

MODELO DETERMINÍSTICO-ESTOCÁSTICO PARA EL CÁLCULO DE VARIABLES SIN REGISTROS HISTÓRICOS. ESTUDIO DE CASO: GENERACIÓN DE RESÍDUOS MADEREROS EN LA LOCALIDAD DE BARRIOS UNIDOS, BOGOTÁ D.C. COLOMBIA¹

Palabras clave: Modelos estocásticos, Modelos determinísticos, Consumo de madera, Residuos de madera, Barrios Unidos, Bogotá D.C.

Key words: Stochastic models, Deterministic models, Wood consumption, Wood residues, Barrios Unidos, Bogotá D.C.

César Polanco Tapia²

RESUMEN

Este artículo presenta una metodología que pretende hacer frente a la falta de información cuando se trabaja con varios establecimientos madereros y se busca hacer estimaciones de forma agregada. Para tal fin, el autor se basó en la información recolectada en un trabajo de investigación del año 2004, en 270 establecimientos transformadores de maderas localizados en Bogotá, Colombia (Polanco C. *et al.*, 2004). Esta metodología se basa en un modelo mixto, determinístico-estocástico y ha sido alimentado con testimonios suministrados directamente por el personal encargado de cada unidad de producción. Con la información final obtenida, se espera proveer una herramienta para los planificadores del sector en un escenario dinámico con cambios no estructurales, siempre en función de la competitividad; así mismo, crear conciencia sobre la importancia que reviste el mejor aprovechamiento de la madera en empresas con fuerte inclinación por materias primas del bosque natural.

ABSTRACT

This paper presents a methodology that seeks to palliate the lack of information, when it works with several establishments and it is

looked for making estimates in an added way. For such an end, the author was based on the information gathered in a research made in 270 wood transformers establishments located in Bogotá, Colombia (Polanco C. *et al.*, 2004). This methodology is based on a mixed, deterministic-stochastic model and it has been fed with testimonies given directly by the personnel in charge of each production unit. With the obtained final information, it expects to provide a tool for the planners of the sector in a dynamic scenario with non structural changes, always in function of the competitiveness; likewise, to create conscience about the importance that the best use of the wood has in companies with strong inclination for primes matters of the natural forest.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más comunes que enfrentan los ingenieros cuando trabajan con micro, pequeñas y medianas empresas (MIPY-MES) en el país, corresponde a la falta de registros de información periódica, que permitan hacer estimaciones de diferentes variables a futuro. Ésta es una situación que se repite constantemente en Colombia, sobre todo en el sector madera-muebles.

¹ Artículo fundamentado en un proyecto de investigación dirigido por el autor, con la ayuda de los Ingenieros John Ayure y Mariela Gómez (auxiliares de investigación), titulado "Diagnóstico ambiental y productivo del sector mueble y madera de la Localidad de Barrios Unidos" realizado en el año 2004.

² Docente Coordinador Laboratorio de Tecnología de Maderas e Industria Forestal de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal. cpolanco@udistrital.edu.co Tel 3376917. A.A. 23352 Bogotá - Colombia.

Entre las causas que el autor atribuye a este problema está la falta de conciencia por parte de los gerentes, administradores y encargados de la producción sobre la planeación, que según Sipper & Bulfin (1998), se puede dividir en tres escenarios, según sea el período de tiempo evaluado. Por una parte, se hace referencia a la planeación estratégica cuando las decisiones afectan el sistema en un término de tres a diez años; planeación táctica o de mediano plazo, la cual tiende al logro de metas en un período que va de seis meses a tres años y, por último, la planeación de corto plazo u operativa, que satisface las decisiones que se toman día a día y semana a semana.

Otra causa detectada, según la experiencia, es la falta de acompañamiento de entidades privadas o del estado, sean académicas o no, que orientan la mejor forma de llevar a cabo las actividades administrativas dentro del componente de producción y la forma de tratar la información registrada para elevar la productividad de las empresas dentro de un proceso de mejora continua.

La ausencia sistemática de planeación en las MIPYMES del sector ha generado una serie de desórdenes en los esquemas productivos que repercuten directamente en las siguientes políticas: suministro de materia prima, capacidades, producción, insumos, mano de obra, mantenimiento de maquinaria, financiera, ventas, mercado, desarrollo de productos y protección al medio ambiente, las cuales constituyen en conjunto una unidad sistémica, con múltiples consecuencias al incidir sobre cada una de ellas (Kalenatic, 2001; Martínez, 1989).

OBJETIVO GENERAL

Presentar una metodología para el cálculo de variables continuas sin registros históricos, que facilite la planeación agregada de clusters conformados por MIPYMES.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Formular una metodología de carácter mixto, determinística-estocástica, para predecir el comportamiento de variables continuas sin registros históricos en MIPYMES del sector maderero.
- Estimar los valores demandados de madera y generación de residuos en la Localidad de Barrios Unidos, Bogotá D.C., Colombia, a partir de la metodología propuesta.
- Evaluar la conveniencia de la metodología utilizada en el estudio de caso presentado.

EL SECTOR MADERERO EN LA LOCALIDAD DE BARRIOS UNIDOS

La Localidad de Barrios Unidos se ubica en el centro-norte del Distrito Capital, posee un área de 1190 ha, equivalente al 1.4% con relación al área urbana de la ciudad; su población sobrepasa los 200.000 habitantes y se ha caracterizado desde mediados del siglo pasado por poseer una gran frecuencia de establecimientos dedicados a la transformación y comercialización de artículos en madera, especialmente muebles, caracterizándose junto con otras dos Localidades (Kennedy y Suba) como las proveedoras de mueble en madera más importantes de la ciudad capital y sus alrededores. Posee un total de 44 barrios, de los cuales 26 presentan actividad maderera; no obstante, la Localidad concentra esta rama en tres barrios, a saber: Doce de Octubre, Gaitán y San Fernando.

Según una encuesta practicada por Polanco C., *et al.* (2004), posee 380 empresas dedicadas a la producción maderera. De 270 establecimientos que suministraron información, el 93% (252) corresponde a microempresas, 5.5% (15) pequeñas empresas y tan solo tres establecimientos corresponden a la categoría de medianas empresas, según la Ley 590 de 2000, modificada en agosto del 2004 por la Ley 995.

El sector maderero se caracteriza por un exagerado nivel de atomización, altos niveles de

desperdicio de la materia prima, falta de planeación en todas las actividades asociadas a la administración, producción y comercialización de productos, lo cual es preocupante en este tiempo, debido a los retos que tiene que afrontar el sector en el escenario internacional de globalización. También es inquietante la forma en que se realiza el suministro de madera, proveniente en su mayoría del bosque natural y la extrema dependencia por dos especies (*Cedrela sp.* y *Tabebuia rosea*), que corresponden a la tercera parte del total de madera consumida en la Localidad. Otro aspecto que se debe mencionar es el bajo nivel de capacitación y entrenamiento del personal operativo y la falta de conciencia para su evolución.

METODOLOGÍA

ENCUESTA Y ACOPIO DE INFORMACIÓN

Para evaluar la metodología propuesta fue necesario obtener información primaria relacionada con los hábitos de consumo de materia prima y producción, así como la cantidad de residuos generados, para controlar la veracidad del consumo.

El acopio de información se llevó a cabo de forma cualitativa y el resultado se procesó de forma cuantitativa según la cantidad de respuestas asignadas para cada mes, por lo que en algunas gráficas el resultado final puede sumar más del 100%, ya que un mismo encuestado opinaba sobre diferentes meses.

Para confirmar la información anterior y comprobar la existencia de períodos de aprovisionamiento, se registró, de la misma forma, la respuesta a las preguntas sobre meses de mayor y menor compra de materia prima.

Con relación a las especies y volúmenes de madera comprados, se realizó la pregunta di-

rectamente, y en la mayoría de los casos las respuestas se expresaron en piezas/mes, para lo cual fue necesaria la homologación de nombres vulgares, según el conocimiento del autor.

Los residuos generados se clasificaron en tres grupos: aserrín, virutas y trozos. En todos los casos se preguntó sobre el volumen generado con frecuencia mensual. Debido a la heterogeneidad en las respuestas por las diferentes formas de acopio, almacenamiento y disposición, fue necesario un procedimiento de homologación.

HOMOLOGACIÓN DE RESULTADOS DE RESÍDUOS GENERADOS

Muestreo

Con el fin de corroborar y homologar la información obtenida en las encuestas en cuanto a la cantidad de residuos generados en los establecimientos que realizan transformación de la madera, se llevó a cabo un muestreo representativo de la población en estudio (Niebel & Frivalds, 2001). Para conseguir el número de muestras necesarias (**Tabla 1**), se utilizó un nivel de significancia del 68.27%, y un error (e) del 15%, teniendo en cuenta el número de generadores y de no generadores por tipo de residuo, con respecto al total de los establecimiento encuestados (270), obteniendo el número necesario de muestras, el cual se logró con la ayuda de la siguientes formulación:

$$N_M = (p*q)/(e)^2$$

Donde:

N_M = Número de establecimientos a muestrear

p = Porcentaje de generadores

q = Porcentaje de no generadores

Tabla 1. Valores p y q , necesarios para aplicar la fórmula N_m .

RESIDUO	GENERADORES (p)	% p	NO GENERADORES (q)	% q	N_m
Aserrín	207	76.67	63	23.33	8
Trozos de madera	181	67.04	89	32.96	10
Viruta	208	77.04	62	22.96	8

Fuente: El estudio

Selección de sitios

La selección de los sitios para el muestreo se realizó de manera aleatoria, a partir de los establecimientos que permitirían la medición de los residuos.

Al llegar al sitio escogido para el muestreo, se identificó el proceso que se estaba ejecutando en el momento, de acuerdo con éste se definió el tipo de muestra que se podía tomar, según fuese aserrín, virutas o trozos de madera.

Las muestras colectadas presentaron gran heterogeneidad, debido a la presencia de diferentes especies de madera, la variabilidad en contenidos en humedad y las densidades; por esta razón fue necesario hacer un promedio entre todas las muestras para que el resultado final respondiera al volumen medio que se presenta en las distintas formas de almacenamiento de residuos que realiza cada establecimiento.

Dependiendo del tipo de máquina presente, se determinó el tipo de material generado siguiendo las siguientes reglas:

- Aquel establecimiento que contara con una sierra de cualquier tipo, ya fuese de banda o circular, se consideró como potencial generador de aserrín y trozos de madera.
- Lo centros con máquinas que dan acabados como cepillo, planeadora, ruteadora y molduradora, se consideraron como potenciales generadores de virutas.

Procedimiento para muestras de aserrín y viruta

Se procedió a ubicar una pieza de madera que contara con una dimensión de acuerdo con el

producto que se estaba elaborando en la empresa al momento de la visita. A continuación se limpió la maquinaria, adecuando la zona de trabajo para coleccionar el volumen resultante de residuo durante el proceso de maquinado, de esta manera se obtuvo una muestra libre de otros residuos. Antes de iniciar el proceso en cada una de las máquinas, se tuvieron en cuenta las dimensiones con las que la pieza llegaba al puesto de trabajo, así como también las dimensiones al finalizar la transformación; de esta manera se pudo conocer la pérdida en madera maciza.

El proceso de maquinado se realizó hasta que la pieza estaba completamente terminada y lista para el próximo proceso. Luego de realizada la transformación se recogió el residuo generado por la máquina, este se coleccionó en un recipiente de volumen conocido. Posteriormente se procedió a relacionar el volumen de madera maciza perdida en la transformación con el volumen del residuo suelto, para conocer el volumen de madera en piezas macizas y relacionarlo en metros cúbicos sueltos de residuo.

Sucesivamente se llenó con el recipiente de volumen conocido, cada una de las diferentes formas en que se depositan o almacenan los residuos generados por los establecimientos encuestados (bolsas para basura pequeña, mediana e industrial, lonas pequeñas y lonas de camión). De esta manera se conoció el volumen en piezas y m^3 de aserrín y viruta para cada forma de almacenamiento. Se hizo la sumatoria de todos los resultados de aserrín y viruta, para hallar la media de cada residuo y cada forma de almacenamiento.

Además, se analizó el contenido de humedad y la densidad de la muestra para conocer las características de las maderas que se estaban trabajando al momento del muestreo en la Localidad de Barrios Unidos.

Procedimiento para muestras de trozos de madera

Para la medición de estos residuos, se seleccionaron los trozos de madera de las especies más utilizadas por la empresa; estos residuos se depositaron en una lona pequeña para luego pesarlos. Se relacionó el peso con la densidad de la madera para obtener el número de piezas en madera maciza que contiene la lona. Con los resultados obtenidos en los 10 muestreos se obtuvo el valor de la media del volumen en piezas macizas de una lona pequeña.

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para dar un mayor nivel de confiabilidad a los resultados correspondientes a la cuantificación de los residuos generados en los procesos de maquinado, se hicieron pruebas en la carpintería y el Laboratorio de maderas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Después de verificar esta información en la base de datos se concluyó que 207 establecimientos generan aserrín, 181, virutas, y 208, trozos de madera. Con este dato adicional se generaron nuevas curvas de distribución para cada residuo, con los parámetros Mínimo, Media y Desviación estándar, obtenidos en el muestreo anterior. Esto fue válido al calcular el volumen total de residuos generados para un mes con las condiciones del mes en que se realizó la encuesta.

El nivel de producción de las unidades productivas en cuestión no es constante; por el contrario, presenta oscilaciones alrededor de un valor medio, dependiendo de la época del año, incluso del año en cuestión (esto se ratificó con las respuestas a algunas preguntas), pues la pro-

ducción depende de variables macroeconómicas exógenas que se escapan del control de los actores aquí involucrados y otras de mercado.

Se procedió a trabajar con números aleatorios para determinar la oferta de residuos por establecimiento. Al respecto se siguieron dos pasos a saber:

- a) Con la distribución, se identificaron el número de clases y el peso de cada una de éstas, acorde con la frecuencia de los datos, así que el primer número aleatorio elegía una clase cualquiera, dentro de esta distribución.
- b) Una vez elegida la clase, se generó otro número aleatorio para seleccionar un valor alrededor de la media de cada barra de frecuencia, asumiendo en este caso una distribución continua de tipo uniforme. Con este último valor fue posible asignar la generación de desperdicio por tipo (aserrín, viruta o trozos), a los diferentes establecimientos que generan, sin señalar un valor dado a un establecimiento específico, pues el dato más acertado que se dispone para este procedimiento es la misma respuesta a través de la encuesta.

CONSUMO DE MATERIA PRIMA

La información suministrada acerca del consumo de madera se convirtió en todos los casos a piezas por mes ($1\text{m}^3 = 33.33$ piezas). Se realizó la comprobación del material con muestras del Laboratorio de tecnología de maderas de la Universidad Distrital. El único inconveniente lo representó la respuesta que daban los participantes al referirse a la madera "ordinaria", la cual constituye un conjunto grande de especies de baja frecuencia. Como la información solicitada era consumo por mes, se asumió que el dato reportado obedecía, en todos los casos, al mes inmediatamente anterior a la encuesta, es decir, marzo del año 2004. Con la ayuda de las gráficas de meses de mayor y me-

nor producción se calculó el consumo de madera para los demás meses.

DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS PARA RESIDUOS GENERADOS

Una vez homologadas las cantidades reportadas de residuos sólidos generados, que son una medida directa de la madera consumida, se procedió a definir el tipo de distribución que seguía cada variable evaluada (aserrín, virutas, trozos de madera).

Distribución Log Normal

Con la ayuda de un ordenador y la utilización de tres pruebas de ajuste estadístico fue posible comprobar que los datos de entrada recolectados en campo, sobre la generación de residuos sólidos, entre las industrias transformadoras de madera, seguían una distribución Log Normal. Las pruebas mencionadas fueron Kolmogorov-Smirnov, Chi-cuadrado y el test Anderson-Darling, los cuales se explican a continuación (Johnson, *et al.*, 1994).

Prueba Kolmogorov-Smirnov (KS)

Con esta prueba se calculó la diferencia absoluta entre la distribución Log Normal acumulada y los datos de entrada, que se conoce como el valor absoluto de los residuales. Las siguientes ecuaciones son usadas por este procedimiento:

$$D = \max (D+, D-) \quad \text{donde,}$$

$$D + = \max ((i/n)-F(x))$$

$$D - = \max (F(x)-((i-1)/n))$$

Para todos los casos con $i = 1, 2, 3, \dots, n$

D: Equivalencia estadística de la prueba Kolmogorov-Smirnov

X: Valor i-ésimo dentro del total de datos n

F(X): Función de distribución acumulada Log Normal

Aunque se afirma que la prueba es de uso exclusivo donde los parámetros de la distribución no se obtienen a partir de los datos a probar, se empleó en el presente estudio, ya que los datos iniciales para cada tipo de residuo constituyeron la plataforma de cálculo de toda la población de empresas en la Localidad.

Se usaron niveles de significancia del 95 y 97%, obteniendo los resultados de la prueba que se visualizan en las Figuras 1, 2 y 3, donde se observa la probabilidad de ocurrencia de los datos individuales de entrada (obtenidos en campo), versus la probabilidad de los datos obtenidos de la función acumulada, los datos sobre la línea recta representan correspondencia total.

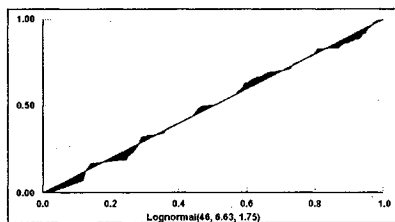


Figura 1. Prueba Kolmogorov-Smirnov para generación de aserrín

n= 134 establecimientos
1-alfa=97%
KS= 0.0574
KS calc.=0.124
P-value= 0.744

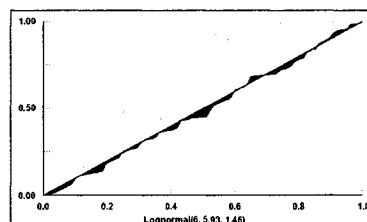


Figura 2. Prueba Kolmogorov-Smirnov para generación de virutas

n= 101 establecimientos
1-alfa=95%
KS= 0.0647
KS calc.=0.133
P-value= 0.764

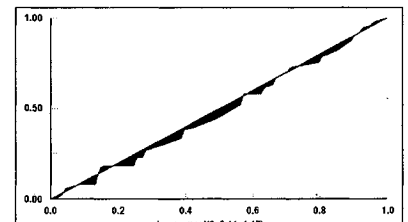


Figura 3. Prueba Kolmogorov-Smirnov para generación de trozos de madera

n= 113 establecimientos
1-alfa=95%
KS= 0.0619
KS calc.=0.126
P-value= 0.753

Prueba Chi- cuadrado

Esta prueba de bondad de ajuste calcula la conveniencia de la separación de los datos originales en intervalos, versus los datos obtenidos con la función de distribución seleccionada. Su forma de cálculo es la siguiente:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k ((n_i - Np_i) / Np_i)^2 \text{ donde,}$$

X^2 = Estimado Chi- cuadrado

N = Número total de datos

N_i = Número de datos en el intervalo k

k = Número total de intervalos

p_i = Probabilidad o frecuencia de puntos en el intervalo k

Los valores de Chi- cuadrado obtenidos y la forma de ajuste entre clases se muestran en las **Figuras 4, 5 y 6**. En todos los casos se obtuvo buen ajuste para la distribución.

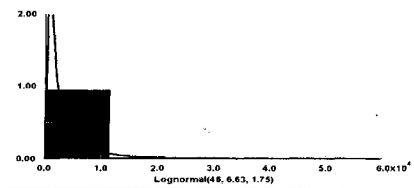


Figura 4. Prueba chi -cuadrado y ajuste entre clases para generación de aserrín

n= 134 establecimientos
1-alfa=95%
 X^2 = 3.84
 X^2 calc.=9.49
P-value= 0.429
gl=4

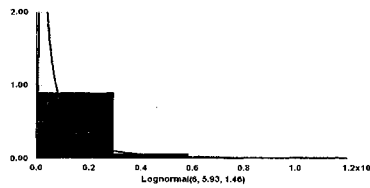


Figura 5. Prueba chi -cuadrado y ajuste entre clases para generación de virutas

n= 101 establecimientos
1-alfa=95%
 X^2 = 0.743
 X^2 calc.=7.81
P-value= 0.863
gl= 3

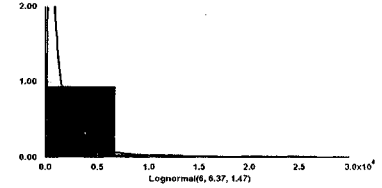


Figura 6. Prueba chi -cuadrado y ajuste entre clases para generación de trozos de madera

n= 113 establecimientos
1-alfa=95%
 X^2 = 1.37
 X^2 calc.=7.81
P-value= 0.712
gl=3

Prueba Anderson-Darling (AD)

Al igual que la prueba KS, el test AD se recomienda cuando los parámetros del modelo son ajenos en su cálculo a los datos de entrada.

La prueba es conveniente para datos continuos, como la generación de aserrín, virutas y trozos de madera. Los resultados obtenidos dejan entrever el ajuste de las distribuciones en esta prueba, aunque con valores muy bajos.

VIRUTAS
n = 101 establecimientos
1-alfa = 95%
AD = 2.26
AD calc.= 2.49
P-value = 0.0663

TROZOS
n= 113 establecimientos
1-alfa = 97%
AD = 2.49
AD calc.=2.92
P-value = 0.0501

ASERRÍN
n = 134 establecimientos
1-alfa = 97%
AD = 2.71
AD calc. = 2.92
P-value = 0.0386

La fórmula para el cálculo del estadístico Anderson-Darling correspondió a la siguiente ecuación:

$$W_n^2 = n \int_{-\alpha}^{\alpha} [(Fn(x) - f(x))^2] / [f(x)[1 - f(x)]] df(x),$$

donde,

W_n^2 : Estadístico Anderson Darling

n: Número total de datos

f(x): Función de distribución ajustada

$F_n(x)$: Distribución acumulada de los datos de entrada

CÁLCULO DE DATOS FALTANTES

Como no todos los establecimientos otorgaron información sobre los residuos generados, fue necesario calcular los datos faltantes, aprovechando el tipo de distribución encontrado en el paso anterior, Log Normal para todos los casos.

Por definición, el logaritmo natural de una variable aleatoria con distribución Log – Normal es una variable distribuida normalmente de manera aleatoria (Aitchison, J., Brown, J., 1963). Esta aseveración permitió aproximar a la normal, la distribución Log Normal, cuando los valores de desviación estándar son pequeños y las variables adquieren valores mayores o iguales a cero.

Una vez normalizados los reportes para los establecimientos que otorgaron información, se procedió al cálculo de aquellos que no reportaron, a partir de la generación de números aleatorios y el método de simulación basado en los histogramas de cada variable. Esto permitió consolidar toda la información para la Localidad; así mismo, se vincularon establecimientos que en el momento de la encuesta afirmaron no generar algún tipo de residuo en particular, pero que por el tipo de máquina presente, la línea de producción, el consumo de madera y la evidencia visual, probaban lo contrario.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE MADERA CONSUMIDO Y GENERACIÓN DE RESIDUOS DE FORMA AGREGADA

Componente determinístico del modelo

Se asumió como determinística la curva de consumo medio de madera anual para todos los establecimientos. Ésta se construyó a partir del número de respuestas para cada mes cuando se preguntó por los meses de mayor y menor producción, tomando como patrón el mes de marzo.

De esta forma fue posible reportar un dato por mes, que no se puede extrapolar libremente a los demás meses del año, pues según la res-

puesta a la pregunta de mayores y menores meses para compra de materia prima, cada mes tiene un comportamiento diferente; pues la demanda y, por consiguiente, la fabricación, tienen un comportamiento estacional que alcanza su pico en noviembre y diciembre, y su valle en los primeros meses del año.

Para estimar la generación en meses diferentes a marzo, se asumió que los meses de mayor producción a criterio de los encuestados era un múltiplo del mes de marzo, de igual forma que los meses de menor producción eran submúltiplos del mismo mes. De esta forma se obtuvieron dos gráficas valiosísimas para estimar residuos en un año.

Componente estocástico del modelo

Lo que se percibió durante el presente estudio fue que no todos los establecimientos, cuando se analizan individualmente, manejan un volumen constante de producción año a año y mucho menos mes a mes, pero cuando el cálculo se practica para toda la Localidad, se observa cierta estabilidad en un período de planeación estratégica. De esta forma el carácter estocástico se valida al utilizar un número aleatorio para simular cuál es el nivel de generación de residuos sólidos por establecimiento según los histogramas que marcaban las diferentes distribuciones. La frecuencia de consumo y generación fue convertida en valores de probabilidad y la distribución Log Normal se descompuso en histogramas, los cuales corresponden a distribuciones uniformes. Así, un número aleatorio seleccionaba el histograma y el segundo calculaba el valor al interior de la barra del histograma.

RESULTADOS

RESULTADOS DE LOS MUESTREOS

A continuación se observan los resultados obtenidos de los muestreos y del análisis de laboratorio según el tipo de residuo generado, separándolo en virutas, aserrín y trozos de madera (**Tabla 2**).

RESULTADOS PARA ASERRÍN

Tabla 2. Resumen de la media de los resultados para los muestreos de campo y pruebas de laboratorio de los residuos generados con sierras.

TIPO DE EMPAQUE	MEDIA DE ASERRÍN (PIEZAS MACIZAS*)		
	MUESTREOS	LABORATORIO	GENERAL
Bolsa pequeña	0.774	0.722	0.748
Bolsa mediana	1.075	1.003	1.039
Bolsa industrial	2.688	2.506	2.600
Lona pequeña	2.150	2.005	2.078
Lona de camión	8.600	8.020	8.31

Fuente: El Estudio

* 1 m³ de madera maciza = 33.3 piezas macizas o compactas

La **Tabla 2** da a conocer la relación existente entre la capacidad de cada contenedor en piezas macizas de madera para las pruebas de campo y laboratorio. En todos los casos los ensayos de laboratorio registraron un record menor que en los establecimientos.

Resultados para viruta

Al igual que para el caso del aserrín, los valores de capacidad hallados en el laboratorio son menores que los encontrados en los establecimientos. Las **Tablas 3** y **4** enseñan los valores calculados para virutas obtenidas en la planeadora y cepillo, respectivamente.

Tabla 3. Resumen de la media de los resultados de muestreos de campo y pruebas de laboratorio de los residuos generados en planeadora.

TIPO DE EMPAQUE	MEDIA DE VIRUTAS PLANEADORA (PIEZAS MACIZAS)		
	MUESTREOS	LABORATORIO	GENERAL PLANEADORA
Bolsa pequeña	0.188	0.166	0.177
Bolsa mediana	0.248	0.219	0.234
Bolsa industrial	0.557	0.493	0.525
Lona pequeña	0.433	0.383	0.408
Lona de camión	2.599	2.299	2.449

Fuente: El Estudio

El estudio asumió como valor la media reportada por los datos del cepillo y la planeadora, según cada forma de almacenamiento.

Resultados para trozos de madera

En la **Tabla 5** se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los muestreos de trozos de madera realizados en 10 establecimientos de la Localidad, en los cuales se tomaron los

trozos de madera almacenados en una lona pequeña y se pesaron; el peso de cada lona se relacionó con la densidad anhidra de cada una de las especies encontradas.

Debido a los inconvenientes presentados en el muestreo de trozos de madera por la alta heterogeneidad de tamaños y formas y en algunos casos, por falta de residuos, la lona no se pudo llenar por completo, lo que disminuyó el volu-

Tabla 4. Resumen de la media de los resultados de muestreos de campo y pruebas de laboratorio de los residuos generados en cepillo.

TIPO DE EMPAQUE	MEDIA DE VIRUTAS CEPILLO (PIEZAS MACIZAS)		
	MUESTREOS	LABORATORIO	GENERAL CEPILLO
Bolsa pequeña	0.156	0.174	0.165
Bolsa mediana	0.216	0.240	0.228
Bolsa industrial	0.485	0.539	0.512
Lona pequeña	0.377	0.420	0.398
Lona de camión	2.262	2.517	2.390

Fuente: El Estudio

men en piezas que contiene una lona pequeña, por lo que finalmente se tomó como parámetro para homologar el resultado del muestreo en laboratorio, el cual consistió en un muestreo de trozos de madera con la especie algodoncillo (*Trichospermum colombianum*), realizado en la carpintería de la Universidad. Cubicando cada uno de los trozos de madera que se depositaron en la misma lona utilizada en los muestreos realizados en la Localidad, y llenándola completamente, la suma de los trozos indicó que una lona pequeña contiene 1.56 piezas de madera maciza.

Correspondencia entre volumen piezas de madera compacta y metros cúbicos de residuo

Para una mayor claridad, a continuación se presentan las **Figuras 7, 8 y 9**, una por tipo de desperdicio, que muestran la relación entre ambos volúmenes y el coeficiente de determinación. Para todos los casos, el eje x representa el volumen en piezas de madera compacta y el eje y , el volumen de éste en lonas o “recipientes” en m^3 . Se recuerda que una pieza compacta de madera posee 30.000 cm^3 ($33.33\text{ piezas} = 1\text{ m}^3$).

Para la conversión de datos se aplica la expresión exhibida en cada figura; así por ejemplo, en el caso del aserrín, 600 piezas compactas de aserrín generadas por un establecimiento obedecen a 31.68 m^3 de madera empacada en lonas o costales.

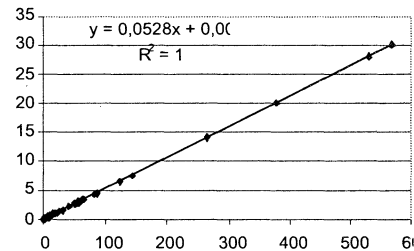


Figura 7. Relación entre piezas de madera maciza con el volumen en m^3 sueltos de aserrín.

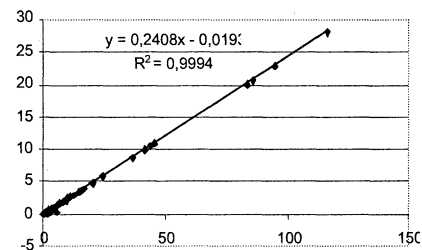


Figura 8. Relación entre piezas de madera maciza con el volumen en m^3 sueltos de viruta.

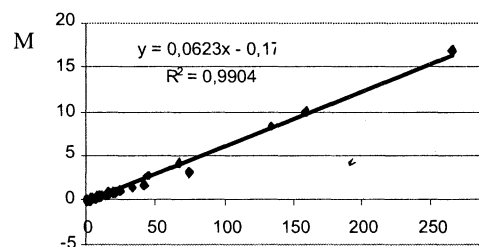


Figura 9. Relación entre piezas de madera maciza con el volumen en m^3 para trozos de madera.

Tabla 5. Resultado del volumen en piezas macizas contenido en una lona pequeña de trozos de madera.

Nº MUESTREO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	DENSIDAD (gr/cm ³)	PESO (kg)	PIEZAS
1	Sapan	Clathrotropis brachy-petala	0.9	40.8	1.51
2	Flor morado	Tabebuia rosea	0.6	17	0.94
3	Marfil	Simarouba amara	0.36	17	1.57
4	Flor morado	Tabebuia rosea	0.9	40.5	1.5
5	Amarillo	Nectandra sp	0.48	17.5	1.22
6	Abarco	Cariniana pyriformis	0.68	36	1.76
7	Chingale	Jacaranda copaia	0.39	16	1.37
8	Flor morado	Tabebuia rosea	0.6	17.8	0.99
9	Cedro	Cedrela sp	0.43	19.4	1.5
10	Pino patula	Pinus sp	0.48	21	1.46
TOTAL			5.82	243	13.82
MEDIA			0.58	24.3	1.38

DEMANDA DE MADERA

Meses de mayor y menor compra

Los meses de mayor compra de madera son diciembre, noviembre y octubre, alcanzando una puntuación de 40.7, 40 y 24.1%, respectivamente. Meses que coinciden con los de mayor producción. La suma puede ser mayor al 100%, ya que un mismo encuestado opinó sobre diferentes meses.

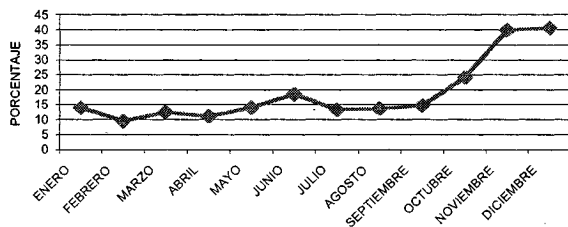


Figura 10. Meses de mayor compra de Materia Prima

La misma situación se presenta con los meses de menor compra de materia prima, donde febrero es el mes con el más bajo consumo de materia prima, según el 40.74% de los encuestados; siguiendo enero con el 38.52% y marzo con el 25.93%.

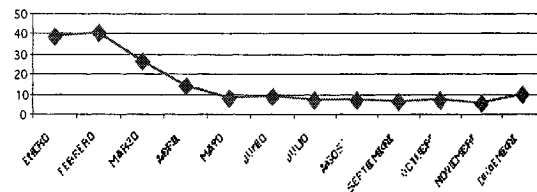


Figura 11. Meses de menor compra de materia prima.

Al sumar todos los valores reportados por las unidades productivas, se obtuvo una demanda de 19.272 piezas para el mes de marzo, lo que representa una cifra que puede oscilar anualmente entre 323.384 y 647.075 piezas de madera, de acuerdo con los meses de mayor y menor consumo, es decir, haciendo el área bajo la curva de las Figuras 10 y 11 igual al 100% y tomando el mes marzo como patrón.

Consumo de madera por especies

La principal madera que se consume en la Localidad de Barrios Unidos es el Cedro (*Cedrela sp.*), con el 21.68%; le sigue el "ordinario" del cual se consume el 14.56%; en tercer lugar se encuentra el Flor morado (*Tabebuia rosea*) del cual se utiliza en la Localidad el 10.68%. La cuarta madera más consumida en la Localidad es el sajo (*Camnosperma panamensis*), con un 7.77%; luego sigue el marfil (*Simarou-*

ba amara) con una representación del 7.27%; el pino *Pinus sp.* se ubica en el sexto lugar con 6.06% y el amarillo (*Nectandra sp.*) en el séptimo con 5.78%. Del mismo modo, le siguen el moho (*Cordia alliodora*) con un 3.82%, el chingalé (*Jacaranda copaia*) con el 3.40%, el perillo (*Couma macrocarpa*) que le corresponde el 3.37%, un 2.66% para el sapán (*Clathrotopis brachypetala*), el 1.91% para el roble (*Quercus humboldtii*), el cedro puerto asís (*Cedrela odorata*) es de 1.64%, el guayacán (*Centrolobium paraense*) se consume el 1.04%. Finalmente, con menos de un 1% en consumo por especie se encuentra el grupo conformado por 27 especies, las cuales en conjunto representan el 8.36% del total.

GENERACIÓN DE RESIDUOS

Para los establecimientos que brindaron información (mes de marzo)

Una vez homologados los residuos, llámense virutas, aserrín o trozos de madera, tanto en metros cúbicos como en piezas compactas de madera³; se procedió a procesar la información por separado, para observar la distribución que seguía, conforme la información levantada en campo.

Para los tres tipos de residuo generados se pudo comprobar que siguen una función de densidad de probabilidad Log Normal, caracterizada por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{(x - \min)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \min) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right)$$

Donde:

min = Valor mínimo encontrado de X, es decir, el menor residuo generado

μ = Media de la normal incluida

σ = Desviación estándar de la normal incluida

3 Una pieza compacta de madera = un bloque de 10cm *10cm *300cm

El hecho de obtener el epíteto “normal” en la distribución facilita las cosas en la medida que se pueden asignar ciertas características de aleatoriedad, que permite predecir la generación de residuos de aquellos establecimientos que por diferentes motivos no respondieron la encuesta y de los cuales se tiene certeza que generan en alguna medida residuos sólidos.

En las Figuras 12, 13 y 14 se da a conocer la distribución para cada tipo de residuo y el número de establecimientos que lo genera, según su respuesta afirmativa en el momento de la encuesta.

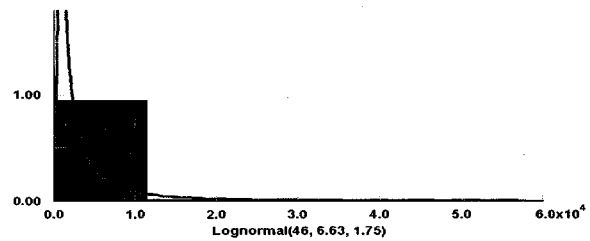


Figura 12. Distribución para la generación de aserrín (134 establecimientos, repartidos en cinco clases).

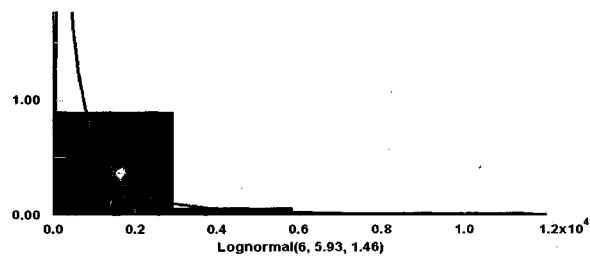


Figura 13. Distribución para la generación de virutas (101 establecimientos, repartidos en cuatro clases).

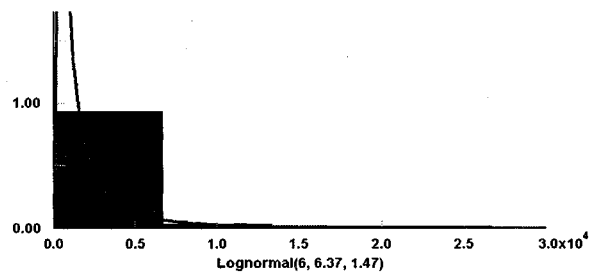


Figura 14. Distribución de los trozos de madera (113 establecimientos, repartidos en cuatro clases).

En la **Figura 12** se indica la distribución del aserrín generado por los establecimientos dedicados a la transformación de madera en la Localidad de Barrios Unidos para el mes de la encuesta. En el eje *X* se colocaron los residuos generados en piezas compactas*100 y en el eje *Y*, la frecuencia de generación. Es totalmente claro que más de un 95% de los establecimientos genera entre 0.46 y 110 piezas compactas de aserrín al mes.

La **Figura 13** señala la distribución de las virutas generadas por los establecimientos dedicados a la transformación de madera en la Localidad de Barrios Unidos para el mes de la encuesta. En el eje *X* se presentan los residuos generados en piezas compactas*100 y en el eje *Y*, la frecuencia de generación. La mayoría de los establecimientos genera entre 0.06 y 30 piezas de Viruta compacta al mes.

La **Figura 14** corresponde a la distribución de los trozos de madera generados por los establecimientos dedicados a la transformación de madera en la Localidad de Barrios Unidos para el mes de la encuesta. En el eje *X* se presentan los residuos generados en piezas compactas*100 y en el eje *Y*, la frecuencia de generación. La mayoría de los establecimientos generan trozos de madera en el rango 0.06 y 70 piezas; con frecuencia mensual (marzo, 2004).

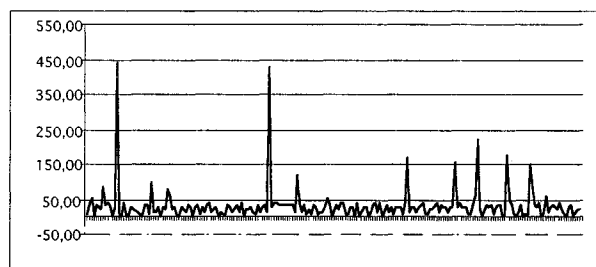
Una vez obtenidas las curvas para los tres tipos de residuo, el análisis de residuales demostró la baja dispersión de los datos con relación a la curva original, lo cual valida nuevamente las curvas obtenidas para la distribución Log Normal.

Para la totalidad de establecimientos (mes de marzo)

Una vez se determinó la distribución volumétrica que siguen los generadores de residuos sólidos de madera en la Localidad de Barrios Unidos, fue posible estimar la cantidad de residuos generados para aquellos que no respon-

dieron la encuesta en esta sección, usando aproximaciones normalizadas asignadas por números aleatorios.

Después de culminar el procedimiento se obtuvieron los valores de residuo generado, sin que se señale el establecimiento que los genera. En cualquier caso, los aserríos de la Localidad reportaron los volúmenes más altos.



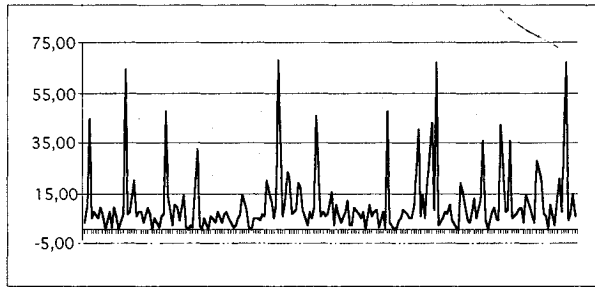
promedio	41.3	mínimo	0,65
suma	8539.0	máximo	450,0

Figura 15. Simulación del volumen en piezas compactas generadas de aserrín para 207 establecimientos de la Localidad de Barrios Unidos, el número no identifica generador.

En la **Figura 15** se muestra el volumen en piezas compactas de aserrín generadas por 207 establecimientos, los cuales poseen al menos una sierra de cualquier tipo. Los mayores generadores obedecen a los aserríos, de ahí su baja frecuencia. Sobresale la importancia que tienen los bajos generadores, y la dificultad que representa el manejo futuro por el excesivo nivel de atomización, pues el rango de generación varió entre 0.65 y 522.1 piezas compactas de madera. Para un mes de baja producción como lo constituyó marzo (fecha de la encuesta), se generaron 8539 piezas compactas de aserrín, lo cual equivale a 256 m³ de madera compacta que efectivamente se desperdiciaron de esta forma.

La **Figura 16** enseña las cantidades de viruta generadas en la Localidad para un total de 181 establecimientos que reportaron las máquinas antes mencionadas. Aunque se presenta atomización, los generadores de grandes volúmenes

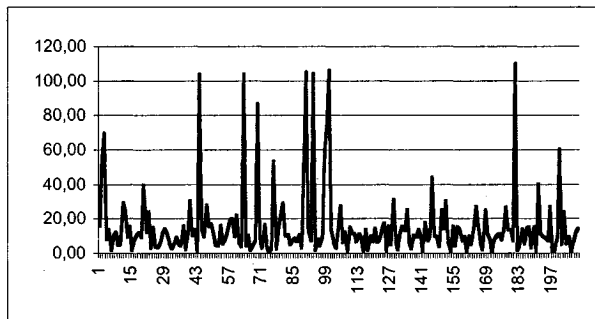
de viruta representan un conjunto más grande, con relación a los generadores de aserrín.



promedio	10.0	mínimo	0,09
suma	1817.1	máximo	70.77

Figura 16. Simulación del volumen en piezas compactas generadas de viruta para 181 establecimientos de la Localidad de Barrios Unidos, el número no identifica generador.

Para el mes de la encuesta se estima una generación de 1817 piezas compactas de viruta que equivalen a 54.5 m³ de madera maciza.



promedio	15.6	mínimo	0,09
suma	3244.2	máximo	112,08

Figura 17. Estimación del volumen en piezas generadas de trozos de madera para 208 establecimientos de la Localidad de Barrios Unidos, el número no identifica generador.

En la Localidad se generan 3244 piezas de trozos de madera (marzo de 2004), lo cual equiva-

le a 97.3 m³ de madera (**Figura 17**). Al igual que la generación de virutas, la distribución de los trozos es un poco menos atomizada que el aserrín; no obstante, representa el segundo volumen en importancia.

VOLUMEN MÁXIMO Y MÍNIMO ESPERADO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS PARA UN AÑO

Hasta ahora se ha determinado, con la ayuda de la distribución Log Normal, la cantidad de aserrín, virutas y trozos originados por la industria maderera en la Localidad. Como la pregunta se realizó para un mes, se asumió que el dato otorgado representaba fielmente el mes de la actividad (marzo de 2004), pues era el más fresco en la memoria al momento de la encuesta.

Las **Tablas 6, 7 y 8** dan a conocer los valores mínimos y máximos de generación de residuos para la Localidad de Barrios Unidos en forma agregada. A partir de estos “pisos” y “techos” se puede obtener un valor medio, comparable con el consumo de madera y verificar la gravedad de la situación.

A partir de la distribución normal se calculó el volumen de residuos generados para un año y mes cualquiera, verificando las oscilaciones de manera aleatoria.

De alguna forma las **Figuras 18, 19 y 20** parametrizan la generación de residuos anualmente, pero esto es lo máximo que se logra con la información disponible. Ya que por cada reporte anual de valor mínimo esperado de residuo se obtienen 2,1 veces de valores máximos en los tres casos.

Tabla 6. Cálculo de la generación mínima y máxima de aserrín en piezas compactas en la Localidad de Barrios Unidos para 207 establecimientos.

MES	>PROD. (MARZO=100)	>PROD. PROM.	>PROD. TOTAL	<PROD. (MARZO=100)	<PROD. PROM.	<PROD. TOTAL	MIN.PROD. ANUAL	MAX. PROD. ANUAL
ENE	111.8	46.1	9546.6	148.6	27.8	5746.3	5746.3	9546.6
FEB	76.5	31.6	6532.3	157.1	26.3	5435.4	5435.4	6532.3
MAR	100.0	41.3	8539.0	100.0	41.3	8539.0	8539.0	8539.0
ABR	88.2	36.4	7531.4	52.9	78.0	16141.7	7531.4	16141.7
MAY	111.8	46.1	9546.6	31.4	131.4	27194.2	9546.6	27194.2
JUN	147.1	60.7	12560.8	32.9	125.4	25954.3	12560.8	25954.3
JUL	105.9	43.7	9042.8	28.6	144.2	29856.5	9042.8	29856.5
AGO	108.8	44.9	9290.4	25.7	160.5	33225.5	9290.4	33225.5
SEP	117.6	48.5	10041.8	22.9	180.1	37288.1	10041.8	37288.1
OCT	191.2	78.9	16326.5	28.6	144.2	29856.5	16326.5	29856.5
NOV	317.6	131.0	27119.8	20.0	206.3	42694.8	27119.8	42694.8
DIC	323.5	133.4	27623.5	38.6	106.9	22121.7	22121.7	27623.5
SUMA		742.5	153701.4		1372.2	284053.9	143302.2	294453.0

Fuente: El Estudio.

>PROD.MARZO = 100: Parámetros obtenidos de la gráfica meses de mayor compra de materia prima, a volúmenes constantes en piezas compactas mes de marzo.

>PROD.PROM: Mayor volumen en piezas promedio producido por establecimiento acorde con los parámetros calculados.

>PROD.TOTAL: Mayor volumen en piezas del total producido para la Localidad.

<PROD.MARZO = 100: Parámetros obtenidos de la gráfica meses de menor compra de materia prima, a volúmenes constantes en piezas compactas mes de marzo.

<PROD.PROM: Menor volumen en piezas promedio producido por establecimiento acorde los parámetros calculados.

<PROD.TOTAL: Menor volumen en piezas del total producido para la Localidad.

MIN.PROD.ANUAL: Valor mínimo esperado en piezas compactas por mes de este residuo.

MAX. PROD. ANUAL: Valor máximo esperado en piezas compactas por mes de este residuo.

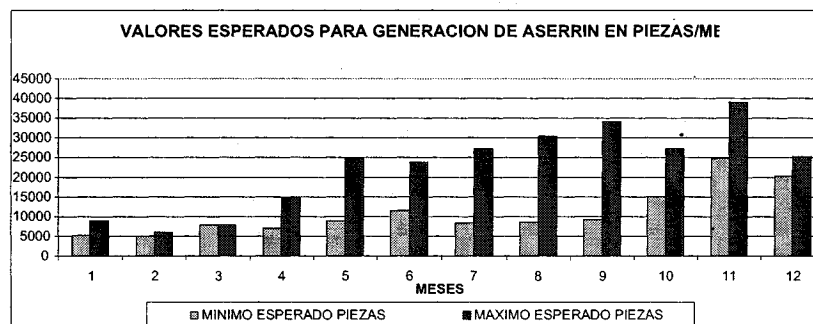


Figura 18. Simulación del volumen máximo y mínimo de aserrín generado por mes para un año cualquiera partiendo del dato de marzo, en piezas de madera compactas.

Tabla 7. Cálculo de generación mínima y máxima de virutas en piezas compactas para la Localidad de Barrios Unidos para 181 establecimientos.

MES	>PROD. (MARZO=100)	>PROD. PROM.	>PROD. TOTAL	<PROD. (MARZO=100)	<PROD. PROM.	<PROD. TOTAL	MIN.PROD. ANUAL	MAX. PROD. ANUAL
ENE	111.8	11.2	2031.5	148.6	6.8	1222.8	1222.8	2031.5
FEB	76.5	7.7	1390.1	157.1	6.4	1156.6	1156.6	1390.1
MAR	100.0	10.0	1817.1	100.0	10.0	1817.1	1817.1	1817.1
ABR	88.2	8.9	1602.7	52.9	19.0	3434.9	1602.7	3434.9
MAY	111.8	11.2	2031.5	31.4	32.0	5786.9	2031.5	5786.9
JUN	147.1	14.8	2672.9	32.9	30.5	5523.1	2672.9	5523.1
JUL	105.9	10.6	1924.3	28.6	35.1	6353.4	1924.3	6353.4
AGO	108.8	10.9	1977.0	25.7	39.1	7070.4	1977.0	7070.4
SEP	117.6	11.8	2136.9	22.9	43.8	7934.9	2136.9	7934.9
OCT	191.2	19.2	3474.3	28.6	35.1	6353.4	3474.3	6353.4
NOV	317.6	31.9	5771.1	20.0	50.2	9085.4	5771.1	9085.4
DIC	323.5	32.5	5878.3	38.6	26.0	4707.5	4707.5	5878.3
SUMA		180.7	32707.5		334.0	60446.5	30494.6	62659.4

Fuente: El Estudio.

>PROD.MARZO = 100: Parámetros obtenidos de la gráfica meses de mayor compra de materia prima, a volúmenes constantes en piezas compactas mes de marzo.

>PROD.PROM: Mayor volumen en piezas promedio producido por establecimiento acorde los parámetros calculados.

>PROD.TOTAL: Mayor volumen en piezas del total producido para la Localidad

<PROD.MARZO = 100: Parámetros obtenidos de la gráfica meses de menor compra de materia prima, a volúmenes constantes en piezas compactas mes de marzo.

<PROD.PROM: Menor volumen en piezas promedio producido por establecimiento acorde los parámetros calculados.

<PROD.TOTAL: Menor volumen en piezas del total producido para la Localidad

MIN.PROD.ANUAL: Valor mínimo esperado en piezas compactas por mes de este residuo

MAX. PROD. ANUAL: Valor máximo esperado en piezas compactas por mes de este residuo

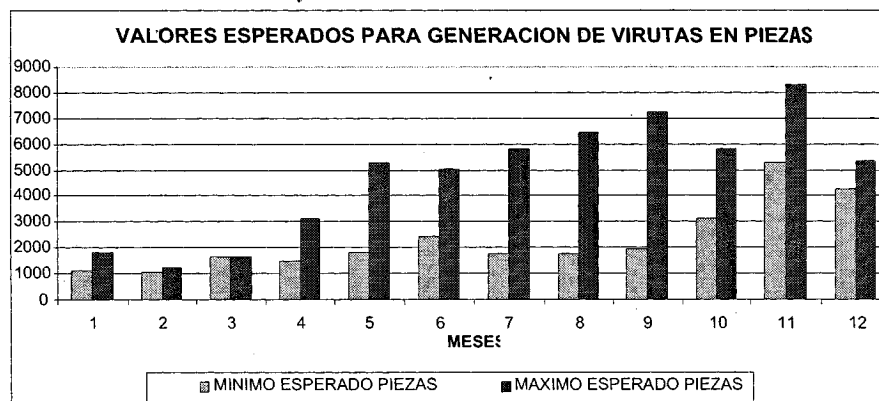


Figura 19. Simulación del volumen máximo y mínimo de virutas generadas por mes para un año cualquiera partiendo del dato de marzo, en piezas de madera compactas.

Tabla 8. Cálculo de la generación mínima y máxima de trozos de madera en piezas compactas para la Localidad de Barrios Unidos para 208 establecimientos.

MES	>PROD. (MARZO=100)	>PROD. PROM.	>PROD. TOTAL	<PROD. (MARZO=100)	<PROD. PROM.	<PROD. TOTAL	MIN.PROD. ANUAL	MAX. PROD. ANUAL
ENE	111.8	17.4	3627.0	148.6	10.5	2183.2	2183.2	3627.0
FEB	76.5	11.9	2481.8	157.1	9.9	2065.0	2065.0	2481.8
MAR	100.0	15.6	3244.2	100.0	15.6	3244.2	3244.2	3244.2
ABR	88.2	13.8	2861.4	52.9	29.5	6132.6	2861.4	6132.6
MAY	111.8	17.4	3627.0	31.4	49.7	10331.7	3627.0	10331.7
JUN	147.1	22.9	4772.2	32.9	47.4	9860.7	4772.2	9860.7
JUL	105.9	16.5	3435.6	28.6	54.5	11343.2	3435.6	11343.2
AGO	108.8	17.0	3529.6	25.7	60.7	12623.2	3529.6	12623.2
SEP	117.6	18.3	3815.1	22.9	68.1	14166.6	3815.1	14166.6
OCT	191.2	29.8	6202.8	28.6	54.5	11343.2	6202.8	11343.2
NOV	317.6	49.5	10303.5	20.0	78.0	16220.8	10303.5	16220.8
DIC	323.5	50.5	10494.9	38.6	40.4	8404.6	8404.6	10494.9
SUMA		280.7	58394.9		518.8	107919.0	54444.0	111869.9

Fuente: El Estudio.

>PROD.MARZO = 100: Parámetros obtenidos de la gráfica meses de mayor compra de materia prima, a volúmenes constantes en piezas compactas mes de marzo.

>PROD.PROM: Mayor volumen en piezas promedio producido por establecimiento acorde los parámetros calculados.

>PROD.TOTAL: Mayor volumen en piezas del total producido para la Localidad

<PROD.MARZO = 100: Parámetros obtenidos de la gráfica meses de menor compra de materia prima, a volúmenes constantes en piezas compactas mes de marzo.

<PROD.PROM: Menor volumen en piezas promedio producido por establecimiento acorde los parámetros calculados.

<PROD.TOTAL: Menor volumen en piezas del total producido para la Localidad

MIN.PROD.ANUAL: Valor mínimo esperado en piezas compactas por mes de este residuo

MAX. PROD. ANUAL: Valor máximo esperado en piezas compactas por mes de este residuo

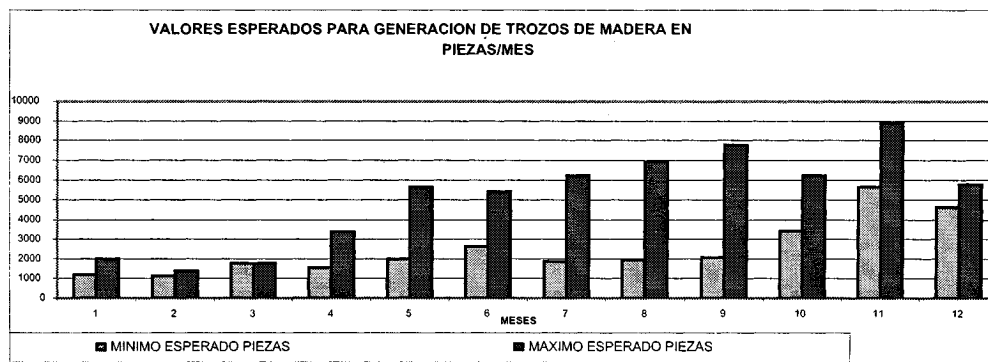


Figura 20. Simulación del volumen máximo y mínimo de trozos de madera, generados por mes para un año cualquiera partiendo del dato de marzo, en piezas de madera compactas.

Descrito el procedimiento para residuos, se procedió a realizar lo mismo con la materia prima adquirida, hallando los porcentajes de desperdicio globales por mes y año en un escenario futuro con condiciones relativamente estables.

Resultado consolidado de generación de residuos por clase para toda la Localidad

Aserrín

Después de definir las clases para la distribución Log Normal, se obtuvieron siete rangos

para 207 generadores de aserrín en la Localidad; esto permitió asignar un valor medio de generación a los diferentes establecimientos de forma ponderada y aleatoria. De esta forma se puede afirmar que el 85.5% de los establecimientos generó en el mes de marzo de 2004 entre 0.54 y 43.8 piezas compactas de aserrín; el 6.76% generó entre 43.8 y 87.1 piezas compactas, y así sucesivamente, como se muestra en la **Tabla 9**. Llama la atención el último rango, cuya media alcanza 414 piezas de madera compacta y es representativa del 1.93% de los establecimientos, los cuales se identificaron como aserríos.

Tabla 9. Distribución del aserrín generado por los establecimientos dedicados a la transformación de madera en la Localidad de Barrios Unidos (*piezas compactas de madera, 100 piezas compactas de aserrín equivalen a 5.3 m³ de residuo en lonas)

MÍNIMO*	MÁXIMO*	RANGO*	MEDIA*	FRECUENCIA %	F. ACUM. %
0.46	43.8	0.54-43.8	22.13	85.5	85.5
43.8	87.1	43.8-87.1	65.45	6.76	92.26
87.1	130	87.1-130	108.55	2.9	95.16
130	174	130-174	152	1.93	97.09
174	217	174-217	195.5	0.49	97.58
217	260	217-260	238.5	0.49	98.07
260	568	260-568	414	1.93	100

Fuente: El Estudio.

Virutas

Los generadores de virutas, 181 en total, se agruparon en ocho clases, ocupando la mayor frecuencia aquellos que produjeron un volumen en piezas compactas de madera entre 0.06 y 10.3, los cuales representan el 79% de la po-

blación (**Tabla 10**). En términos de frecuencia, también llaman la atención los ubicados en la clase siguiente comprendida entre 10.3 y 20.5, es decir, el 12.7%. El 2.21% de la población genera el mayor volumen de virutas ubicándose en el rango 71.5 y 116.4, con una media de 93.9.

Tabla 10. Distribución de las virutas generadas por los establecimientos dedicados a la transformación de madera en la Localidad de Barrios Unidos (*piezas compactas de madera, 100 piezas compactas de virutas equivalen a 24 m³ de residuo en lonas).

MÍNIMO*	MÁXIMO*	RANGO*	MEDIA*	FRECUENCIA %	FACUM %
0.06	10.3	0.149-10.3	5.18	79	79
10.3	20.5	10.3-20.5	15.4	12.7	91.7
20.5	30.7	20.5-30.7	25.6	1.662	93.362
30.7	40.9	30.7-40.9	35.8	1.662	95.024
40.9	51.1	40.9-51.1	46	1.662	96.686
51.1	61.3	51.1-61.3	56.2	0.552	97.238
61.3	71.5	61.3-71.5	66.4	0.552	97.79
71.5	116.43	71.5-116.43	93.965	2.21	100

Fuente: El Estudio

Trozos de madera

El patrón de generación de trozos de madera es similar a los casos anteriores. De 208 establecimientos que producen este residuo, el 78.4% genera un volumen mensual (para marzo de 2004) entre 0.06 y 16.4 piezas compactas de

madera; le sigue el rango 16.4-32.5, en el cual se encuentra el 12.5% de los generadores de este tipo de material. Finalmente, se puede mencionar que tan solo el 1.93% genera un volumen comprendido entre 133 y 266 piezas compactas de madera para el mes de marzo (**Tabla 11**).

Tabla 11. Distribución de los trozos de madera generados por los establecimientos dedicados a la transformación de madera en la Localidad de Barrios Unidos (*piezas compactas de madera, 100 piezas compactas de trozos equivalen a 6m³ de residuo en lonas)

MÍNIMO*	MÁXIMO*	RANGO*	MEDIA*	FRECUENCIA %	F. ACUM. %
0.06	16.4	0.06-16.4	8.23	78.400	78.4
16.4	32.5	16.4-32.5	24.45	12.500	90.9
32.5	48.7	32.5-48.7	40.6	1.920	92.82
48.7	64.9	48.7-64.9	56.8	2.378	95.198
64.9	81.1	64.9-81.1	73	1.920	97.118
81.1	97.2	81.1-97.2	89.15	0.481	97.599
97.2	113	97.2-113	105.1	0.481	98.08
113	266.66	113-266.7	189.83	1.920	100

Fuente: El Estudio

CONCLUSIONES

GENERACIÓN DE RESIDUOS

En la Localidad de Barrios Unidos se generan tres tipos de residuos a partir de la madera: aserrín, virutas y trozos; conforme las encuestas a 270 establecimientos, 207 generan aserrín, 181, virutas, y 208, trozos de madera.

Para cada tipo de residuo se pudo establecer que los mayores volúmenes de generación son atribuibles a un bajo número de establecimientos. Así, por ejemplo, para aserrín, tan solo 15 negocios aportan entre el 30 y el 35% en la Localidad, 15 establecimientos generan un rango que oscila entre el 35 y el 40% del total de virutas, y para trozos de madera se genera entre un 40 y 45% del volumen total, en solo 15 unidades de producción.

A pesar de que hay marcada presencia de varias líneas de producción y estilos, fue posible verificar que en su orden las líneas que mayor

cantidad de residuos generan son el aserrín, línea hogar, oficina, carpintería, molduras y cocinas.

No existe correspondencia entre los requerimientos del maderero en la Localidad y la oferta que se da desde el bosque.

La revolución tecnológica marcha hacia unos niveles de seguridad más altos para los operarios y una articulación entre el desperdicio que se genera, la calidad de la superficie obtenida y el tamaño de la pieza elaborada favoreciendo un ahorro de materia prima cuyo consumo se estima según los resultados entre 10.000 y 20.000 m³ al año para el cluster.

Vale la pena analizar el potencial generador de residuos en la Localidad. El presente estudio muestra una cifra basada en la capacidad utilizada de la maquinaria, pero para un turno de ocho horas se detectó que esta capacidad utilizada obedece al 56.78% de la capacidad insta-

lada (dato ponderado para los establecimientos que respondieron a esta pregunta), por lo cual el potencial generador de residuos es 1.76 veces mayor a lo mostrado en este estudio.

VALORACIÓN ECONÓMICA

Luego de obtener los datos correspondientes a los volúmenes de residuos generados en un año, se procedió a calcular los costos, utilizando como valor el promedio ponderado de una pieza de madera (\$14.763). Como resultado se concluye que de las 647.075 piezas consumidas en un año de máxima compra, el 57.6% de estas, es decir, 373.094 piezas, se convierten en residuos después de los procesos de producción. Tal volumen equivale a \$5'507.986.722, los cuales ascienden a dos millones cuatrocientos mil dólares americanos (US\$ 2'400.000) de septiembre de 2005.

Por establecimientos, también se calculó el desperdicio de madera, que oscila entre el 36 y 70%, cuando la materia prima viene dimensionada en bloques, lo cual resulta inadmisibles para los intereses de la Localidad.

Las contribuciones mensuales por concepto de desperdicio para toda la Localidad se correlacionan directamente con el nivel de producción. De esta manera se tienen valores que oscilan desde \$150'567.877 (US\$ 65.465) para febrero, hasta \$878'442.789 (US\$ 381.931) en noviembre, los cuales corresponden a los meses de menor y mayor producción, respectivamente.

Al analizar el desperdicio por tipo de residuo, se concluye que el mayor porcentaje lo ocupa el aserrín con un 61.08%, representando 227.886 piezas anuales a un costo de \$3.364'281.018 (US \$1'462.730). Le siguen los trozos de madera con 26.50% equivalentes a 98.886 piezas y \$1.459'854.018 (US \$634.719). Por último, y no menos importantes, están las virutas, las cuales representan el 12.41%, es decir, 46.322 piezas de madera compacta y \$683'851.686 (US \$297.326).

\$3.364'281.018 (US\$1'462.730). Le siguen los trozos de madera con 26.50% equivalentes a 98.886 piezas y \$1.459'854.018 (US \$634.719). Por último, y sin ser menos importantes están las virutas, las cuales representan el 12.41%, es decir 46.322 piezas de madera compacta y \$683'851.686 (US \$297.326).

La metodología presentada es una herramienta útil para establecer acciones de mejoramiento en clusters, como el de Barrios Unidos, por parte de autoridades ambientales y sectoriales, puesto que el escenario tendencial es altamente preocupante por los altos niveles de desperdicios de la materia prima y su alta participación en los costos de producción de forma agregada.

Adicionalmente, esta metodología resulta ser muy eficiente si se compara con la alternativa, la cual corresponde a una medición directa de residuos en un período anual para un número estadísticamente confiable de establecimientos, lo cual resulta dispendioso y acarrearía altos costos por la necesidad de personal entrenado que esté midiendo constantemente durante un año en la totalidad de unidades productivas, antes que los residuos sean evacuados.

RECOMENDACIONES

- Analizar para el caso de Barrios Unidos, una política de suministro que involucre a todos los generadores de residuos sólidos, que pueda concentrarse en la creación de un operador logístico especializado de suministro de madera que se encargue del predimensionamiento y tratamiento técnico (secado e inmunizado), según las necesidades de los clientes y a la vez sea doliente de las fuentes directas de madera con la responsabilidad de manejar el bosque natural de la mano con las comunidades poseedoras del recurso o en asocio de proyectos estatales.
- El operador logístico, además de organizar el suministro de madera, implicaría una

reducción en la cantidad de residuos madereros generados, disminuyendo además, costos por almacenamiento y manipulación.

- Aplicar nuevamente la metodología en la Localidad después de intervenir la situación y evaluar la efectividad de las acciones ejecutadas.
- Probar la metodología expuesta en otras situaciones particulares, preferiblemente MIPYMES.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **AITCHISON, J & BROWN, J. 1963.** The Lognormal Distribution. Cambridge University Press. 176 páginas.
- **JONSON, N; KOTZ, S & BALAKRISHNAN, N. 1994.** Continuous Univariate Distributions. Volumen I. Ed. John Wiley & Sons. 207 páginas.
- **KALENATIC, D. 2001.** Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 166 páginas.
- **MARTÍNEZ, V. 1989.** Teoría y práctica del diagnóstico administrativo. Un enfoque de sistemas. Editorial Trillas, México. 220 páginas.
- **MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO. 2000.** Ley 590. Ley MIPYMES.
- **MINISTERIO DE COMERCIO INDUSTRIA Y TURISMO. 2004.** Ley 995. Modificación Ley MIPYMES.
- **NIEBEL, B. & FREIVALDS, A., 2001.** Ingeniería industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo. Ed. Alfaomega, 10ª edición. México. 728 páginas.
- **POLANCO, C. AYURE, J. & GÓMEZ, M., 2004.** Diagnóstico ambiental de las empresas dedicadas a la transformación de la madera en la Localidad de Barrios Unidos, con énfasis en la generación de residuos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 215 páginas.
- **SIPPER, D & BULFIN, R., 1998.** Planeación y Control de la Producción. Editorial McGraw-Hill. México. 657 páginas.