,043 ha de bosque, de las cuales 71,442 ha corresponden a bosque intervenido, 36,703 ha a bosque primario, 21,296 ha a bosque secundario y 21560 ha a plantaciones. En la actualidad, según el estudio realizado por CIEDES - CCT (1998), la región Huetar Norte cuenta con 163,371 ha de cobertura forestal. El aumento reportado en la cobertura boscosa se debe aparentemente a la precisión de los estudios.

2.4.2 La industria Forestal en Costa Rica

El censo de aserraderos realizado en 1980 señala que en ese año el país contaba con un total de 204 aserraderos. Según se indica en el documento esta cifra fue mayor en 41 si se compara con 1975 y en 64 con respecto al censo de 1971, fecha en la que el número de aserraderos fue de 140. El aumento registrado según se consigna en el documento se dió principalmente por el incremento de aserraderos en las provincias de Limón y Alajuela. Para el periodo 1986-1987, fecha en que se realizó el último censo de la industria forestal en el país, había un total de 161 aserraderos, dos fábricas de contrachapado, una de chapas, una de aglomerados, dos fosforeras y una de mondadientes.

De los estudios existentes referentes a la industria forestal en Costa Rica, como, los censos de la Dirección General Forestal (DGF), un diagnóstico realizado por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC) en 1995 y documentos elaborados por el proyecto Cooperación en los Sectores Forestal y Maderero Convenio Costarricense - Aleman (COSEFORMA), así como documentos del proyecto ODA de Manejo Integral de Bosques Naturales en Costa Rica y de la Comisión de Desarrollo Forestal San Carlos, CODEFORSA, se puede resumir la situación de la industria forestal en el país.

- El desarrollo de la industria forestal en el país ha estado ligado a la creencia de la abundancia del bosque, su inagotabilidad, así como al tamaño de sus mercados, por esta razón opera con un bajo grado de tecnología, con maquinaria obsoleta y de regular calidad, que da como resultado un bajo rendimiento de la materia prima.
- Se caracteriza por la presencia de muchos aserraderos pequeños que han sido rentables pero con gran consumo de materia prima y mano de obra. El consumo de materia prima es superior a la capacidad de crecimiento de sus existencias.
- No existe una subdivisión clara de la industria de transformación en el país, las empresas forestales están involucradas en la transformación primaria y secundaria, y los aserraderos, aún sin hornos de secado, son mayoristas y detallistas de la madera y otros productos elaborados también.
- La industria del aserrío consume aproximadamente el 85 % de la materia prima, carece de normas de control de alimentaciones y clasificación, además la calidad del producto es defectuoso. Su producción suministra la industria de la construcción y la fabricación de muebles.
- La contribución del sector industrial forestal al producto interno bruto ha sido menos de un 2% entre 1978-87 (Davies, 1997) y de 0.82 en el periodo de 1986-93 (MEIC-CCF, 1995). La producción del sector ha sido casi exclusivamente dedicado a la economía doméstica, situación que no motiva al cambio tecnológico para mejorar la calidad de los productos, dada la baja exigencia de este mercado.
- Actualmente el país no es autosuficiente en los productos forestales, existe una brecha creciente entre la producción y demanda de papel y cartón, y además posiblemente a corto plazo se experimente una escasez en la producción nacional de la madera aserrada (Davies, 1997).

2.5 Evaluación de impacto Ambiental y Económico

Las actividades de producción y consumo generan productos de desecho, llamados comúnmente "residuos", que tarde o temprano encuentran la forma de regresar al entorno natural. Este hecho señala algo fundamental; si se desea reducir la masa de residuos

arrojados al ambiente natural, debe reducirse la cantidad de materias primas tomadas para el sistema. El estudio del flujo de residuos y de los impactos resultantes en el mundo natural constituye parte de la economía ambiental, e involucra evaluaciones de impacto ambiental y económico (Field, 1995).

Un análisis de impacto ambiental (AIA), es básicamente la identificación y estudio de todas las repercusiones ambientales significativas que se generan a partir de una actividad. Los AIA determinan en cada caso la relevancia de los impactos y recomienda las medidas de rediseño, prevención, mitigación y control. Se pueden llevar a cabo para cualquier acción social, pública o privada, industrial o doméstica, local o nacional. Aunque los AIA son en general el trabajo de los científicos naturales, la economía tiene una función específica que desempeñar, debido a que los impactos ambientales también se difunden a través de vínculos económicos. De esta manera un estudio completo de los impactos ambientales que genera una actividad o proyecto, requiere que se incluya los efectos físicos y los aspectos económicos (Field, 1995 ; IICA, 1996).

Cuando el interés se concentra en como una acción determinada afectará un sistema económico en su totalidad o en términos de sus diversas partes, se puede hablar de análisis de impacto económico. De acuerdo con Gregersen (1995), en la evaluación de las repercusiones económicas se examinan las consecuencias económicas y financieras de una actividad, conjunto de actividades, o conjunto de cambios en una situación determinada. En un proceso de evaluación, independientemente de la etapa en que se encuentre la actividad se deben seguir los siguientes pasos : a) Indicar las cuestiones que deben responderse, b) Formular el método general de evaluación y c) Responder a las cuestiones formuladas.

Desde el punto de vista de la Economía Ambiental el problema básico se refiere a tratar de corregir los deterioros ambientales y relacionar estos con los costos para reducir la cantidad de residuos que se produce. En este sentido el análisis de costos y beneficios es una de las principales herramientas para la evaluación económica de proyectos que

involucran el uso de recursos naturales. El análisis de costo beneficio implica medir, adicionar y comparar todos los beneficios y los costos de un proyecto o actividad, pública o particular. Para llevarlo a cabo es importante describir en forma cuantitativa las entradas (insumos) y las salidas (resultados), calcular los costos y beneficios y realizar la comparación (Field, 1995).

En el análisis de costo beneficio se pueden utilizar varios indicadores. Dos medidas corrientes al considerar la eficiencia financiera y económica de acuerdo con Gregersen, 1995, son el valor actual neto (todos los beneficios descontados menos todos los costos descontados) y la tasa de rendimiento interno (TIR) o sea la tasa de descuento que iguala todos los beneficios descontados a todos los costos descontados. La tasa interna de retorno es la más relevante de todas las formas de medir la rentabilidad de una inversión cualquiera, siendo la única que nos dice cuan rentable es o no una inversión (Méndez, 1996).

III. Materiales y Métodos

3.1 Localización y características del área

El presente estudio se desarrollo en la Región Huetar Norte de Costa Rica, una de las cinco Areas de Conservación en que esta dividido el territorio nacional. La Zona se extiende desde la cima de las cordilleras Volcánica Central y Guanacaste hasta la frontera con Nicaragua y cubre aproximadamente un 20% del territorio nacional, que pertenece principalmente a la provincia de Alajuela. (Méndez, 1997).

Las características climáticas que presenta la región son influencia del Atlántico y en menor grado del Lago de Nicaragua. Según la clasificación de zonas de vida de Holdrige (1982), la mayor parte de la zona corresponde a la formación ecológica de bosque húmedo tropical y en menor proporción al bosque muy húmedo premontano, transición a basal hacia la faldas de las cordilleras.

El último censo de la industria forestal, realizado por la Dirección General Forestal en 1986, reporta que la provincia de Alajuela cuenta con la mayor capacidad instalada en la industria de aserrío, 317.652 m³ en 49 aserraderos. El consumo de materia prima en la provincia, también es el más elevado del país, 291.037 m³, la mayoría de las industrias se localizan en el norte de la provincia, como lo indican otros estudios realizados.

Un documento elaborado por el Proyecto COSEFORMA (1991), sobre la situación de la industria forestal primaria en la Zona Norte, revela que en 1991 el número de aserraderos activos en la región eran Treinta. No obstante, una cita de Kethulle (1996), se refiere a otro estudio de COSEFORMA realizado en 1994, el cual señala la existencia de 34 aserraderos en la región representando alrededor del 90% de la capacidad instalada.

3.2 Recolección de los datos

3.2.1 Información preliminar

Como primer paso se procedió a elaborar un marco lista (Anexo 1) de los aserraderos de la región que se encuentran activos actualmente. El marco lista se elaboró

con la finalidad de establecer el procedimiento a seguir en la recolección de la información que sustenta el trabajo. Para su elaboración se recurrió a los organismos forestales ubicados en la región y otros relacionados con la misma, como, la Cámara Costarricense Forestal ; Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos, CODEFORSA ; y el Area de Conservación Arenal - Huetar Norte (ACA-HN) del Sistema Nacional de Areas de Conservación (SINAC). Con base en el marco lista, se decidió realizar un censo a las industrias de aserrío ubicadas en el área.

3.2.2 El cuestionario

Se procedió a elaborar un cuestionario (Anexo 2), para realizar las entrevistas. La información fue solicitada al propietario o administrador del aserradero e incluye datos acerca del equipo, producción, materia prima, productos, costos, precios y manejo de los residuos en la empresa. A continuación se indica cual es la relevancia de estas variables, para el estudio :

- Producción : Se solicita información sobre el volumen de madera que se procesa y el volumen de madera aserrada que se obtiene. Esta información se utilizó para estimar el volumen de residuos que se genera.
- Materia prima : Es importante conocer la proporción de cada tipo de madera que se esta procesando. Con estos datos se estimó el volumen por tipo de madera que cada industria procesa, a partir del volumen de madera procesada. Esta información fue requerida para la estimación del contenido de carbono (criterio de valoración) en los residuos.
- Productos : Debido a que el bien final que se obtiene de una troza varia en cuanto a sus dimensiones y su acabado, se incluyó en el análisis el volumen de madera que corresponde a los diferentes productos para determinar su efecto en el volumen de residuos.
- Equipo : El volumen de aserrín que se produce depende del espesor de la sierra que se utiliza. De igual manera la cantidad de diferentes piezas de equipo que se usan afecta el volumen total de desechos ya que cada una agrega un porcentaje de residuos.

- Precios : El ingreso del aserradero depende del volumen de producción y del precio de venta de los distintos productos. El precio por tipo de producto se tomó para estimar el ingreso de la empresa.
- Costos : Un análisis de la situación financiera y económica de la industria, precisa calcular los costos que se descontarán al ingreso, de ahí la importancia de recolectar información sobre el costo de los diferentes rubros.
- Proporción de residuos : Con la información solicitada sobre distribución porcentual de los desechos, se estimó el volumen disponible de cada tipo de residuos.
- Manejo de residuos : Conocer el proceso y destino final de los residuos permite identificar los rubros asociados con el manejo y calcular el costo de cada uno de ellos. A partir de los datos de horas invertidas en mano de obra y equipo, así como los precios de estos rubros, se estimó el costo el costo de manejo de los residuos.

3.2.3 Evaluaciones para estimar el volumen real de una troza

En la región se miden las trozas con el sistema denominado de “ Mecate”, el cual aparentemente subestima el volumen real de una troza. Según se describe en el Censo de la Industria Forestal (1986), el método está basado en la unidad de medida llamada ‘ Pulgada Maderera Tica (PMT) ’ y consiste en pasar una cuerda o mecate alrededor de la troza, generalmente sobre el extremo menor para obtener la circunferencia y a partir de esta, con la ayuda de la fórmula que se describe, obtener el volumen en Pulgadas Madereras Ticas, siendo el modelo de esta medida 1 pulgada por 1 pulgada de sección transversal por una longitud de 4 varas.

La fórmula matemática que representa este método es

$$V = (C / 4 - R)^2 * L / 4$$

donde:

V = volumen bruto de la troza, en PMT

C = Circunferencia en pulgadas

R = Castigo por corteza, generalmente R = 1 pulgada

L = longitud de la troza, en varas

Se decidió entonces tomar una muestra de trozas en tres industrias de la región escogidas al azar y comparar la medida utilizada por ellos con una medida que calcule de manera efectiva el volumen de una troza determinada. La muestra esta compuesta por 170 trozas. En el Anexo 4 se incluyen los datos obtenidos para las mediciones realizadas en cada una de las trozas. Para realizar la comparación se seleccionó la fórmula de Smalian (Smalian, 1837). Se escogió esta fórmula básicamente porque de acuerdo a la literatura consultada, permite cubicar correctamente el cilindro y el paraboloide, además estima bastante bien otras formas que pueden presentar las trozas (Prodan,1997). Por otra parte, la Dirección General Forestal en los censos realizados, ha utilizado la fórmula para estimar el volumen de madera que se procesa en el país, igualmente aparece en otros estudios que se refieren al tema.

La formula de Smalian se expresa simbólicamente por:

$$V = (B + b) / 2 * L = \pi / 4 * (D^2 + d^2) / 2 * L$$

donde:

V = volumen bruto de la troza, en metros cúbicos

B = área de la sección mayor de la troza, en metros cuadrados

b = área de la sección menor de la troza, en metros cuadrados

L = longitud de la troza, en metros

A partir de las medidas tomadas se desarrolló un factor con el cual se corrigió el volumen de madera en troza reportado por las industrias de aserrío. Para calcular este factor se tomaron las diferencias entre el volumen estimado mediante la fórmula de Smalian y el calculado por el método de mecate. En el calculo del factor se utilizó la siguiente relación :

$$F_c = (V_S - V_M) / V_M$$

donde:

F_c = Factor de corrección del volumen

V_S = Volumen determinado mediante la formula de Smalian

V_M = Volumen determinado mediante el método de Mecate

3.2.4 Estudio de caso

3.2.4.1 Información general

Con el propósito de observar en detalle el proceso de transformación de la madera rolliza, una vez realizadas las entrevistas se procedió a ejecutar una segunda etapa caracterizada por evaluaciones específicas en una industrias de la zona. Debido a que el 90% de los aserraderos utilizan sierra de cinta (según información de la encuesta), se decidió evaluar este tipo de industria. En esta unidad productiva se recopiló la información necesaria para determinar el porcentaje de recuperación de la madera. Para establecer la metodología a seguir en las evaluaciones, se consideraron aspectos claves como el tipo de residuos que se producen, así como el equipo que utilizan y el proceso de transformación que realizan. Conociendo la dificultad de realizar una medición directa de los tipos de residuos que se generan en un aserradero, se decidió utilizar un método indirecto de medición que se ajusta a las condiciones del proceso. A cada empresa se solicitó además datos adicionales sobre el proceso, producción, precios y costos de la actividad con el fin de realizar un análisis económico de la misma.

Los tipos de residuos que se tomaron en cuenta en el presente estudio son: Las costillas, que son las secciones de la troza que quedan una vez hecho el escuadrado de la misma y que no constituyen piezas de venta. El aserrín, material fino que se produce en cada uno de los cortes durante el proceso de aserrío. La cabería, compuesta por secciones de las piezas que presentan daños de rajaduras, huecos u otros defectos y que por lo tanto son eliminadas.

3.2.4.2 Determinación del volumen de residuos

En primer lugar se observó que tipo de trozas procesaba el aserradero durante un periodo dado, para esto se hizo una revisión de los registros de aserrío que la empresa mantiene. Se consultó al administrador si la empresa realizaba algún tipo de clasificación de trozas, como clase diamétrica o tipo de madera. Con base en esta información se determinó

que las trozas procesadas en un día, varían en cuanto a la clase diamétrica y a la especie o tipo de madera. Por esta razón se consideró oportuno tomar durante algunos días datos sobre trozas escogidas al azar. Para recopilar la información se preparó una hoja de evaluación (Anexo 3), donde se registraron los datos de las variables relacionadas con el volumen de la troza, tales como longitud, diámetro de ambos extremos y otros datos importantes como la especie, medida de volumen realizada por el aserrador (medida de mecate). Además para cada troza evaluada se tomaron datos del número de cortes realizados ; número, ancho y grosor de cada pieza. También fue necesario registrar el grosor de la sierra principal y de las reaserradoras.

Para determinar el volumen de cada troza se realizó la cubicación de la misma utilizando la fórmula de Smalian descrita en una de las secciones anteriores. El volumen de aserrín se determinó a partir de la información sobre el número de cortes por troza, el ancho del diente de la sierra principal y de la reaserradora, así como el largo y ancho de las piezas producidas. La fórmula de calculo planteada fue :

$$As = L * Dsp * Ap * Nc + Lp * Dre * Ep * Nc$$

donde:

As = Volumen de aserrín

L = Longitud de la troza

Dps = Ancho del diente de la sierra principal

Ap = Ancho de la pieza

Nc = Número de cortes

Lp = Longitud de la pieza

Dre = Ancho del diente de la reaserradora

Ep = Espesor de la pieza

El volumen de costillas, cantos y despuntes se consideró como un solo tipo de desecho, denominado residuos sólidos. La estimación del volumen de residuos sólidos se realizó por diferencia, sustrayendo al volumen de la troza, el volumen de aserrín y el volumen de madera aserrada.

$$R_s = V_t - (A_s + M_a)$$

donde:

R_s = Volumen de residuos sólidos

V_t = Volumen de la troza

A_s = Volumen de aserrín

M_a = Volumen de madera aserrada

El volumen de madera aserrada se calculó mediante la siguiente relación :

$$M_a = L_p * A_p * E_p * N_p$$

donde :

M_a = Volumen de madera aserrada

L_p = Longitud de la pieza

A_p = Ancho de la pieza

E_p = Espesor de la pieza

N_p = Número de piezas

3.3 Valoración de los residuos

En la valoración de los residuos que se producen se distinguen dos niveles:

- a) En el primer nivel se debe determinar los costos directos en que incurre una empresa para deshacerse de los residuos que genera en el proceso de transformación troza/producto. Los costos que se deben cuantificar en este caso comprenden, el costo en equipo (operación y mantenimiento), costo en mano de obra, costo del terreno. Esta información fue tomada de las entrevistas que se realizaron a las industrias de la zona.
- b) El otro componente a valorar se refiere al daño que ocasiona el material que no se convierte en un bien final duradero y que por lo tanto se desecha en un botadero o se quema.

Con el propósito de valorar el costo ambiental que genera el uso no adecuado del recurso, se hizo una estimación del carbono liberado a la atmósfera a causa de su rápida descomposición. Se utilizó este criterio básicamente por dos razones: debido a que el

desperdicio de una parte de la biomasa de la troza representa una degradación directa de la calidad ambiental al sumar dióxido de carbono a la atmósfera y en segundo lugar porque al no ser aprovechados estos residuos en la fabricación de algunos bienes finales, como tableros aglomerados para la industria de la construcción, piezas endentadas, entre otros, el consumo de madera rolliza para satisfacer la demanda de productos de madera es mucho mayor.

Para determinar el carbono que es liberado a partir de la descomposición de los residuos se consideró la relación entre el elemento y la biomasa seca. Los cálculos sobre la cantidad que es emitida a la atmósfera se realizaron asumiendo factores de conversión de biomasa (FCC) a carbono igual a 50 por ciento, criterio utilizado por otros investigadores en estudios previos (Shroeder, 1993 y Carranza et. al. , 1996).

Para establecer la cantidad de biomasa seca que corresponde a un volumen dado de residuos generado al aserrar una troza, se aplicó la siguiente relación:

$$BT = VT (m^3) * PEB$$

donde:

BT = biomasa seca total

VT = volumen total de residuos

PEB = peso específico básico en (kg/ m³)

El peso específico básico es una propiedad física adecuada para estimar la cantidad de biomasa que corresponde a un volumen de madera en troza dado que relaciona el peso de la madera seca al horno con el volumen de madera verde. Con la información disponible en las encuestas sobre las especies forestales que se procesan en la zona, se levantó una lista y se elaboró una tabla con el peso específico de cada especie (Anexo 5). La información del peso específico proviene de estudios previos sobre las propiedades físicas, mecánicas y otras características de las maderas comerciales de Costa Rica, realizados por el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Costa Rica (Carpio, 1992). Debido a que las especies muestran diferencias según la categoría de madera que pertenezcan, se decidió agrupar las especies por clase de madera, dura,

semidura y suave. Para cada clase se obtuvo un valor promedio del peso específico básico el cual se utilizó en el cálculo de la biomasa.

3.4 Análisis de datos

3.4.1 Análisis estadístico

Aunque al inicio del estudio se planteó realizar un censo a las industrias de aserrío ubicadas en la Región Huasteca Norte del país, al momento de recopilar la información unos aserraderos decidieron no colaborar. De los 28 aserraderos que estaban funcionando cuando se realizó la encuesta, 21 participaron en la misma facilitando la información solicitada. Las industrias evaluadas se consideran una muestra adecuada para realizar un análisis de los datos. Los análisis estadísticos realizados se derivan entonces a partir de esta muestra.

Con los datos de las encuestas organizados se observó que los valores de algunas variables mostraban un rango bastante amplio. Debido a esto se procedió a identificar los componentes que definen el proceso, con el fin de establecer a partir de estos una caracterización apropiada de la industria que facilitara los análisis subsecuentes sobre las hipótesis planteadas.

Una vez definidos los principales componentes, se decidió utilizar un método de análisis de distancia para tipificar la industria. Se procedió a realizar un análisis de los datos utilizando los procedimientos de análisis de conglomerados y discriminante canónico.

Con los grupos formados a partir de la aplicación de los procedimientos anteriores, se procedió a realizar un análisis de varianza mediante el procedimiento de modelos lineales generalizados (GLM). Además, se efectuó una prueba de medias, Tukey. En estos dos tipos de análisis se incluyeron todas las variables, y fueron realizados con el propósito de mostrar las diferencias estadísticas que se pueden dar entre los grupos de industrias. Entre las variables consideradas para describir la industria de aserrío se encuentran, las de carácter físico como el volumen de madera en troza, residuos y madera obtenida, tipo de sierra y cantidad de equipo. La materia prima, que se clasificó en dura, semidura y suave, como lo

hacen las industrias de la región. En el caso de los productos se agruparon en cinco categorías que corresponden a : madera de cuadro, madera para tarimas, madera cepillada, formaleta y artesón. Las variables económicas que se han utilizado para el análisis incluyen costos y ventas totales, costo de manejo de los residuos, valor de la inversión en infraestructura y equipo, así como la ganancia neta.

En este estudio también es importante definir que variables explican el volumen de residuos que se genera durante el proceso de transformación de la madera. Para establecer la relación entre el volumen de residuos y las variables que influyen su producción se hizo uso del análisis de regresión. Antes de estimar la ecuación de regresión se realizó una correlación múltiple para seleccionar las variables que explican el volumen de residuos.

El modelo de relación entre la variable dependiente y las variables independientes que fueron consideradas se describe a continuación:

$$V_r = f(T_s, M_p)$$

donde:

V_r = volumen de residuos

T_s = Tipo de Sierra

M_p = Volumen de Materia prima

Con el propósito de establecer si la hipótesis planteada inicialmente acerca del volumen de residuos y sus costos tenían validez estadística, se realizaron pruebas de hipótesis para cada grupo de aserraderos identificado, utilizando la distribución t de student.

Finalmente, se debe indicar que los análisis se ejecutaron utilizando el paquete de análisis estadístico SAS.

3.4.2 Análisis de rentabilidad

En primer lugar se determinó la rentabilidad de las empresas de aserrío que operan en la región. De la información de las encuestas se tomaron los costos de cada uno de los rubros y se agregaron para generar el total de costos. El ingreso que percibe cada industria se calculó a partir del volumen de madera de cada producto y los precios por producto, según la siguiente relación :

$$I = \sum P_n * p_n$$

donde :

P_n = Volumen del producto n

p_n = Precio del producto n

El beneficio calculado para cada empresa corresponde al ingreso menos los costos.

Con el propósito de establecer la eficiencia económica de la actividad, se procedió a calcular el costo ambiental asociado al volumen de residuos que se produce. Los costos ambientales se estimaron con base en la cantidad de carbono equivalente al volumen de residuos generados por la industria.

Se consideró que los residuos no destinados a un proceso de reconversión a un producto duradero, tenían que ser valorados dada su rápida descomposición y liberación de carbono. Para valorar los desechos se decidió utilizar el precio de diez dólares por tonelada de carbono, establecido en el acuerdo bilateral entre Costa Rica y Noruega, porque este precio es el que percibe el país al brindar el servicio de fijación (FONAFIFO, 1999).

El costo ambiental estimado corresponde a :

$$C_a = T_c * P_a$$

donde :

C_a = Costo ambiental

T_c = Toneladas de carbono en los residuos

P_a = Precio por tonelada

Una vez calculado el costo ambiental se agregó el monto a los costos de cada industria para analizar el impacto sobre los beneficios.

IV. Resultados y Discusión

4.1 Descripción de la industria de aserrío de la Región Huastar Norte

Para la caracterización de la industria de aserrío de la región Huastar Norte se tiene un esquema lógico que explica los principales componentes del proceso, este se muestra en la Figura 1. Se puede apreciar en la Figura como el volumen total procesado, el volumen obtenido y el beneficio neto son los ejes del proceso, dado que agrupan otras partes del sistema.

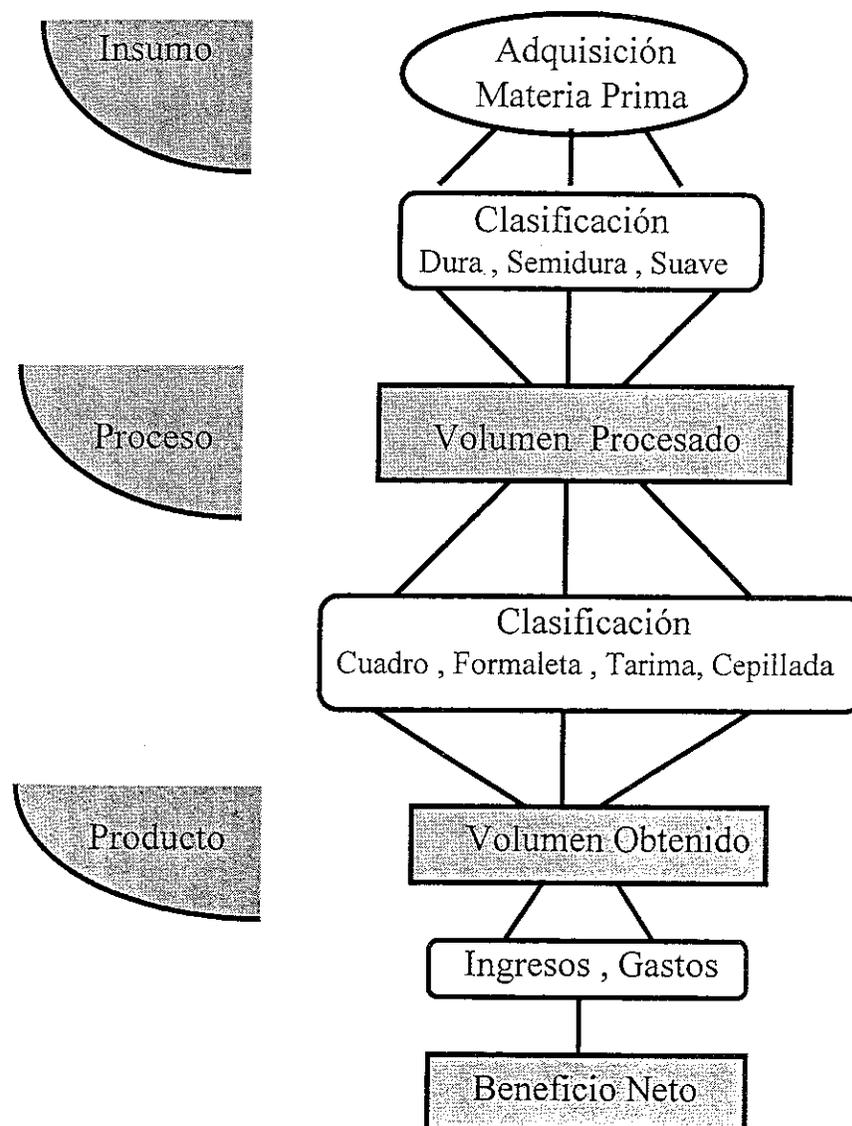


Figura 1. Esquema funcional de la industria de aserrío

Los resultados del análisis realizado mediante la técnica de agrupamiento diferenciado (cluster) con base en los tres criterios principales de discriminación y agrupamiento sobre el insumo, proceso, producto evaluado en cada uno de los aserraderos, identifican 3 grupos típicos conformados por 12, 7 y 2 empresas.

En la Figura 2 se presenta el agrupamiento de los aserraderos producto de la técnica de distancia entre grupos basado en las variables que los definen. Se observa como las industrias del grupo 1 muestran mayor similitud en cuanto al volumen de madera, procesado y obtenido, y al beneficio que perciben en especial. Por otro lado, las empresas del grupo 2 procesan volúmenes de madera similares, sin embargo, muestran mayor dispersión con respecto al beneficio neto que perciben. El grupo 3 conformado por dos empresas difiere completamente de los otros en cuanto al volumen de proceso. En el Anexo 6 se puede observar la representación gráfica de como fueron agrupadas las industrias.

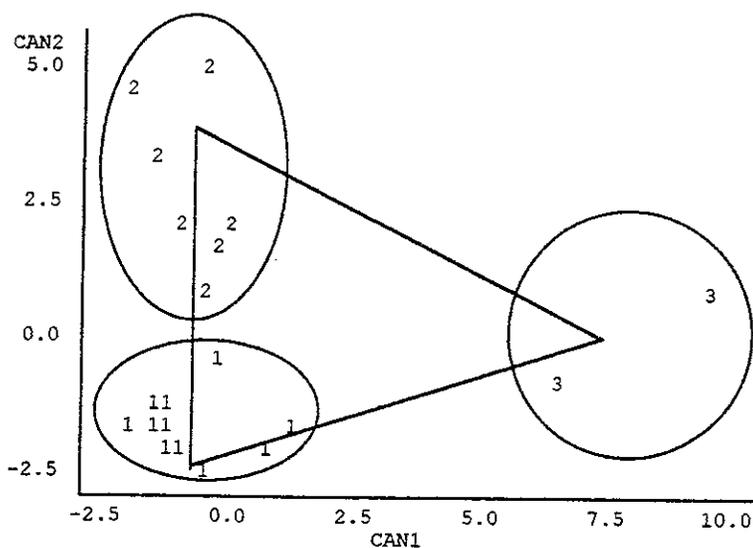


Figura 2. Grupos promedio de dos ejes canónicos de transformación.

Los resultados del análisis de varianza realizado para cada una de las variables principales utilizadas como criterio de agrupamiento se resume en los Cuadros 1 y 3. Las tres variables muestran diferencias altamente significativas, no obstante, el coeficiente de variación refleja cierta variabilidad en el modelo, sobre todo para las variables de volumen de madera.

Cuadro 1. Resumen de estadísticas de los principales componentes del proceso de aserrío.

Fuente	GL	Volumen Procesado				Volumen obtenido			
		CM	Fc	CV	Media	CM	Fc	CV	Media
Grupo	2	4460841.4	68.61**	37.2	685.5	955396.9	65.9**	36.2	332.3
Error	18	65018.7				14488.6			

** = Diferencia altamente significativa

El volumen promedio de madera que consume la industria actualmente, 685 m³ coincide con los datos reportados en un estudio realizado por el proyecto COSEFORMA sobre la situación de la industria de aserrío en la región durante 1991. En el estudio se menciona un consumo de 250000 m³ anuales para 30 aserraderos que formaban la población de industrias, con un promedio de 694 m³ por aserradero. Esta información aunque parezca sugerir que no se han presentado cambios en el volumen procesado, no significa que la industria presente las mismas condiciones, puesto que se conoce a través de la información recopilada que en años recientes han surgido algunas empresas que procesan únicamente madera de plantaciones y consumen más del 30 % del total de madera que se procesa en la zona.

Cuadro 2. Distribución del volumen de madera para los grupos de aserraderos identificados en la Región Huetar Norte de Costa Rica

Grupo	M ³ de madera/mes		
	Procesado	Obtenida	Residuos
1	397.5 b	194.67 b	203.0 b
2	611.9 b	306.57 b	305.14 b
3	2671.5 a	1217.5 a	1454.0 a

Medias con igual letra dentro de cada columna no presentan diferencia significativa

Tukey (P < 0,05).

Los resultados de la prueba de medias que se muestran en el Cuadro 2, reflejan claramente las diferencias en consumo de madera en troza que existe entre el grupo 3, formado por aserraderos que procesan exclusivamente madera de plantación y los otros dos grupos. Del total de madera en troza que consumen las 21 industrias que componen la

muestra, un 22 % es procesado por los dos aserraderos que conforman el grupo 3. Actualmente en la región existen 28 industrias de aserrío y se conoce que cinco de estas procesan madera de plantación, sin embargo, estas dos son las de mayor consumo de madera.

Aunque los grupos 1 y 2 no presentan diferencia estadística se puede observar que los niveles medios de madera procesada son bastante diferentes. Los aserraderos del grupo 1, que representan el 57 % de la muestra consumen en promedio dos terceras partes de la madera que procesan los del grupo 2.

En cuanto al volumen promedio obtenido se aprecia que representa casi la mitad del volumen procesado. Haciendo la relación porcentual se obtiene un 48.4 % como porcentaje de aprovechamiento de la madera que ingresa al aserradero. Es importante mencionar que este valor de rendimiento es similar al porcentaje estimado por la Dirección General Forestal en el último censo realizado (1986) a la industria forestal. En el documento elaborado reportan un 48.99 % de rendimiento para la industria forestal primaria del país.

La importancia que tiene estimar y conocer la eficiencia del proceso de aserrío, no es únicamente para determinar el volumen de madera que se desaprovecha o que potencialmente se puede aprovechar, sino que es necesario para proyectar la disponibilidad de materia prima. Con un factor de recuperación de madera tan bajo (0,48), es obvio que el recurso forestal tenderá a agotarse más rápido. A medida que la disponibilidad de materia prima se reduce, también lo hará el número de empresas de aserrío, comenzando por aquellas con menos capacidad de adquisición del recurso. Para un volumen de producto dado, un mayor aprovechamiento de la madera en troza podría no solo aumentar la rentabilidad para las empresas, sino prolongar el periodo de explotación de las áreas de bosque permitiendo una adecuada recuperación de las mismas.

Si tomamos en cuenta que la materia prima representa aproximadamente un 80 % de los costos de una empresa de aserrío, se entiende que con la reducción del bosque de suministro surgen serios problemas para los aserraderos, porque la escasez del recurso madera provocará un aumento en su precio. Sobre todo si se considera que hasta la fecha el sector como tal no ha sido capaz de incursionar con sus productos en el mercado

internacional u ofrecer producto más diversificado y de mayor valor agregado. Ante un incremento en el costo de la materia prima es probable que algunos aserraderos tengan que abandonar la actividad. Este riesgo lo corren especialmente aquellos empresas que conforman el grupo 1, debido a que los beneficios percibidos son bajos considerando que el precio actual de la materia prima no corresponde a su valor real y esto es en realidad lo que les permite mantenerse en la actividad pese al bajo porcentaje de recuperación de la madera que presentan.

Cabe señalar que la prueba de medias para volumen obtenido muestra similitud con la del volumen de proceso, es decir, las industrias del grupo 3 se diferencian estadísticamente del resto de industrias y el volumen de madera aserrada que obtienen los aserraderos del grupo 1 representan dos tercios del volumen obtenido por el grupo 2. Esta información indica que el porcentaje de rendimiento entre los grupos y posiblemente dentro de los grupos debe diferir muy poco.

Cuadro 3. Resumen de estadísticas para el beneficio neto de las empresas.

Fuente	GL	Beneficio neto				Grupo	Media
		CM	Fc	CV	Media		
Grupo	2	3.089E+13	47.2**	29.4	2,753,852	1	1,268,712 b
Error	18	6.546E+11				2	4,699, 572 a
						3	4,726,346 a

Medias con igual letra dentro de cada columna no presentan diferencia significativa Tukey ($P < 0,05$).

La comparación de medias para el beneficio neto de las industrias, muestra que no hay diferencias significativas entre los grupo 2 y 3. Los datos sugieren que el volumen de proceso tienen una relación positiva con el beneficio que se obtiene en la actividad. Una prueba de relación entre estas dos variables mostró una correlación de 0.502 que no es tan fuerte. Al parecer la variable beneficio neto es explicada por un conjunto de factores, que incluyen el volumen procesado, costos, ingreso, volumen obtenido y algunos productos.

En el Cuadro 4 se resume el análisis de medias realizado para las otras variables consideradas en este estudio para caracterizar la industria de aserrío de la región.

Cuadro 4. Resumen del análisis de medias para las variables evaluadas.

Variable	Grupo		
	1	2	3
Vol. Residuos	203.00 b	305.14 b	1423.00 a
M. Dura	32.08 b	147.86 a	0 b
M. Semidura	227.00 ab	317.71 a	0 b
M. Suave	138.60 b	145.90 b	2671.50 a
M. Cuadro	105.08 ab	160.71 a	0 b
M. Artesón	6.33 b	40.71 a	0 b
M. Cepillada	23.08 ab	43.43 a	0 b
M. Tarimas	39.42 b	39.43 b	1217.50 a
Costos	10, 016,661 b	16,133,120 b	65,864,005 a
Ingreso	11,312,373 b	20,832,693 b	68,989,602 a
Costo residuos	171,812 b	202,269 ab	445,275 a
Total Piezas	5.75 b	7.14 b	16.00 a
Valor Equipo	15,808,000 b	39,714,286 b	130,000,000 a

Medias con igual letra dentro de cada columna no presentan diferencia significativa

Tukey ($P < 0,05$).

Los resultados del análisis realizado mediante prueba de Tukey indican que el gasto mensual que realizan los aserraderos de los grupos 1 y 2 en manejo de residuos difiere muy poco, pese a la diferencia en el volumen de residuos que presentan. Entre estos dos grupos la diferencia en el volumen de residuos se explica únicamente por el volumen de proceso en cada grupo de empresas. Otros factores que podrían influir en la cantidad de residuos, como el tipo de sierra, no se considera porque a excepción de dos aserraderos que pertenecen al grupo 1 y trabajan con sierra circular, los demás utilizan sierra de cinta. En cuanto a la cantidad de piezas de equipo con el que trabajan, estas empresas cuentan en su mayoría con el equipo mínimo para la elaboración y alistado de madera aserrada, este incluye la sierra principal, reaserradora, cepilladora y/o molduradora y despuntadora. Algunos aserraderos

tienen más de una unidad de estas piezas. El volumen promedio de residuos para el primer grupo representa el 66 % del volumen generado por el segundo. Dada la diferencia que se presenta en el volumen de residuos, se puede afirmar que los costos unitarios promedio del grupo 2 por concepto de manejo de residuos son menores que los del grupo 1.

La diferencia que mantienen los grupos 1 y 2 con el tercero con respecto a la cantidad de residuos es tan grande como en el volumen de proceso y refleja la relación directa entre volumen de madera a procesar y el volumen de residuos que se genera. Además la diferencia entre estos grupos se extiende al tipo de equipo que utilizan. Las empresas que procesan madera de diámetro menor, como se denomina aquella que proviene de plantación, emplean sierra circular múltiple como máquina principal. De acuerdo con Quiros (1990), la producción de un aserradero generalmente esta determinada por la sierra principal, ésta representa el "cuello de botella" en el flujo de aserrío. La sierra de cortes múltiples es preferida por su alta velocidad permitiendo una alta productividad/tiempo aunque resulte en mayor producción de aserrín.

Los datos promedio obtenidos para el tipo de producto señalan al volumen de madera que se destina para la producción de piezas artesón, como una variable significativa entre los grupos uno y dos. Esta diferencia con respecto a este producto, es más importante si se toma en cuenta el precio del producto. Generalmente, las piezas de artesón se venden desde doscientos ochenta hasta trescientos cincuenta colones por pulgada, si son de una longitud de cuatro varas (3.33 m) debido que se utiliza madera dura. Si son de mayor longitud, el precio /pulgada puede aumentar. Aquellos aserraderos que cuentan con mayor volumen de madera dura para producir estas piezas, es claro que pueden tener una rentabilidad mayor. Para los aserraderos del grupo 1 las piezas de artesón representan 3.26 % de la producción, mientras que para los aserraderos del grupo 2 un trece por ciento. En cuanto al volumen de madera de cuadro y cepillada no hay diferencia entre estos grupos, hecho que se nota al calcular los porcentajes promedios que representan estos productos en la producción total. En el grupo 1 la madera de cuadro y cepillada representan el 54 y 12 % de la producción respectivamente y para el grupo dos 52 y 14 por ciento en el mismo orden.

Como se ha visto, hay una diferencia marcada de los primeros dos grupos con respecto al tercero, en cuanto al tipo de materia prima, volumen procesado, producto y residuos. También se presenta la diferencia con relación a la inversión en equipo, número de piezas de equipo utilizadas en el trabajo costos e ingresos, sin embargo, el beneficio que obtienen las industrias del grupo 3 no difiere de las que compone el grupo 2. Es probable que el precio del producto sea una de las razones que explican estos niveles de rentabilidad tan similares. De acuerdo con la información suministrada por las industrias, una tarima consume 15 pulgada de madera aserrada y cada tarima se vende 1750 colones, para un precio promedio por pulgada de 117 colones. Los precios medios por pulgada de los productos que fabrican los aserraderos tradicionales están por encima de este valor.

4.2 Volumen de madera procesada en la Región Huetar Norte

En cualquier proceso de elaboración de un producto es indispensable para la empresa conocer la eficiencia con la cual se está operando, dado que este es el punto de partida si se quiere mejorar el proceso. Las empresas de aserrío en Costa Rica utilizan un sistema de medición de la troza que parece no apropiado para estimar un factor de conversión troza/ producto. De acuerdo con el análisis realizado en este trabajo las empresas de aserrío ubicadas en la región del estudio subestiman el volumen de madera que se procesa. Este hecho tiene varias implicaciones importantes de índole económico y físico. Para el propósito de este estudio específicamente, este sistema de medición afecta el volumen de residuos estimado. En este sentido el muestreo realizado para calcular un factor con el fin de corregir la información del volumen que procesan las industrias fue de gran utilidad.

Según los datos obtenidos en el muestreo, la media de nuestro factor de corrección corresponde a 0.3667, sin embargo, el mismo puede estar entre 0.3357 y 0.3977 en el 95 por ciento de las veces de acuerdo con la prueba de t realizada para estimar el intervalo.

En este estudio se utilizó el estadístico promedio para aproximar el volumen real procesado en cada grupo de industrias. En el Cuadro 5 se muestra la diferencia que existe entre los datos suministrados originalmente por los aserraderos y los volúmenes estimados a partir del factor calculado.

Cuadro 5. Volumen promedio de madera por grupo de aserraderos de la Región Huastar Norte, para un periodo mensual.

Grupo	Volumen M ³			Volumen corregido M ³		
	Procesados	Residuos	% Residuos	Procesados	Residuos	% Residuos
1	312.10	114.45	36.67	397.59	203.04	51.07
2	447.47	140.69	31.44	611.69	305.20	49.89
3	2671.50	1454.00	54.51	2671.50	1454.00	54.51

Se observa como a causa de la aplicación del factor de corrección el volumen de madera procesada en los grupos 1 y 2 incrementa en forma sustancial y con ello también el volumen de residuos estimado. Es necesario aclarar que a las empresas del grupo 3 no se aplicó este factor, porque en estas industrias se utiliza otro sistema para estimar el volumen de madera que se procesa. Cuando una empresa se dedica a transformar madera de diámetro menor como el de las trozas provenientes de plantaciones, se acostumbra medir el volumen mediante el método estéreo. Al utilizar este sistema de cálculo para cubicar madera, también se aplica un factor de conversión de volumen estéreo al volumen sólido de madera. Este factor que está relacionado con el diámetro de la troza, su irregularidad, el número de trozas por área y la longitud, es estimado y conocido por cada industria. El factor se utiliza para estimar el volumen de madera de cada camión que entra en los patios del aserradero. de tal manera que los datos suministrados por ellos no requieren del ajuste propuesto.

Con la información generada se demuestra que la eficiencia del proceso de aserrío bajo las condiciones actuales es menor de lo que suponen o sugieren los propietarios de los aserraderos de la región y el factor de conversión troza / madera aserrada en lugar de ser 0.7 como se indicó en algunos aserraderos, oscila alrededor de 0.5, tanto en la industria tradicional como en las nuevas o reconvertidas empresas que procesan madera de plantaciones. A pesar de que el tipo de sierra utilizado en las industrias del grupo 3 genera en teoría mayor volumen de aserrín y el diámetro de las trozas hace suponer un mayor

desperdicio, es probable que el manejo de trozas con longitudes específicas acordes con las piezas que se requieren para el producto, sea un factor que influencia la similitud en el porcentaje de residuos con los otros grupos.

Aunque no se logró establecer con claridad en la encuesta que porcentaje de madera se pierde en cabería, las visitas a los aserraderos y datos de algunas entrevistas permiten indicar que este tipo de residuo representa un porcentaje importante que afecta sensiblemente el rendimiento. Este es un hecho importante para aquellas empresas que venden sus productos a depósitos en la meseta central, mucho más exigentes en las medidas de las piezas o industrias del grupo 2 que indicaron estar exportando cierta cantidad de madera.

Al analizar el porcentaje de residuos para cada grupo se observa que la diferencia entre los mismos es muy pequeña. Con el objeto de probar la validez del supuesto inicial que sugiere un volumen de residuos mayor al volumen de madera aprovechada (mayor a 50 por ciento), se realizaron pruebas de hipótesis por grupo que arrojaron los resultados que se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Estadísticas para la prueba de hipótesis realizada a cada grupo de empresas

Grupo	Promedio	Desviación estándar	Error estandar	T	Prob	IC 95%
1	50.01	3.63	1.05	0.01	0.50	47.70 - 52.32
2	48.77	5.49	2.08	-0.59	0.71	43.69 - 53.85
3	54.51	0.72	0.51	8.84	0.04	48.03 - 60.99

Como se observa en los resultados de la prueba realizada, para los grupos 1 y 2 no hay diferencia significativa entre el volumen de residuos determinado con la información suministrada por las empresas y el volumen hipotetizado, por lo tanto para estos dos grupos se rechaza la hipótesis planteada. De esta manera la hipótesis inicial acerca del volumen de residuos a un nivel de significancia de 5 % solo se cumple para el grupo 3. Es decir, en aserraderos que trabajan con madera de plantaciones, poseen sierra múltiple y producen

tarimas el porcentaje promedio de residuos es de 54.5 % y el 95 por ciento de las veces el porcentaje de madera que se desecha en estas empresas estará entre 48 y 61 por ciento.

Una estimación del volumen total de residuos que se genera en la región se puede obtener a partir del valor promedio generado en el análisis de varianza y el número de empresas que están operando actualmente. El resultado de este análisis indica que en promedio se producen 356 m³ de desechos por aserradero. De manera que el volumen de residuos producido por la industria de aserrío en la Región Huasteca Norte equivale a 9958 m³ por mes. Este volumen podría ser aprovechado en la producción de algunos bienes duraderos, si en la región existiera alguna empresa dedicada a la fabricación de tableros o con el equipo adecuado para unir piezas cortas. El potencial de aprovechamiento de los residuos es mucho mayor para aquellos residuos provenientes de madera de plantaciones forestales, debido a su uniformidad en el tipo de madera. Desde esta perspectiva, las plantaciones se convierten en una atractiva opción porque permiten un mejor uso de la materia prima, contribuyendo además a prolongar la existencia del bosque natural y prestando el servicio de fijación de carbono.

4.3 Estimación del volumen de residuos mediante regresión

Las variables que afectan el volumen de residuos son el volumen de madera total procesado, la materia prima, y el tipo de sierra. Establecer una ecuación de regresión que explique la generación de residuos utilizando estas variables, no es sin embargo apropiado, pues la prueba de correlación realizada mostró una alta relación entre estas variables, haciendo que la ecuación manifestara problemas serios de colinealidad. Debido a la variación que se presenta en el peso específico básico entre las diferentes clases de madera y la necesidad de calcular la biomasa seca de residuos, a fin de estimar el contenido de carbono, se consideró oportuno desarrollar una ecuación que permitiera estimar el volumen de residuos tomando en cuenta el volumen de cada clase de madera como variable independiente.

Como resultado de este análisis se obtuvo la siguiente ecuación de regresión :

$$\text{Residuos (m}^3 \text{)} = - 10.1 + 0.491 (\text{ m}^3 \text{) M. Dura} + 0.531 (\text{ m}^3 \text{) M. Semidura} \\ + 0.536 (\text{ m}^3 \text{) M. Suave}$$

El coeficiente de determinación para esta ecuación es de 0.99 indicando que el volumen de madera por clase de madera permite estimar muy bien el volumen de residuos que se genera en el proceso de transformación. El hecho de incluir en la ecuación únicamente la clase de madera elimina los problemas de colinearidad con otras variables. Por otro lado la suma de los residuos para esta ecuación de regresión es de cero indicando su exactitud. Como se puede apreciar el porcentaje de cambio (pendiente) para madera dura es menor que para madera suave y semidura, una posible explicación se refiere a la traba de la sierra que debe ser menor para madera dura, lo cual reduce el volumen de aserrín.

Cuadro 7. Volumen de residuos promedio estimado para cada grupo según la clase de madera para un periodo mensual.

Grupo	m ³ M. Dura	m ³ M. Semidura	m ³ M. Suave
1	15.7	120.5	74.3
2	72.6	168.8	78.3
3	0.0	0.0	1431.3

Con la ecuación estimada se procedió a determinar el volumen de residuos para cada tipo de madera a partir de los datos de volumen a procesar ya corregidos. Con los volúmenes de residuos estimados se calculó la cantidad de biomasa seca para cada grupo. En el cuadro 8 se pueden observar los valores que fueron obtenidos utilizando la información generada en el Cuadro 7 y el peso específico básico promedio calculado para cada grupo de industrias (Anexo 5). También se muestra el contenido medio de carbono que corresponde a los niveles de residuos de madera producidos.

Cuadro 8. Cantidad de biomasa seca y contenido de carbono en los residuos por grupo de empresas para un periodo mensual.

Grupo	Ton Biomasa seca	Ton de Carbono
1	105.2	52.6
2	182.6	91.3
3	486.9	243.4

4.4 Estimación del costo ambiental

El costo ambiental en que incurren las empresas esta dado por el carbono sujeto a una rápida incorporación a la atmósfera. No existe en la actualidad acuerdo sobre un precio definido por tonelada de carbono a nivel internacional. Sin embargo, algunos países han fijado su precio de venta, el mismo presenta mucha variabilidad entre países dado que existen diversos métodos para valorar el servicio de fijación de carbono. Al respecto Soliz (1998), presenta una tabla con los precios pagados por tonelada en diferentes países. El valor de la tonelada oscila entre 0.45 dólares hasta 22.7 dólares. Para este estudio se ha preferido utilizar el precio fijado en el acuerdo bilateral entre Costa Rica y Noruega, que corresponde a 10 dólares por tonelada fijada. Este precio está por encima del promedio internacional, sin embargo, es el beneficio que recibe el país por el servicio de fijación y por tanto así debe ser valorada la tonelada de carbono liberado en Costa Rica. En el Cuadro 9 se puede apreciar el costo ambiental calculado para cada grupo de industrias. También se muestra el impacto que tiene en la rentabilidad de las industrias. Como el periodo de la encuesta comprendió los meses de marzo y abril se decidió utilizar una tasa de cambio de 280.95 colones correspondiente al 30 de abril de 1999 y así presentar los costos en moneda nacional.

Cuadro 9. Valor estimado del costo ambiental e impacto en la rentabilidad de la industria

Grupo	Costo Amb. (colones)	Beneficio (colones)	Beneficio descontado (colones)	% Reducción
1	147,812	1,268,712	1,120,900	11.65
2	256,480	4,699,572	4,443,092	5.46
3	683,908	4,726,346	4,042,438	14.47

El monto que deberían destinar las industrias por concepto de daño ambiental, guarda relación con el volumen y la clase de madera que se procesa. De acuerdo con los resultados, los aserraderos de los grupos 1 y 3 son los que se afectarían más al asignar un valor de daño al volumen de residuos por el carbono que puede ser liberado a la atmósfera. Bajo las condiciones actuales en que opera la industria el beneficio neto alcanzaría una reducción como máximo de 14%, caso que se da en el grupo 3 y como mínimo de 5% para el grupo 2. Este resultado indica que la hipótesis planteada acerca de la reducción en el beneficio de las empresas se rechaza para todos los grupos de aserraderos identificados en este estudio.

El porcentaje de beneficio neto actual que se descontaría a las empresas por concepto de costo ambiental representa el monto que la industria estaría dispuesta a invertir para mejorar su proceso y reducir el volumen de residuos. Aunque en los valores de beneficio neto absoluto no se observe una variación fuerte, al descontar este costo ambiental por industrialización de la madera se debe tener presente, que el mismo depende no solo del volumen del residuos, sino del precio a que se valore el secuestro o liberación del carbono. Un incremento en el precio por tonelada de carbono podría afectar sensiblemente la rentabilidad de la industria de aserrío, especialmente si consideramos que por tratarse de un daño global, su precio se fija en dólares y esto representa un impacto adicional, debido a la devaluación del colón.

Un análisis de cual sería el cambio en el costo ambiental para la industria de aserrío al variar el precio del carbono, se observa en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Valor estimado del costo ambiental por mes para diferentes precios de carbono

col./ton C	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	colones	% Red	colones	% Red	colones	% Red
10	147,812	11.65	256,480	5.46	683,908	14.47
15	221,670	19.78	384,761	8.19	1,025,748	21.70
20	295,599	26.37	513,015	10.92	1,367,664	28.94
25	369,449	32.96	641,268	13.64	1,709,580	36.17
30	443,339	39.55	769,522	16.37	2,051,497	43.40

Como se puede apreciar la respuesta del costo ambiental a un cambio en el precio por tonelada de carbono es muy significativa, sobre todo para aquellas industrias cuyo margen de contribución es bajo o que generan gran volumen de residuos.

Desde esta perspectiva se podría esperar que dada la aplicación de un costo al daño ambiental ocasionado por la emisión de carbono desde los residuos de madera, las industrias estarían dispuestas a invertir para mejorar la eficiencia del proceso de aserrío. Claro esta, esto solo puede ocurrir para aquellas industrias que tengan disponibilidad de materia prima en el futuro, punto que es relevante para los propietarios de aserraderos que se han quejado de la escasez del recurso forestal y que de no poder asegurar la disponibilidad de materia prima es probable que prefieran abandonar la actividad.

Los aserraderos que procesan madera de plantación representan el tipo de industria que potencialmente respondería a una medida de esta índole, modificando su esquema de producción actual para implementar alternativas que mejoren el rendimiento del proceso de aserrío. Entre las razones que parecen validas para que esto suceda se encuentran : a) El volumen de residuos que producen es muy grande, b) Actualmente hacen inversiones en sus plantas con el objeto de diversificar productos que les permitan estabilidad y un mayor margen de contribución, entre sus mejoras esta la construcción de hornos para secado de la madera para poder exportar este producto, c) Tienen sus propias plantaciones forestales con lo cual aseguran la continuidad de la producción. Aunado a esto el gobierno a través del

pago de Servicios Ambientales, esta incentivando la reforestación de muchas áreas, lo que permitirá asegurar la materia prima de años próximos.

El gobierno a través de la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta ha negociado con Noruega la venta de 200 toneladas métricas de carbono por un precio de 2,000,000 de dólares, lo cual equivale a un precio de 10 dólares por tonelada corriente de carbono, sin embargo, no todo el carbono que fija una plantación o bosque durante su crecimiento, permanece fijado cuando son cosechados. Una vez cortada la madera, un alto porcentaje se convierte en residuos en las diferentes etapas del proceso de transformación, desde el aprovechamiento en la plantación o bosque hasta su transformación en los aserraderos. De acuerdo con Quiros (1990), solo la mitad del volumen total por hectárea de una plantación de melina corresponde a volumen comercial de aserrío, debido a que la madera de los dos primeros raleos lo que se obtiene es leña y postes para uso mismo de las fincas. En el caso de las empresas de la Región Huetar Norte el volumen de desechos es aproximadamente de 50 % de la madera que llega a las industrias. Por supuesto no estamos considerando en este análisis el tipo de producto que se fabrica, porque si incluimos este factor, se tendría que tomar el volumen total de madera suave para valorarlo con base en el carbono que contiene, dado que las tarimas y formaleta son productos de muy corta durabilidad. Una evaluación del carbono disponible para ser negociado debiera considerar la cantidad del elemento que es emitida a la atmósfera, incluyendo las emisiones producto de los residuos de las industrias de aserrío.

4.5 Estimación del costo total de los residuos

Es importante tener en cuenta que el valor de la madera que no se aprovecha corresponde a la suma del costo ambiental y el costo de manejo de los residuos en las industrias. Si bien es cierto que este último ya está contabilizado en el costo de operación de las empresas, conviene separarlo para poder asignar un valor apropiado a los residuos. El costo de manejo contempla la inversión en mano de obra y equipo, sea este de traslado o estacionario como en el caso de los conductos y abanicos. En este estudio se recopiló

información sobre estos rubros para calcular el monto que destinan las industrias al manejo de desechos. Los costos en que incurre cada industria se presentan en el Anexo 7.

Cuadro 11. Valor económico de los residuos para un periodo mensual

Grupo	Costo manejo	monto mensual/colones		
	colones/m ³ /mes	Manejo	Ambiental	Total
1	432	171,811	147,812	319,623
2	331	202,269	256,480	458,750
3	167	445,275	683,908	1,129,183

Para las empresas del grupo 1 el costo de manejo por unidad de residuos es mucho más elevado que para el resto de aserraderos. Según los resultados del Cuadro 11 estas empresas incurren en un costo promedio aproximadamente tres veces el monto destinado a este rubro por las empresas del grupo 3 o sea que en términos de eficiencia económica en el manejo de residuos los aserraderos del grupo 3 son más eficientes ; con el volumen de madera que procesan tienen una ventaja en costos sobre los aserraderos de los dos primeros grupos.

Aunque el análisis por grupo revela la presencia de economías de escala en el costo de manejo de residuos, la curva de mejor ajuste para expresar la relación entre el costo unitario y el volumen de madera procesada evidenció que existen otras variables además de la madera procesada que explican el costo de manejo. El volumen de madera en troza solo explica un 22 % del cambio que experimenta el costo de manejo de los residuos (Anexo 10). La curva de costos para el manejo de residuos es posible que sea fuertemente afectada por factores como el valor de la hora/máquina del equipo que utilizan para movilizar los residuos y de la cantidad de horas empleado en cada empresa para deshacerse de estos.

De hecho los datos de las encuestas (Anexo 8) muestran que algunos aserraderos donde se procesa poco volumen, cuentan con equipo de traslado cuyo precio por hora de trabajo es bastante inferior (menos del 50 %) al utilizado en empresas que procesan mayor

volumen. Lo anterior da como resultado un costo unitario bajo para algunas empresas pese a su bajo nivel de producción. Además se debe indicar que la distancia a los sitios de descarga de los residuos también juega un papel importante ya que aumenta el tiempo/equipo que destinan algunas empresas en esta labor.

No se debe olvidar que el estudio económico requiere la incorporación de los costos ambientales. Como el precio por tonelada de carbono emitida se ha fijado en 10 dólares, el costo ambiental incrementará en forma lineal con el volumen de residuos, así, dada la similitud en el porcentaje de rendimiento que se presenta en las industrias de la zona, las empresas que procesan mayor volumen de madera incurrirán en un costo total por concepto de residuos mucho mayor.

4.6 Perfil del Aserradero Clase 1

4.6.1 Descripción de la industria

Esta empresa se puede clasificar como una industria pequeña, cuenta con una área de terreno de 43200 m². Las instalaciones presentan la siguiente distribución de áreas funcionales :

- Area de oficina 72 m²
- Sección de aserrío 295 m²
- Sección de almacenamiento temporal de madera 143 m²
- Patio de trozas 4000 m²
- Taller de mantenimiento 64 m²

El área de oficina esta construida de madera y las secciones de aserrío y almacenaje de madera son abiertas.

4.6.1.1 Patio de trozas

El patio de trozas se localiza en la parte posterior del edificio, el terreno no cuenta con piso de lastre y presenta mal drenaje, sobre todo cerca de la rampa de cargado de trozas

a la sierra principal. Esta condición del terreno dificulta la operación de manejo de las trozas. Las trozas en el patio no tiene una distribución definida, pues no se practica un sistema de clasificación de esta por especie o tipo de madera, sino que se acumula en cualquier parte. En general se trata de procesar la madera de acuerdo a su fecha de recibo para reducir la pérdida de madera en troza. Por otro lado, la falta de orden en el patio dificulta la operación del tractor que se encarga de movilizar las trozas. La parte más distante del patio de trozas se utiliza para acumular los residuos, que en ocasiones son quemados.

4.6.1.2 Sección de aserrío

En esta área se realizan las labores de aserrío, reaserrío, despuntado y cepillado/moldurado. Se observó que hay poco espacio para acumular las piezas provenientes de la sierra principal y de la reaserradora, aspecto que dificulta la movilización. En un costado de esta sección se disponen las carretas destinadas para transportar los desechos. Generalmente se colocan tres carretas, una para las costillas, otra para el aserrín proveniente de la reaserradora y la última para los cantos y otros desechos.

4.6.2 Descripción de la maquinaria y equipo

En el Cuadro 12 se muestra la descripción técnica de la maquinaria disponible, así como un valor actual que le ha asignado el propietario/administrador del aserradero.

Nombre	Cantidad	Descripción	Valor Colones
Sierra de Cinta	1	Diametro de volante 1600 mm, Motor Trif. 220 V, Marca Dankaerd	2,500,000
Carro Sierra Cinta	1	Cuatro escuadras, avance hidráulico, Motor Trif. 220 V, 30 HP, Marca Dankaerd	2,000,000
Reaserradora	1	Marca Phoneodess, serie x44, Motor Trif. 220 V, 25 HP, velocidad variable	500,000
Cepilladora	1	Marca Invicta, Modelo DS 630, Motor Trif. 220 V, 7 HP, 500 mm Ancho Max. Corte	750,000
Molduradora	1	Marca Dankaerd, Serie S 36417, Motores Trif. 220 V, Potencia total 47 HP	2,600,000
Sierra Radial	1	Fabricación Casera	75,000
Tractor de Llanta	1	Marca Fiat, Modelo 65-56 DT, Año 1995	3,000,000
Skider	1	Marca Franklin	280,000
Afiladora de Cintas	1	Marca Vollmer, tipo Cowal SL, Serie 536416	1,900,000
Tencionadora	1	Marca Dankaerd, Tipo S 36901, Serie 72226	400,000
Afiladora de Fresas	1	Marca Brevetti, Motor de 0.8 HP	300,000
Soldadora Autogena	1		100,000

4.6.3 Descripción Organizativa

La empresa está constituida por dos socios. Desde el punto de vista operacional su principal función es la venta del servicio de aserrío, debido a que cada socio, compra materia prima en forma independiente y también comercializan el producto por separado. Por esta razón para efectos del presente estudio se derivó el ingreso de la industria a partir del precio de venta del servicio de aserrío y cepillado de la madera.

4.6.4 Volumen procesado y Distribución de la materia prima

Al estudiar los registros de la empresa se encontró que el volumen de madera en troza que se consumió durante el primer semestre de 1999 fluctuó entre 249 y 331 metros cúbicos, solo en el mes de junio se observó una disminución fuerte del volumen procesado, este fue de 169 metros cúbicos. Al promediar los datos de este semestre se obtiene un volumen estimado de proceso equivalente a 267 m³. Cabe aclarar que este volumen fue corregido utilizando el factor calculado para este efecto en el presente estudio y que corresponde a 0.367 veces más el volumen estimado por el aserradero. Si observamos los datos del Cuadro 13 podemos apreciar que consistentemente la madera semidura representa el mayor volumen del total procesado.

Cuadro 13. Volumen de madera procesada durante el primer semestre de 1999

Tipo Madera	m ³							Prom m ³
	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total	
Dura	75.87	43.78	16.55	31.67	21.45	25.21	214.52	35.75
Suave	10.69	45.79	55.92	37.70	41.83	7.22	199.15	33.19
Semidura	192.78	169.45	258.64	179.24	252.18	137.03	1189.32	198.22
Total	279.34	259.02	331.11	248.61	315.45	169.46	1602.99	267.17

En términos porcentuales el consumo de madera semidura oscila entre 65 y 80 por ciento, para un valor promedio de 74 por ciento. El 26 % restante es compartido entre madera suave y madera dura. El consumo mensual de estas clases muestra mayor variabilidad, sin embargo, el volumen procesado promedio es muy similar para ambas. De acuerdo con el administrador de la empresa el volumen que se procesa ha mantenido una tendencia decreciente en los últimos años.

4.6.5 Descripción del proceso y volumen de materia prima

El proceso de producción para esta industria incluye las operaciones de aserrío, reaserrío, desorillado, despuntado y para algunos productos cepillado y moldurado. Las operaciones siguen una secuencia establecida que inicia cuando el tractor deja las trozas en la rampa de cargado de la sierra principal.

En el momento que las trozas están sobre el carro comienza el aserrío primario, en esta operación se genera un gran porcentaje de residuos, compuesto de aserrín y costillas. Las piezas que se producen pasan de inmediato a la segunda fase, que es el reaserrío, donde se produce el desorillado y las piezas de mayor dimensión se dividen en varias dependiendo del tipo de producto requerido. De este punto las piezas pasan a la sección de despunte.

La evaluación de residuos realizada se concentró en las dos primeras fases. Dado la continuidad que el proceso mantiene resulta difícil seguir cada pieza a su destino final y tomar sus dimensiones. Una vez tomados los datos de longitud y diámetro de la troza, se contabilizaron las piezas aserradas y sus dimensiones, se asumió que el ancho de cada pieza correspondía al lado de menor dimensión. También se anotó el número de cortes, debido a que en ocasiones no se producen piezas pero si un corte. En la medición de longitud de la pieza se descontó aquellas secciones de los extremos que eran irregulares o presentaban daños, asumiendo que el despunte las eliminaría. Como el despunte se realiza para que las piezas queden en varas completas o medias varas, se utilizó este criterio para definir la longitud de las piezas, de esta manera cabos que sobrepasaban esta escala no fueron contabilizados.

El volumen de aserrín y borucha que se genera en el proceso de cepillado y moldurado no fue considerado, debido a que la madera aserrada un día y que requiere de estos procesos, no necesariamente pasa por ellos el mismo día, sino que puede ser acumulada y esperar varios días.

Con los datos tomados se estimó el volumen de aserrín y residuos sólidos utilizando las fórmulas planteadas en la metodología. Una vez calculado el volumen de estos residuos y de la madera aserrada obtenida por cada troza, se procedió a agrupar las trozas que conformaron la muestra por tipo de madera. Este agrupamiento se hizo para poder calcular



la proporción de aserrín, residuos sólidos y madera alistonada que compone un volumen determinado de madera. La estimación porcentual se obtuvo a partir de los volúmenes totales de cada componente en la muestra. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 14, se aprecia como en general el volumen de residuos sólidos triplica al volumen de aserrín. Además el porcentaje de residuos totales que se genera se aproxima al dato que se obtuvo en el análisis de las encuestas para el grupo 1 o sea aquellos que procesan menor cantidad de volumen.

Cuadro 14 . Distribución en porcentaje y volumen de los diferentes componentes de la muestra según tipo de madera.

Tipo Madera	Troza Total m ³	Madera aserrada		Aserrín		Residuos sólidos		Total residuos	
		m ³	%	m ³	%	m ³	%	m ³	%
Suave	6.46	3.76	55.31	0.86	13.45	1.85	31.24	2.70	44.69
Semidura	40.93	22.7	54.20	4.75	12.72	13.47	33.08	18.22	45.80
Dura	7.38	4.26	55.58	0.72	9.43	2.40	34.99	3.12	44.42
Total	54.77	30.72	56.09	6.33	11.56	17.72	32.35	24.05	43.91

Si se observa la columna de metros cúbicos totales de madera en trozas, se apreciará que el volumen de la muestra proporcionalmente es similar al obtenido de los registros del aserradero. Los datos indican que la muestra esta compuesta por un 75 % de madera semidura, 11.77 % y 13.13 % de madera suave y dura respectivamente.

Cuadro 15 . Volumen de residuos estimado por mes según tipo de madera

Madera en troza		m ³		
Tipo	m ³	Aserrín	Residuos sólidos	Residuos totales
Dura	35.75	3.37	12.51	15.88
Suave	33.19	4.46	10.37	14.83
Semidura	198.22	25.22	65.57	90.79
Total	267.17	33.05	88.45	121.50



Con el porcentaje de residuos estimado se procedió a calcular el volumen de aserrín y residuos sólidos que se genera en el aserradero según el tipo de madera. En el siguiente cuadro se muestra los resultados obtenidos. La información generada fue utilizada para estimar el contenido de carbono en los desechos y el costo ambiental asociado.

4.6.6 Análisis económico de la empresa

4.6.6.1 Costos de operación e ingreso

De los registros de la empresa se tomaron los costos incurridos para cada uno de los rubros durante el primer semestre de 1999. Esta información se brinda en el anexo 11. El costo de producción de la empresa para el periodo evaluado según se determinó, fluctúa entre 2,440,875 y 1,697,364 colones. A fin de calcular un costo mensual se promediaron los valores, con lo cual se obtuvo un costo promedio de 2,001,774 colones, en el Cuadro 16 se muestra la información al respecto.

El principal componente del costo para esta empresa es la mano de obra que representa más del 50 % del costo total. Si consideramos que el volumen procesado promedio es de 267 metros cúbicos, entonces el costo de aserrío por m^3 es de 7,497.00 colones y la relación costo/ m^3 obtenido es 13,805.00 colones.

El ingreso se calculó con base en el precio de venta del servicio de aserrío, cepillado y el volumen de madera procesada. Para realizar el cálculo se consideró la diferenciación de precios que hay entre madera dura y los otros dos tipos de madera.

Cuadro 16 . Flujo de fondos mensuales para la Empresa A

Concepto	Colones Mes
Costos	
Material de oficina	4,362
Carga financiera	138,612
Servicio de Agua	1,266
Comunicaciones	19,430
Membresía CCF	10,000
Cargas Sociales	93,592
Salarios y Sueldos	1,255,114
Combustibles y lubricantes	26,626
Energía eléctrica	241,619
Reparaciones y repuestos	192,726
Materiales	18,428
Sub-Total	2,001,774
Ingreso	
Aserrío	2,046,862
Cepillado	419,697
Sub-Total	2,466,559
Ingreso - Costo	464,784

En el cuadro anterior se observa el ingreso promedio/mes por concepto de estos servicios. El flujo de fondos de la empresa muestra que el beneficio neto de 464,784 colones prácticamente representa el monto del ingreso percibido por el servicio de cepillado, o sea que el servicio de aserrío solo alcanza para cubrir los costos de producción. Esta baja remuneración de la actividad puede ser producto de los bajos precios que se cobran por el servicio y/o la disminución del volumen procesado, dada la cantidad de mano de obra que se mantiene.

4.6.6.2 Costos de manejo de los residuos

Se recopilieron también datos para estimar la parte del costo de operación que corresponde al manejo de los residuos. El costo de manejo esta compuesto por dos rubros, mano de obra y equipo. Los residuos son movilizadas desde el plantel a una parte distante

del patio de trozas. Se han identificado las siguientes labores que se realizan para llevar los residuos a su destino final.

Labor	Horas/día
Cargado del aserrín de reaserrío a la carreta	1.33
Limpieza de abanico de la sierra principal	0.17
Cargado de costillas	0.50
Total	2.0

El aserradero trabaja 5 días a la semana, o sea invierte 10 horas de mano de obra en el manejo de desechos, que al mes suman 43.3 horas. Si tomamos un salario de 65,000.00 colones/mes como base, el valor promedio de la hora es de 313.00 colones. Así el costo por concepto de mano de obra invertida queda definido en un monto mensual de 13,553.00 colones.

El costo de transporte de los residuos tiene los siguientes componentes :

Número de viajes promedio tractor/ día	4
Horas por viaje	0.208
Costo del equipo / hora	4,000.00

El tiempo invertido por viaje se contabiliza desde que el tractor llega a enganchar la carreta.

Con estos datos se obtiene un costo de 3,333.00 colones en equipo/día y un monto mensual de 72,167.00 colones. El costo operativo por concepto de manejo de residuos suma entonces 85,720.00 colones, este gasto representa un 4.28 % del costo de producción de la empresa.

4.6.6.3 Estimación del costo ambiental

Con la información del volumen de residuos se estimó la biomasa y contenido de carbono por tipo de madera, según la metodología descrita. El costo ambiental fue estimado a partir de las toneladas de carbono y un precio de 10 dólares/tonelada. En el Cuadro 17 se presenta la información.

Cuadro 17. Calculo del costo ambiental por mes para el Aserradero A

Tipo Madera	Residuos m ³	Biomasa toneladas	Carbono toneladas	Costo Colones
Dura	16	14	7	19,409.00
Suave	15	5	3	7,085.00
Semidura	91	50	25	70,145.00
Total	122	69	34	96,638.00

Los resultados indican que la empresa incurriría en un gasto adicional de 96,638.00 colones al mes por concepto de cargo ambiental. Si descontamos este monto al beneficio neto actual, el mismo se reduce a 368,146.00 colones lo que representa un 20.79 % , proporción muy elevada que probablemente desincentive a los propietarios de la empresa, en caso de llegarse a implementar una medida de compensación por el daño ambiental producto del manejo actual de los residuos.

V. Conclusiones y Recomendaciones

Del presente estudio se pueden derivar las siguientes conclusiones de mayor relevancia

- Desde el punto de vista físico en la Región Huastar Norte se distinguen dos tipos de empresas de aserrío, la que genera productos tradicionales con materia prima del bosque y la que procesa madera de plantaciones para la fabricación de tarimas
- Desde la perspectiva del volumen procesado hay mucha heterogeneidad, con empresas que apenas superan los cien metros cúbicos de madera procesada por mes hasta las grandes industrias que procesan más de mil metros cúbicos y que en general se dedican al proceso de madera de plantación
- La eficiencia de las empresas en el proceso de transformación de la madera es baja, 48 por ciento, sin embargo coincide con el promedio de aserrío estimado para la industria de aserrío del país
- No se presentan diferencias significativas en cuanto al porcentaje de recuperación de la madera entre las empresas de aserrío localizadas en la zona. Sin embargo, se determinó que el factor de recuperación de la madera es de 0.5 y no de 0.7 como estiman los propietarios de los aserraderos
- Dada la similitud que se presenta en el porcentaje de residuos que generan las empresas, el volumen de residuos queda en función del volumen de madera que se procesa y es posible hacer una estimación correcta a partir de los volúmenes de los diferentes tipos de madera que trabajan

- Bajo las condiciones actuales de tecnología y volumen procesado, el volumen total de residuos que genera la industria de aserrío en la región se estima en 9958 m³ de madera que incluye aserrín y otros desechos sólidos
- Considerando la eficiencia actual en el proceso de aserrío, la rentabilidad de las empresas y el precio de la tonelada de carbono, el costo ambiental estimado oscila entre 5 y 15 por ciento de los beneficios que perciben los aserraderos de la región
- La aplicación de un costo al daño ambiental ocasionado por la liberación de carbono desde los residuos de madera generados en el proceso de aserrío, posiblemente tendrá un impacto positivo en la reducción del volumen de residuos, sobre todo en los aserraderos que procesan madera de plantación
- Desde el punto de vista económico renunciar a aprovechar los residuos tiene un costo de oportunidad que esta dado por la contaminación que se produce con la liberación de carbono a la atmósfera y por el volumen de materia prima adicional que se requiere al no aprovechar mejor el volumen de madera en troza
- Para que se pueda dar un cambio en el aprovechamiento de la materia prima es necesario que se incorpore el costo ambiental en la contabilidad de la empresa, así como separar los costos asociados al manejo de residuos de los costos de operación, de esta manera es posible que los empresarios se percaten del verdadero impacto que tiene un bajo porcentaje de rendimiento en la rentabilidad de la empresa
- Se recomienda que las empresas lleven a cabo una corrección en los registros sobre el volumen de madera que procesan, así como cambiar el sistema de medida de las trozas y utilizar un sistema confiable de medición. De esta manera los análisis de rendimiento

que realicen podrán reflejar la verdadera situación en cada empresa y permitirá tomar decisiones más acertadas

- Dado que el alcance de este estudio no permitió determinar el área de recurso forestal con que cuenta la Región Huetar Norte, tanto de bosque como de plantación, se recomienda realizar un estudio de cobertura que permita estimar la disponibilidad de materia prima, ya que es información necesaria para determinar el aprovechamiento que se pueda hacer de los residuos
- Es fundamental que las organizaciones involucradas con sector forestal en la región se integren con los empresarios para propiciar las condiciones que permitan dar uso adecuado al volumen de residuos que se está generando. Debido a que los empresarios consideran que para el volumen de residuos que maneja una empresa no es rentable invertir en equipo adicional, se recomienda un esfuerzo conjunto entre aserraderos e instituciones para implementar una medida de uso alternativo de los residuos
- Desde el punto de vista de valoración del servicio ambiental que pueden prestar los bosques o plantaciones forestales en términos de fijación de carbono, es importante que se considere el flujo de carbono que se da hacia la atmósfera desde los residuos de madera. Se recomienda descontar la cantidad de carbono liberado a la atmósfera desde los residuos de madera generados en las empresas de aserrío.

VI. Literatura consultada

- CARPIO, I. 1992. Especies forestales de Costa Rica. Estudio de las características generales, anatómicas, macro y microscópicas. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 56 p.
- CARRANZA, C., AYLWARD, B., ECHEVERRIA, J., TOSI, J. y MEJIAS, R. 1998. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. 78 p.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES EN DESARROLLO SOSTENIBLE; CENTRO CIENTÍFICO TROPICAL. 1998. Estudio de cobertura forestal actual (1996/97) y de cambio de cobertura para el periodo entre 1986/87 para Costa Rica. CIEDES-CCT. San José, Costa Rica. 20 p.
- DAVIES, J. 1997. El sector forestal en la zona norte de Costa Rica: la rentabilidad de la industria forestal. Ciudad Quesada, Costa Rica. CODEFORSA, Colección Técnica Manejo de Bosque Natural, no. 8. 38 p.
- DIRECCION GENERAL FORESTAL. 1982. Censo de la industria del aserrío, 1980. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 62 p.
- DIRECCION GENERAL FORESTAL. 1988. Censo de la industria forestal: periodo 1986 - 1987. Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas. San José, Costa Rica. 58p.
- FIELD, B. 1995. Economía ambiental. Bogota, Colombia. Editorial Mc Graw Hill. 587 p.

- FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO FORESTAL. 1999. El desarrollo del sistema de pago de servicios ambientales en Costa Rica. FONAFIFO. San José, Costa Rica. 64 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1986. Appropriate forest industries. FAO. Rome, Italy. Forestry paper no. 68. 426 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1986. Management of forest industries. FAO. Rome, Italy. Forestry paper, no. 69. 304 p.
- FREDRIK, H; SOLBERG, B. 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. Forest Science 40 (3): 429- 451.
- GREGERSEN, H ; CONTRERAS, A. 1995. Evaluación económica de las repercusiones de los proyectos forestales. Montes, no. 106. 143 p.
- HEINZ, K ; CARRILLO, O ; ARCE, H. 1991. Situación de la industria forestal primaria de la Región Huetar Norte. FAO. Roma, Italia. Documento del proyecto número 15, COSEFORMA. San José, Costa Rica. 17 p.
- HOLDRIDGE, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica. IICA. 216 p.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA. 1996. Evaluación y seguimiento del impacto ambiental en proyectos de inversión para el desarrollo agrícola y rural. IICA. San José, Costa Rica. 223 p.

- KETHULLE, F. 1996. Costos de la industria extractiva y del aserrío de madera en Costa Rica: análisis y recomendaciones para el sector forestal. Ciudad Quesada, Costa Rica. 87 p.
- KLEIT, S ; HOOP, C ; CHANG, S ; GAZO, R ; BUCHART, M. 1997. Survey and mapping of wood residue users and producers in Louisiana. *Forest Products Journal* 47 (3): 31-37.
- KYRKLUND, B. 1990. Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasyuva* 41 (163): 12-14.
- LEGA, F. 1997. Cálculo de volumen de madera en troza mediante el método estéreo. Documento del proyecto número 50, COSEFORMA. San José, Costa Rica. 21 p.
- MENDEZ, J. 1997. Determinación de la rentabilidad del manejo del bosque natural en la zona norte de Costa Rica, en fincas propiedad de asociados de CODEFORSA. Ciudad Quesada, Costa Rica. Colección Técnica Manejo de Bosque Natural, no. 2. 16 p.
- MINISTERIO DE ECONOMIA INDUSTRIA Y COMERCIO ; CAMARA COSTARRICENSE FORESTAL. 1995. Diagnóstico del sector industrial de la madera: aserraderos y fabricación de muebles. San José, Costa Rica. 52p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1991. Conservación de energía en las industrias forestales. FAO. Roma, Italia. Estudio FAO Montes no. 93. 52p.

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. 1993. El gas de madera como combustible para motores. FAO. Roma, Italia. Estudio FAO Montes no. 72. 178 p.
- QUIROS, R. 1990. Optimización del proceso de aserrío en madera de cortas dimensiones en el Pacífico Seco, Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 128 p.
- SCHROEDER, P., DIXON, R., WINJUM, J. 1998. Ordenación forestal y agrosilvicultural para reducir el dióxido de carbono atmosférico. *Unasylva* 173 vol. 44 (52-60).
- SEGURA, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Universidad Nacional. Escuela de Ciencias Ambientales. Tesis de grado para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Forestales. Heredia, Costa Rica. 127 p.
- SENCION, G. 1996. Valoración económica de un ecosistema bosque subtropical: estudio de caso San Miguel la Palotada, Petén, Guatemala. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 132 p.
- SERRANO, R. 1991. Tecnologías para el aserrío de trozas de diámetros menores. *En* Seminario de Ingeniería en Maderas (V, 1991, San José, Costa Rica). 1991. Resúmenes de ponencias. San José, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 1 - 15 p.
- SOLIZ, B. 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 113 p.

SOLORZANO, R. 1990. Economía y política forestal en Costa Rica. Centro Científico Tropical. 43 p.

TUSET, R. ; DURAN, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Uruguay. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. 688 p.

ZAMUDIO, E. 1980. Aserrío. Mexico, DF. Editorial Universidad Autónoma Chapingo. 231 p.

ANEXOS

Anexo 1A. Marco lista de aserraderos de la Región Huetaar Norte.

Nombre	Propietario	Ubicación	Teléfono
Aguas Zarcas	Jorge Mora	Aguas Zarcas	474 - 4020
Arco Iris	Henry Rodríguez	Ciudad Quesada	460 - 6932
Atenas	Nelson González	Buenos Aires de Cutris	469 - 9101
El Gavilán	Alfredo Peralta	Pital	473 - 3355
Maderas el Muelle	Guillermo Núñez	Muelle	469 -9120
El Lago	Mateo Jarquin	Boca de Arenal	469-9115
El Níspero	Rodrigo Espinoza	Pital	473 - 3075
Francisco Ugalde	Francisco Ugalde	Ciudad Quesada	460 - 0015
Forestales San Clemente	Walter González	Boca de Arenal	469 - 9003
Forestales Vifran	Luis Diego Espinach	Chilamate de Sarapiquí	766-6454
Industriales del Ambiente	Israel Vargas	Muelle	383 - 9786
Hermanos Artavia	Gerardo Artavia	Caimitos de Florencia	475-5633
La Fortuna	Alfonso Peralta	La Fortuna	479 - 9153
La Loma	Diego Ugalde	Ciudad Quesada	460- 0466
La Marina	Angel Custodio Alfaro	La Marina	460 - 0330
Los Cartagos	Oscar Rodríguez A.	Pital	473-3166
Maderas Cultivadas de CR	Luis A. Salazar	Santa Rosa de Pocosol	477 - 7211
Maderas de Cutris	Eliecer Valerio	Boca de Arenal	469-9098
Maderera San Gabriel	Daniel Jiménez Berrocal	Caimitos de Florencia	475-5029
San Antonio	José Luis Artavia	Florencia	475-5132
San Gerardo	Carlos Lizano	San Gerardo de Pocosol	
San Miguel	Rolando Vargas	Ciudad Quesada	460-0758
San Pedro	Juan Carlos Ugalde	Ciudad Quesada	
Santa Rosa	Hernán Miranda	Santa Rosa de Pocosol	477-7181
Soc. Madera Florencia	William Aguilar Mora	Florencia	475-5134
Transaca	Transp. de San Carlos	Caimitos de Florencia	475-5135
Venecia	Mauricio Alfaro	Venecia	472 - 2071

Anexo 2. Cuestionario

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE

Cuestionario de información para determinar el procesamiento de los residuos de la industria de aserrío.

1. Datos Generales

1.1 Nombre de la empresa _____

1.2 Administrador o Propietario _____

1.3 Localización _____

Tel _____ Fax. _____ e-mail _____

2. Planta física

ITEM	m ²	Valor estimado en Colones
2.1 Edificio Principal		
2.2 Patio de trozas		
2.3 Secador (es)		
2.4 Depósito de madera		
2.5 Area de residuos		
2.6 Otro		

3. Equipo

3.1 Valor estimado en colones _____

3.2 Vida útil _____

3.3 Máquina principal

Tipo (s) _____

Tipo de diente _____

3.4 Con cuales de estas otras máquinas cuenta

Reaserradora _____

Canteadora _____

Despuntadora _____

Molduradora _____

Cepilladora _____

Otros. Especifique:

4. Personal

4.1 Administrativo _____

4.2 Operativo _____

5. Producción

Volumen procesado _____ metros cúbicos o PMT/ mes

Producción obtenida _____ metros cúbicos o PMT/ mes

Semanas estimados de paro al año _____

Horas por turno _____ Turnos/Día _____ Días por semana _____

6. En que gasta usted su dinero mensual

ITEM	Valor estimado en Colones

7. Materia Prima

7.1 Inventario según tipo de madera y clase diamétrica

Tipo de madera	Porcentaje	Porcentaje según clase diamétrica			
		10 < 30	30 < 50	50 < 70	> 70
Dura					
Semidura					
Blanda					
Otro					

7.2 Características de las 10 especies principales en orden de importancia

Especie	Porcentaje	Diámetro promedio	Largo Promedio	Precio
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10				

8. Productos

8.1 Descripción de los productos

Tipo de producto	% de Producción	Precio Colones

9. Destino de los residuos

9.1 Cual es el porcentaje de desperdicio de madera que genera el aserradero?

Aserrín _____
 Costillas _____
 Cabería _____
 Borucha _____
 Desorillado _____
 Total _____

9.2 Capacidad de extractores de aserrín u otro equipo para extraer y acumular la borucha y el aserrín fuera de las instalaciones.

Equipo	Vida Util	Valor estimado en colones	Mantenimiento en Colones

9.3 Manejo de los residuos

Tipo	Ventas			Reaprovechamiento		Botadero		Otro	
	M ³	%	Precio	M ³	%	M ³	%	M ³	%
Aserrín									
Borucha									
Costillas									
Orillas									

9.4 Costo de la eliminación o almacenamiento de los residuos

Rubro	Costo en Colones

10. Costos de Producción

- a) Costo de aserrío por m³ _____
- b) Costo de cepillado por m³ _____
- c) Costo de moldurado por m³ _____
- d) Costo de transporte del producto por m³ _____
- e) Costo de transporte de madera en rollo por m³ _____
- f) Costo de transporte de los residuos por m³ _____

Anexo 4A. Datos para estimar el factor de corrección de Volumen de madera

Especie	Circ	Largo	PMT	Volum en (m³)	Diámetro menor (cm)		Diámetro mayor (cm)		Prom en m	Prom en cm	Prom en m	Largo (m)	Volumen Smalian (m³)
					cm1	cm2	cm1	cm2					
Ajillo	18	1,25	405	0,88	65	66	65,5	75	0,7	75,0	0,8	4,3	1,67
Ajillo	20	0,75	300	0,65	64	70	67,0	72	0,7	75,0	0,8	2,8	1,11
Ajillo	22	1	484	1,05	85	88	86,5	85	0,9	92,0	0,9	3,6	2,25
Almendra	32	2	2048	4,43	98	105	101,5	102	1,0	105,0	1,1	7	5,86
Caobilla	18	1	324	0,70	61	64	62,5	63	0,6	64,0	0,6	3,4	1,07
Caobilla	20	1	400	0,87	61	70	65,5	63	0,7	68,5	0,7	3,4	1,20
Caobilla	22	1	484	1,05	69	74	71,5	69	0,7	76,0	0,8	3,4	1,45
Caobilla	22	1	484	1,05	61	72	66,5	69	0,7	74,0	0,7	3,5	1,36
Caobilla	23	1	529	1,15	66	84	75,0	64	0,8	76,5	0,8	3,4	1,53
Caobilla	24	1	576	1,25	69	82	75,5	72	0,8	75,0	0,8	3,4	1,51
Caobilla	25	1	625	1,35	64	82	73,0	46	0,7	73,0	0,7	3,5	1,46
Cocobolo	18	1	324	0,70	50	60	55,0	59	0,6	60,0	0,6	3,5	0,91
Coraillo	19	1	361	0,78	52	60	56,0	55	0,6	56,5	0,6	3,5	0,87
Coraillo	19	1	361	0,78	55	57	56,0	65	0,6	65,5	0,7	3,5	1,02
Coraillo	22	1	484	1,05	60	65	62,5	68	0,6	73,5	0,7	3,5	1,28
Lagarto	9	1	81	0,18	29	30	29,5	31	0,3	32,0	0,3	3,5	0,26
Ojoche	30	1	900	1,95	82	88	85,0	90	0,9	94,0	0,9	3,6	2,27
Pochote	11	1	121	0,26	35	35	35,0	45	0,4	45,0	0,5	3,5	0,45
Querosin	16	1	256	0,55	46	53	49,5	50	0,5	51,0	0,5	3,5	0,69
Querosin	21	1	441	0,95	54	72	63,0	68	0,6	70,0	0,7	3,6	1,25
Sura	25	1,25	781,25	1,69	60	75	67,5	82	0,7	88,5	0,9	4,3	2,09
Titor	15	1	225	0,49	46	47	46,5	51	0,5	51,5	0,5	3,5	0,66
Titor	22	1	484	1,05	65	68	66,5	66	0,7	66,5	0,7	3,5	1,22
Titor	22	1,25	605	1,31	63	70	66,5	73	0,7	75,0	0,8	4,2	1,66
Acetituno	12	1	144	0,31	32	37	34,5	36	0,3	38,0	0,4	3,4	0,35
Acetituno	13	1	169	0,37	36	40	38,0	43	0,4	45,0	0,5	3,4	0,46
Anonillo	15	1	225	0,49	43	46	44,5	45	0,4	49,0	0,5	3,5	0,60
Anonillo	16	1	256	0,55	45	53	49,0	50	0,5	50,0	0,5	3,5	0,67
Anonillo	17	1	289	0,63	40	52	46,0	49	0,5	50,5	0,5	3,5	0,64

Areno	15	1	225	0,49	43	47	45,0	0,5	46	52	49,0	0,5	3,4	0,59
Botarrama	20	1	400	0,87	62	67	64,5	0,6	73	78	75,5	0,8	3,45	1,34
Carey	16	1	256	0,55	51	52	51,5	0,5	50	53	51,5	0,5	3,47	0,72
Carey	16	1	256	0,55	50	53	51,5	0,5	53	55	54,0	0,5	3,44	0,75
Carey	17	1	289	0,63	36	53	44,5	0,4	50	53	51,5	0,5	3,38	0,61
Carey	18	0,75	243	0,53	54	62	58,0	0,6	65	68	66,5	0,7	2,6	0,79
Carey	19	0,75	270,75	0,59	56	64	60,0	0,6	64	65	64,5	0,6	2,6	0,79
Carey	20	0,75	300	0,65	64	65	64,5	0,6	74	75	74,5	0,7	2,6	0,99
Chilamate	18	0,75	243	0,53	46	66	56,0	0,6	54	69	61,5	0,6	2,64	0,72
Chilamate	19	0,75	270,75	0,59	54	67	60,5	0,6	64	64	64,0	0,6	2,64	0,80
Chilamate	22	0,75	363	0,79	61	70	65,5	0,7	82	90	86,0	0,9	2,64	1,21
Chiricano	18	1	324	0,70	56	56	56,0	0,6	60	57	58,5	0,6	3,5	0,90
Chiricano	19	1	361	0,78	43	58	50,5	0,5	53	62	57,5	0,6	3,45	0,79
Chiricano	21	1	441	0,95	63	70	66,5	0,7	68	75	71,5	0,7	3,5	1,31
Chiricano	21	1	441	0,95	62	69	65,5	0,7	66	67	66,5	0,7	3,5	1,20
Chiricano	25	0,75	468,75	1,01	73	74	73,5	0,7	78	80	79,0	0,8	2,7	1,23
Chiricano	26	0,75	507	1,10	75	82	78,5	0,8	85	88	86,5	0,9	2,7	1,45
Chiricano	28	1	784	1,70	83	95	89,0	0,9	83	99	91,0	0,9	3,43	2,18
Fruta Dorada	16	1	256	0,55	50	51	50,5	0,5	50	58	54,0	0,5	3,4	0,73
Manga Larga	10	1	100	0,22	31	36	33,5	0,3	34	40	37,0	0,4	3,5	0,34
Manga Larga	11	1	121	0,26	31	35	33,0	0,3	35	38	36,5	0,4	3,5	0,33
Manga Larga	12	1	144	0,31	35	38	36,5	0,4	38	40	39,0	0,4	3,5	0,39
Manga Larga	14	1,25	245	0,53	42	46	44,0	0,4	46	46	46,0	0,5	4,5	0,72
Peine Mico	10	1	100	0,22	32	34	33,0	0,3	35	36	35,5	0,4	3,7	0,34
Peine Mico	11	1	121	0,26	35	36	35,5	0,4	39	40	39,5	0,4	3,5	0,39
Peine Mico	12	1	144	0,31	39	40	39,5	0,4	40	44	42,0	0,4	3,6	0,47
Melina	8	0,75	48	0,10	21	23	22,0	0,2	23	25	24,0	0,2	2,15	0,09
Melina	8	0,75	48	0,10	20	23	21,5	0,2	20	22	21,0	0,2	2,5	0,09
Melina	11	0,75	91	0,20	28	33	30,5	0,3	33	36	34,5	0,3	2,15	0,18
Melina	10	0,75	75	0,16	27	29	28,0	0,3	35	37	36,0	0,4	2,23	0,18
Melina	7	0,75	37	0,08	18	21	19,5	0,2	21	21	21,0	0,2	2,45	0,08
Melina	8	0,75	48	0,10	20	21	20,5	0,2	23	24	23,5	0,2	2,15	0,08
Melina	6	0,75	27	0,06	18	18	18,0	0,2	18	20	19,0	0,2	2,57	0,07
Melina	8	0,75	48	0,10	21	23	22,0	0,2	24	25	24,5	0,2	2,26	0,10
Melina	8	0,75	48	0,10	23	25	24,0	0,2	26	30	28,0	0,3	2,2	0,12
Melina	5	0,75	19	0,04	16	16	16,0	0,2	19	20	19,5	0,2	2,54	0,06
Melina	5	0,75	19	0,04	17	21	19,0	0,2	16	18	17,0	0,2	2,5	0,06
Melina	6	0,75	27	0,06	18	18	18,0	0,2	19	19	19,0	0,2	2,59	0,07

Melina	6	0,75	27	0,06	19	22	20,5	0,2	27	29	28,0	0,3	2,59	0,12
Melina	6	0,75	27	0,06	21	21	21,0	0,2	20	26	23,0	0,2	2,6	0,10
Melina	5,5	0,75	23	0,05	17	19	18,0	0,2	23	24	23,5	0,2	2,6	0,09
Almendo	15	1,25	281	0,61	50	50	50,0	0,5	52	56	54,0	0,5	4,4	0,94
Almendo	16	1,25	320	0,69	53	54	53,5	0,5	57	62	59,5	0,6	4,4	1,11
Almendo	15	1,25	281	0,61	50	53	51,5	0,5	55	57	56,0	0,6	4,35	0,99
Botarrama	22	1	484	1,05	65	74	69,5	0,7	82	66	74,0	0,7	3,47	1,40
Titor	14	1	196	0,42	44	46	45,0	0,5	45	49	47,0	0,5	3,47	0,58
Caobilla	25	1,25	781	1,69	65	65	65,0	0,7	79	83	81,0	0,8	4,3	1,82
Botarrama	23	1	529	1,15	66	81	73,5	0,7	76	92	84,0	0,8	3,4	1,66
Botarrama	15	1	225	0,49	51	54	52,5	0,5	57	59	58,0	0,6	3,5	0,84
Fruta Dorada	18	0,75	243	0,53	48	54	51,0	0,5	47	61	54,0	0,5	2,58	0,56
Fruta Dorada	16	0,75	192	0,42	44	47	45,5	0,5	52	60	56,0	0,6	2,57	0,53
Ira	15	0,75	169	0,37	46	53	49,5	0,5	47	53	50,0	0,5	2,6	0,51
Caobilla	28	1,25	980	2,12	50	84	67,0	0,7	88	90	89,0	0,9	4,3	2,09
Caobilla	18	1,125	365	0,79	59	60	59,5	0,6	65	67	66,0	0,7	4	1,24
Caobilla	25	1,25	781	1,69	81	82	81,5	0,8	86	94	90,0	0,9	4,3	2,49
Caobilla	21	1,5	662	1,43	66	69	67,5	0,7	72	78	75,0	0,8	5,3	2,12
Caobilla	24	1,5	864	1,87	70	75	72,5	0,7	74	79	76,5	0,8	5,3	2,31
Caobilla	27	1,5	1094	2,37	68	79	73,5	0,7	84	100	92,0	0,9	5,3	2,88
Caobilla	21	1,125	496	1,07	65	66	65,5	0,7	69	73	71,0	0,7	3,85	1,41
Caobilla	23	1,25	661	1,43	71	76	73,5	0,7	78	83	80,5	0,8	4,33	2,02
Caobilla	34	1,125	1301	2,81	104	107	105,5	1,1	104	112	108,0	1,1	3,82	3,42
Ajillo	20	1	400	0,87	65	65	65,0	0,7	64	73	68,5	0,7	3,5	1,23
Ajillo	24	1	576	1,25	72	80	76,0	0,8	68	86	77,0	0,8	3,5	1,61
Almendo	18	1	324	0,70	54	62	58,0	0,6	64	76	70,0	0,7	3,5	1,14
Almendo	19	1	361	0,78	62	64	63,0	0,6	67	73	70,0	0,7	3,5	1,22
Almendo	20	1	400	0,87	60	66	63,0	0,6	68	76	72,0	0,7	3,5	1,26
Botarrama	16	0,75	192	0,42	48	54	51,0	0,5	47	56	51,5	0,5	2,6	0,54
Botarrama	18	1	324	0,70	56	62	59,0	0,6	59	68	63,5	0,6	3,4	1,00
Botarrama	20	1	400	0,87	61	69	65,0	0,7	72	86	79,0	0,8	3,5	1,44
C. María	15	1	225	0,49	45	48	46,5	0,5	44	53	48,5	0,5	3,5	0,62
C. María	15	1,25	281,25	0,61	45	49	47,0	0,5	49	53	51,0	0,5	4,3	0,81
C. María	16	1	256	0,55	43	53	48,0	0,5	48	56	52,0	0,5	3,5	0,69
C. María	16	1,25	320	0,69	46	53	49,5	0,5	54	57	55,5	0,6	4,3	0,93
C. María	17	1	289	0,63	49	56	52,5	0,5	51	58	54,5	0,5	3,5	0,79
C. María	18	1	324	0,70	55	62	58,5	0,6	63	65	64,0	0,6	3,5	1,03
C. María	19	1	361	0,78	54	64	59,0	0,6	57	66	61,5	0,6	3,5	1,00

C. María	19	1	361	0,78	60	63	61,5	0,6	64	71	67,5	0,7	3,5	1,15
C. María	20	1	400	0,87	63	71	67,0	0,7	64	78	71,0	0,7	3,5	1,31
C. María	21	1	441	0,95	69	74	71,5	0,7	75	85	80,0	0,8	3,5	1,58
Caobilla	17	1,25	361,25	0,78	47	56	51,5	0,5	56	60	58,0	0,6	3,5	0,83
Caobilla	18	1,25	405	0,88	58	63	60,5	0,6	65	68	66,5	0,7	4,2	1,33
Caobilla	19	1	361	0,78	59	64	61,5	0,6	61	66	63,5	0,6	4,3	1,32
Caobilla	19	1	361	0,78	61	64	62,5	0,6	66	73	69,5	0,7	3,4	1,17
Caobilla	20	1	400	0,87	61	67	64,0	0,6	63	70	66,5	0,7	3,4	1,14
Caobilla	21	1	441	0,95	63	67	65,0	0,7	64	71	67,5	0,7	3,4	1,17
Caobilla	23	1	529	1,15	73	75	74,0	0,7	79	85	82,0	0,8	3,5	1,68
Caobilla	23	1	529	1,15	66	76	71,0	0,7	69	78	73,5	0,7	3,5	1,43
Caobilla	24	1	576	1,25	75	77	76,0	0,8	81	89	85,0	0,9	3,5	1,79
Caobilla	25	1,25	781,25	1,69	76	78	77,0	0,8	84	89	86,5	0,9	4,3	2,26
Cocobolo	11	0,75	90,75	0,20	35	35	35,0	0,4	37	40	38,5	0,4	2,7	0,29
Cocobolo	13	0,75	126,75	0,27	36	42	39,0	0,4	39	47	43,0	0,4	2,7	0,36
Cocobolo	15	0,75	168,75	0,37	43	52	47,5	0,5	48	62	55,0	0,6	2,7	0,56
Cocobolo	18	1	324	0,70	57	59	58,0	0,6	62	67	64,5	0,6	3,4	1,00
Cocobolo	21	1	441	0,95	62	70	66,0	0,7	67	78	72,5	0,7	3,4	1,28
Cocora	12	0,75	108	0,23	34	41	37,5	0,4	37	43	40,0	0,4	2,6	0,31
Cocora	14	0,75	147	0,32	42	47	44,5	0,4	46	54	50,0	0,5	2,7	0,47
Coraillo	16	1	256	0,55	47	51	49,0	0,5	53	59	56,0	0,6	3,5	0,76
Coraillo	16	1	256	0,55	44	52	48,0	0,5	51	54	52,5	0,5	3,5	0,70
Coraillo	17	1	289	0,63	50	54	52,0	0,5	52	57	54,5	0,5	3,5	0,78
Coraillo	19	1	361	0,78	59	68	63,5	0,6	68	73	70,5	0,7	3,5	1,24
Coraillo	20	1	400	0,87	61	73	67,0	0,7	64	75	69,5	0,7	3,5	1,28
Coraillo	20	1	400	0,87	63	68	65,5	0,7	72	80	76,0	0,8	3,5	1,38
Coraillo	20	1	400	0,87	64	67	65,5	0,7	69	69	69,0	0,7	3,5	1,24
Gallinazo	16	1	256	0,55	48	53	50,5	0,5	47	56	51,5	0,5	3,5	0,71
Gallinazo	17	1	289	0,63	49	52	50,5	0,5	55	62	58,5	0,6	3,4	0,80
Gallinazo	20	0,75	300	0,65	61	69	65,0	0,7	69	76	72,5	0,7	2,7	1,00
Gallinazo	20	1	400	0,87	63	65	64,0	0,6	65	73	69,0	0,7	3,4	1,18
Gallinazo	22	1	484	1,05	68	75	71,5	0,7	76	81	78,5	0,8	3,5	1,55
Gallinazo	22	1,25	605	1,31	65	69	67,0	0,7	67	72	69,5	0,7	4,3	1,57
Gallinazo	23	1	529	1,15	69	76	72,5	0,7	78	82	80,0	0,8	3,5	1,60
Lagarto	9	1	81	0,18	29	31	30,0	0,3	32	37	34,5	0,3	3,5	0,29
Lagarto	10	0,75	75	0,16	29	34	31,5	0,3	33	37	35,0	0,4	2,8	0,24
Lagarto	10	1	100	0,22	30	33	31,5	0,3	34	39	36,5	0,4	3,5	0,32
Lagarto	11	0,75	90,75	0,20	34	37	35,5	0,4	38	42	40,0	0,4	2,7	0,30

Lagarto	12	0,75	108	0,23	34	40	37,0	0,4	38	44	41,0	0,4	2,7	0,32
Lagarto	13	1	169	0,37	39	42	40,5	0,4	43	49	46,0	0,5	3,5	0,52
Lagarto	13	1	169	0,37	37	43	40,0	0,4	40	42	41,0	0,4	3,5	0,45
Lagarto	16	0,75	192	0,42	43	58	50,5	0,5	52	59	55,5	0,6	2,6	0,57
Lagarto	17	1	289	0,63	51	58	54,5	0,5	54	57	55,5	0,6	3,5	0,83
Lagarto	18	1	324	0,70	54	61	57,5	0,6	57	68	62,5	0,6	3,5	0,99
Lagarto	19	1	361	0,78	60	66	63,0	0,6	68	74	71,0	0,7	3,5	1,24
Lagarto	21	1	441	0,95	66	68	67,0	0,7	68	75	71,5	0,7	3,5	1,32
Laurel	13	1	169	0,37	38	43	40,5	0,4	42	48	45,0	0,5	3,5	0,50
Laurel	15	1	225	0,49	46	48	47,0	0,5	52	58	55,0	0,6	3,5	0,72
Ojoche	17	1	289	0,63	53	56	54,5	0,5	58	62	60,0	0,6	3,5	0,90
Ojoche	28	1	784	1,70	82	89	85,5	0,9	83	100	91,5	0,9	3,5	2,15
Pillón	26	1,25	845	1,83	77	85	81,0	0,8	91	98	94,5	0,9	4,3	2,61
Pochote	10	0,75	75	0,16	31	35	33,0	0,3	38	44	41,0	0,4	2,7	0,29
Pochote	12	1,25	180	0,39	35	40	37,5	0,4	36	41	38,5	0,4	4,3	0,49
Pochote	13	0,75	126,75	0,27	39	40	39,5	0,4	42	47	44,5	0,4	2,7	0,38
Pochote	14	0,75	147	0,32	41	44	42,5	0,4	40	47	43,5	0,4	2,7	0,39
Pochote	14	1	196	0,42	40	45	42,5	0,4	47	49	48,0	0,5	3,5	0,56
Pochote	15	1	225	0,49	43	48	45,5	0,5	45	51	48,0	0,5	3,5	0,60
Pochote	17	1	289	0,63	53	57	55,0	0,6	58	63	60,5	0,6	3,5	0,92
Pochote	17	1	289	0,63	50	56	53,0	0,5	47	62	54,5	0,5	3,5	0,79
Pochote	17	1	289	0,63	51	54	52,5	0,5	56	61	58,5	0,6	3,5	0,85
Sura	17	1	289	0,63	49	61	55,0	0,6	53	71	62,0	0,6	3,5	0,94
Sura	18	1	324	0,70	54	61	57,5	0,6	63	72	67,5	0,7	3,5	1,08
Sura	20	1,5	600	1,30	58	67	62,5	0,6	61	68	64,5	0,6	5,1	1,61
Sura	21	1,5	661,5	1,43	63	73	68,0	0,7	69	80	74,5	0,7	5,1	2,04
Sura	26	1	676	1,46	76	83	79,5	0,8	86	92	89,0	0,9	3,5	1,96
Sura	27	1,25	911,25	1,97	76	82	79,0	0,8	83	90	86,5	0,9	4,3	2,32

Anexo 5A. Peso específico básico de las maderas

Especies de maderas más frecuentes en los aserraderos de la Zona Norte

Especie	Nombre Científico	Clasificación	PEB*
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i>	Dura	0,96
Corteza	<i>Tabebuia neochrysantha</i>	Dura	0,78
		Promedio	0,87
Aceituno	<i>Simarouba amara</i>	Suave	0,4
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	Suave	0,27
Chilamate	<i>Ficus glabrata</i>	Suave	0,31
Fruta Dorada	<i>Virola koschnyi</i> Warb	Suave	0,37
Gallinazo	<i>Schizolobium parahybum</i> Blake	Suave	0,38
Melina	<i>Gmelina arborea</i> Roxb	Suave	0,34
Paleta	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Suave	0,32
Peine Mico	<i>Apeiba aspera</i> Aublx	Suave	0,27
Eucalipto	<i>Eucalipto sp</i>	Suave	0,39
		Promedio	0,34
Ajillo	<i>Caryocar costaricensis</i>	Semidura	
Areno	<i>Andira inermis</i>	Semidura	0,60
Botarrama	<i>Vochysia ferruginea</i>	Semidura	0,42
María	<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Semidura	0,47
Caobilla	<i>Guarea trichilioides</i>	Semidura	0,57
Chiricano	<i>Vantanea barbouri</i> Standl	Semidura	0,70
Cocobolo	<i>Tipuanalundelli</i> Standl	Semidura	0,55
Cocora	<i>Billia hippocastamun</i>	Semidura	
Coralillo	<i>Tabebuia obovata</i> Steud	Semidura	0,68
Gavilán	<i>Pentaclethra maculoba</i>	Semidura	0,49
Canfín	<i>Icica panamensis</i> Rose	Semidura	0,45
Ira	<i>Ocotea ira</i>	Semidura	0,48
Lagarto	<i>Zanthoxylum selulosum</i> P Wilson	Semidura	0,57
Laurel	<i>Cordia alliodora</i> Oken	Semidura	0,50
Manga Larga	<i>Laetia procera</i> Eichel	Semidura	0,63
Ojoche	<i>Brosimum sapiifolium</i>	Semidura	0,63
Manteco	<i>Trichilia albiflora</i>	Semidura	0,57
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	Semidura	0,43
Campano	<i>Couratari panamensis</i>	Semidura	0,49
Pilón	<i>Hieronyma alcheornoides</i>	Semidura	0,63
Pochote	<i>Bombacopsis quinatum</i> Dugand	Semidura	0,43
Kerosén	<i>Tetragastris panamensis</i>	Semidura	0,64
Roble encino	<i>Quercus aaata</i>	Semidura	0,61
Roble sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	Semidura	0,48
Surá	<i>Terminalia oblonga</i> Steud	Semidura	0,67
Titor	<i>Cleyera matadai</i> Kobusky	Semidura	0,63
Tostado	<i>Belatía costarricensis</i>	Semidura	0,43
		Promedio	0,55

PEB = Peso Específico Básico

Fuente: Carpio Isabel M. 1992. Maderas de Costa Rica. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica.

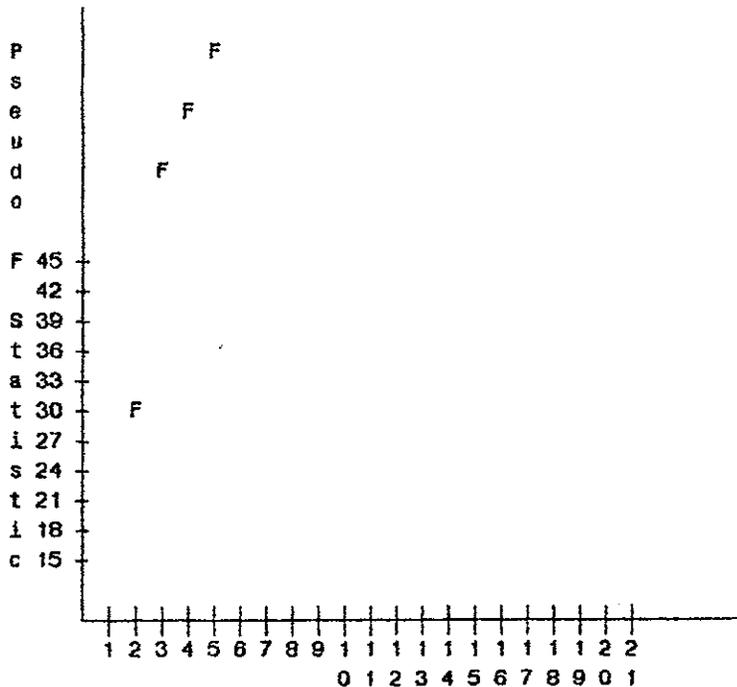
Anexo 7A. Resultados del análisis Cluster y Discriminante canónico.

Grafico de las Variables Canonicas y los 3 Cluster

Ward's Minimum Variance Cluster Analysis
 Root-Mean-Square Distance Between Observations = 0.32375

NCL	-Clusters	Joined-	FREQ	SPRSQ	RSQ	Pseudo F	Pseudo t**2 e
20	2	5	2	0.000043	0.999957	1213.5	.
19	1	16	2	0.000115	0.999884	700.5	.
18	CL20	11	3	0.000152	0.999848	567.5	3.5
17	6	20	2	0.000291	0.999708	415.1	.
16	CL19	CL17	4	0.000705	0.999294	254.7	3.5
15	3	8	2	0.000832	0.999167	199.9	.
14	CL15	13	3	0.001484	0.998515	148.1	1.8
13	CL16	21	5	0.001554	0.998445	128.1	4.2
12	9	14	2	0.001908	0.998091	114.6	.
11	CL13	12	6	0.002220	0.997779	106.5	3.3
10	10	15	2	0.002283	0.997716	104.2	.
9	CL18	18	4	0.002935	0.997064	101.8	30.0
8	CL14	7	4	0.003908	0.996091	98.9	3.4
7	CL11	CL9	10	0.009111	0.990888	82.4	9.1
6	CL12	19	3	0.011587	0.988412	73.7	6.1
5	CL8	CL6	7	0.018669	0.981330	65.2	4.7
4	CL7	CL10	12	0.029236	0.970763	59.4	15.1
3	4	17	2	0.053949	0.946050	54.8	.
2	CL4	CL5	19	0.238865	0.761134	31.0	46.7
1	CL2	CL3	21	0.820152	0.179847	.	31.0

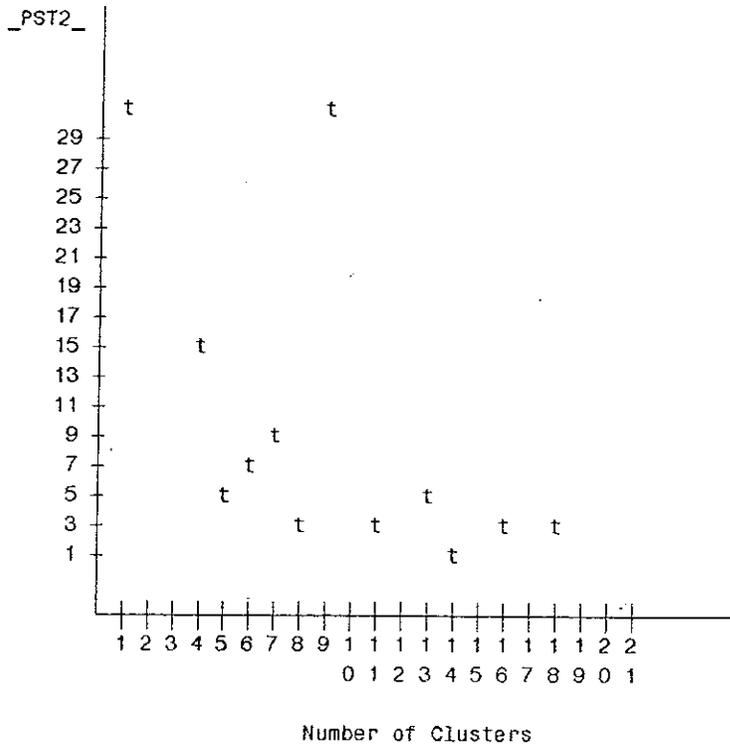
Grafico de las Variables Canonicas y los 3 Cluster
 Plot of _PSF*_NCL_. Symbol used is 'F'.



Number of Clusters

Grafico de las Variables Canonicas y los 3 Cluster

Plot of _PST2*_NCL_. Symbol used is 't'.



NOTE: 28 obs had missing values. 1 obs out of range.

CLUSTER	Frequency	Percent	Cumulative Frequency	Cumulative Percent
1	12	57.1	12	57.1
2	7	33.3	19	90.5
3	2	9.5	21	100.0

Listado de los grupos, para 3 cluster

OBS	CLUSTER	ASERRA
1	1	2
2	1	5
3	1	1
4	1	16
5	1	11
6	1	6
7	1	20
8	1	21
9	1	12
10	1	10
11	1	15
12	1	18
13	2	3
14	2	8
15	2	13
16	2	9
17	2	14
18	2	7
19	2	19
20	3	4
21	3	17

TABLE OF SCINTA BY CLUSTER

SCINTA	CLUSTER			Total
	1	2	3	
Frequency				
Percent				
Row Pct				
Col Pct				
0	2	0	1	3
	9.52	0.00	4.76	14.29
	66.67	0.00	33.33	
	16.67	0.00	50.00	
1	10	7	1	18
	47.62	33.33	4.76	85.71
	55.56	38.89	5.56	
	83.33	100.00	50.00	
Total	12	7	2	21
	57.14	33.33	9.52	100.00

STATISTICS FOR TABLE OF SCINTA BY CLUSTER

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	2	3.306	0.192
Likelihood Ratio Chi-Square	2	3.639	0.162
Mantel-Haenszel Chi-Square	1	0.155	0.694
Phi Coefficient		0.397	
Contingency Coefficient		0.369	
Cramer's V		0.397	

Sample Size = 21

WARNING: 67% of the cells have expected counts less than 5. Chi-Square may not be a valid test.

TABLE OF SMULTIPL BY CLUSTER

SMULTIPL	CLUSTER			Total
	1	2	3	
Frequency				
Percent				
Row Pct				
Col Pct				
0	10	7	0	17
	47.62	33.33	0.00	80.95
	58.82	41.18	0.00	
	83.33	100.00	0.00	
1	2	0	2	4
	9.52	0.00	9.52	19.05
	50.00	0.00	50.00	
	16.67	0.00	100.00	
Total	12	7	2	21
	57.14	33.33	9.52	100.00

STATISTICS FOR TABLE OF SMULTIPL BY CLUSTER

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	2	10.191	0.006
Likelihood Ratio Chi-Square	2	9.637	0.008
Mantel-Haenszel Chi-Square	1	2.426	0.119
Phi Coefficient		0.697	
Contingency Coefficient		0.572	
Cramer's V		0.697	

Sample Size = 21

WARNING: 67% of the cells have expected counts less than 5. Chi-Square may not be a valid test.

Analisis Canonico Discriminante con 3 cluster

Canonical Discriminant Analysis

21 Observations 20 DF Total
 3 Variables 18 DF Within Classes
 3 Classes 2 DF Between Classes

Class Level Information

CLUSTER	Frequency	Weight	Proportion
1	12	12.0000	0.571429
2	7	7.0000	0.333333
3	2	2.0000	0.095238

Canonical Discriminant Analysis Pairwise Squared Distances Between Groups

$$D(i|j) = (\bar{X}_i - \bar{X}_j)' \text{COV}^{-1} (\bar{X}_i - \bar{X}_j)$$

Squared Distance to CLUSTER

From CLUSTER	1	2	3
1	0	20.73053	79.54325
2	20.73053	0	84.92581
3	79.54325	84.92581	0

F Statistics, NDF=3, DDF=16 for Squared Distance to CLUSTER

From CLUSTER	1	2	3
1	0	27.15578	40.40292
2	27.15578	0	39.14276
3	40.40292	39.14276	0

Prob > Mahalanobis Distance for Squared Distance to CLUSTER

From CLUSTER	1	2	3
1	1.0000	0.0001	0.0001
2	0.0001	1.0000	0.0001
3	0.0001	0.0001	1.0000

Canonical Discriminant Analysis

Univariate Test Statistics

F Statistics, Num DF= 2 Den DF= 18

Variable	Total STD	Pooled STD	Between STD	R-Squared	RSQ/ (1-RSQ)
VOLPRCE	710.3527	254.9876	798.2876	0.884033	7.6232
VOLOB	329.5139	120.3686	369.4391	0.879906	7.3268
NETO	1918043	809062	2100941	0.839864	5.2447

Univariate Test Statistics

Variable	F	Pr > F
VOLPRCE	68.6086	0.0001
VOLOB	65.9413	0.0001
NETO	47.2021	0.0001

Average R-Squared: Unweighted = 0.8679344
 Weighted by Variance = 0.8398638

Multivariate Statistics and F Approximations

S=2 M=0 N=7

Statistic	Value	F	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.01884521	33.5173	6	32	0.0001
Pillai's Trace	1.72104279	34.9608	6	34	0.0001
Hotelling-Lawley Trace	12.80254927	32.0064	6	30	0.0001
Roy's Greatest Root	7.71085334	43.6948	3	17	0.0001

NOTE: F Statistic for Roy's Greatest Root is an upper bound.
 NOTE: F Statistic for Wilks' Lambda is exact.

Canonical Discriminant Analysis

	Canonical Correlation	Adjusted Canonical Correlation	Approx Standard Error	Squared Canonical Correlation
1	0.940851	0.922540	0.025670	0.885201
2	0.914244	.	0.036707	0.835842

Eigenvalues of INV(E)*H
 = CanRsq/(1-CanRsq)

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	7.7109	2.6192	0.6023	0.6023
2	5.0917	.	0.3977	1.0000

Test of H0: The canonical correlations in the current row and all that follow are zero

	Likelihood Ratio	Approx F	Num DF	Den DF	Pr > F
1	0.01884521	33.5173	6	32	0.0001
2	0.16415790	43.2794	2	17	0.0001

Total Canonical Structure

	CAN1	CAN2
VOLPRCE	0.988225	0.152963
VOLOB	0.982823	0.172437
NETO	0.388979	0.919006

Between Canonical Structure

	CAN1	CAN2
VOLPRCE	0.988877	0.148736
VOLOB	0.985776	0.168064
NETO	0.399340	0.916803

Pooled Within Canonical Structure

	CAN1	CAN2
VOLPRCE	0.983239	0.181992
VOLOB	0.960914	0.201605
NETO	0.329345	0.930474

Canonical Discriminant Analysis

Total-Sample Standardized Canonical Coefficients

	CAN1	CAN2
VOLPRCE	2.397694241	1.524902473
VOLOB	0.643777069	-2.637038290
NETO	-0.519877463	2.788828108

Pooled Within-Class Standardized Canonical Coefficients

	CAN1	CAN2
VOLPRCE	0.860674348	0.547377734
VOLOB	0.235166251	-0.963287510
NETO	-0.219292895	1.176373727

Raw Canonical Coefficients

	CAN1	CAN2
VOLPRCE	0.0033753574	0.0021466836
VOLOB	0.0019537173	- .0080028127
NETO	- .0000002710	0.0000014540

Class Means on Canonical Variables

CLUSTER	CAN1	CAN2
1	-0.838604276	-1.675963126
2	-0.826362047	2.877099286
3	7.923892822	-0.014068750

Anexo 8A. Valores mensuales para las variables evaluadas por Aserradero

#	Infraestructura m ²	Sierra Cinta	Sierra Multiple	Total Piezas	Valor (Colones) Infraestructura	Valor Equipo (Colones)	Valor inversion total (Colones)	Vol. Procesado m ³ Corregido	Vol. Residuos m ³ Corregido	Vol. procesado m ³ Datos originales	Vol. obtenido m ³	Vol. residuos m ³ Datos originales	Madera dura m ³	Madera Semidura m ³
1	9000	1	0	4	10000000	15000000	25000000	273	137	200	136	58	27	164
2	30550	1	0	4	50000000	10000000	60000000	314	150	230	164	70	63	189
3	31650	2	0	10	19000000	125000000	144000000	705	395	515	309	206	211	423
4	29800	0	2	9	92000000	130000000	222000000	2250	1238	2250	1012	1238	0	0
5	15500	1	0	5	32600000	15000000	47600000	320	144	234	176	59	64	240
6	43200	1	0	5	16500000	12000000	28500000	296	144	216	152	65	59	192
7	22750	2	0	7	85500000	30000000	115500000	769	375	562	394	169	269	384
8	43724	1	0	6	32000000	41000000	73000000	545	246	398	299	100	218	272
9	30400	1	0	5	41000000	20000000	61000000	384	159	281	225	56	58	288
10	35000	2	0	8	426000000	5000000	431000000	769	431	562	337	225	0	577
11	28250	1	1	5	6000000	20000000	26000000	256	116	187	141	47	26	179
12	5600	0	0	4	30000000	10000000	40000000	103	51	75	51	22	5	77
13	29550	2	0	7	40000000	16000000	56000000	513	231	375	281	94	26	461
14	22100	1	0	4	25325000	6000000	31325000	478	235	350	244	104	120	263
15		0	1	7		15000000		950	505	950	445	477	0	0
16			2	0				355	201	260	155	103	36	267
17			1	2				3093	1670	3093	1423	1670	0	0
18	13963	1	0	7	17170160	20888000	38058160	444	217	325	228	98	36	311
19	36000	2	0	11	258000000	40000000	298000000	889	495	650	394	256	133	133
20	14600	1	0	4	15000000	11000000	26000000	239	118	175	121	52	24	167
21	15700	2	0	8	114500000	40000000	154500000	451	222	330	230	98	45	361

Madera Suave m ³	Madera Cuadro m ³	Arteson m ³	Madera Cepillada m ³	Formaleta m ³	Madera Tarimas m ³	Total gastos (Colones)	Total Ventas (Colones)	Beneficio Neto (Colones)	Costo Ambiental (Colones)	Costo de manejo residuos	Costo Total (Colones)
82	68	0	27	41	0	7071000	7812000	741000	104702	122500	227202
63	115	8	16	25	0	7855000	9490819	1635819	131225	59390	190615
70	186	46	46	31	0	19048633	22933845	3885212	318346	500000	818346
2250	0	0	0	0	1012	54893064	58443000	3549936	576004	368050	944054
16	123	18	26	9	0	8384295	9904044	1519749	140908	53133	194041
44	98	15	8	30	0	8245000	9450000	1205000	125776	159900	285676
115	276	59	20	39	0	21728700	26233305	4504605	348653	79950	428603
54	149	90	45	15	0	18173638	22476353	4302715	256330	125800	382130
38	112	22	67	22	0	9658650	15380160	5721510	162700	160000	322700
192	211	0	76	50	0	18688000	19991610	1303610	285726	137425	423151
51	91	7	14	0	28	6643033	8178288	1535255	102082	291275	393357
21	31	0	15	5	0	2588067	3411385	823318	39872	38480	78352
26	239	14	14	14	0	14779688	18210741	3431053	211219	187764	398983
96	143	34	34	33	0	11793784	16600122	4806338	204230	187372	391602
950	0	0	0	0	445	22205423	23985500	1780077	243202	542640	785842
53	124	0	15	15	0	8673503	9368806	695303	144336	227000	371336
3093	0	0	0	0	1423	73633448	79536204	5902756	791813	522500	1314313
98	148	11	34	34	0	11085825	13269506	2183681	173936	195000	368936
622	20	20	78	0	276	17748750	23994324	6245574	293888	175000	468888
48	91	6	12	12	0	6516333	7504000	987667	95304	120000	215304
45	161	11	34	23	0	12604448	13418513	814065	186675	115000	301675

Anexo 9A. Estadísticas para el factor de corrección de volumen

Estimación del Intervalo de confianza para el factor de corrección del volumen procesado

T Confidence Intervals

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95.0 % CI
Factor	171	0.3667	0.2055	0.0157	(0.3357, 0.3977)

Estimación de la ecuación de regresión para determinar volumen de residuos

Regression Analysis

The regression equation is

$$\text{VOLRes} = -10.1 + 0.491 \text{ MDura} + 0.531 \text{ MSDura} + 0.536 \text{ MSuave}$$

Predictor	Coef	StDev	T	P	VIF
Constant	-10.07	14.45	-0.70	0.495	
MDura	0.49061	0.07797	6.29	0.000	1.2
MSDura	0.53134	0.04690	11.33	0.000	1.6
MSuave	0.536158	0.008758	61.22	0.000	1.5

S = 25.40 R-Sq = 99.6% R-Sq(adj) = 99.6%

Anexo 10A. Resultados del análisis de regresión para el costo de manejo de residuos

Model: MODELO LOGARITMICO
 Dependent Variable: LCOSTUNI

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	0.50986	0.50986	5.404	0.0313
Error	19	1.79252	0.09434		
C Total	20	2.30238			
Root MSE		0.30715	R-square	0.2214	
Dep Mean		6.57254	Adj R-sq	0.1805	
C.V.		4.67328			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	7.875671	0.56454738	13.950	0.0001
LVOL	1	-0.209755	0.09022828	-2.325	0.0313

