

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización
en Gestión de Calidad Total y Productividad**



**INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DEL CORTE SOBRE EL
RENDIMIENTO Y LOS INGRESOS ECONÓMICOS DE LA
INDUSTRIA DE ASERRÍO**

Trabajo de Titulación para optar el Título Profesional

Presentado por:

INGENIERO ESTADÍSTICO E INFORMÁTICO

Freddy Rodolfo Berrospi Salazar

INGENIERO FORESTAL

Joseph Edison Herrera Montalvo

Lima – Perú

2014

DEDICATORIA

A DIOS, por darnos la oportunidad de vivir, guardar a nuestras familias y guiar nuestros pasos.

A NUESTROS PADRES, que son nuestra principal fortaleza; sin su incondicional apoyo, sacrificio y dedicación no habiéramos tenido la oportunidad de emprender nuestro camino en la educación; sus buenos ejemplos e incansable amor nos alientan e impulsan a superarnos cada día.

A LA FAMILIA. Por confiar en que podríamos llegar a culminar esta etapa académica.

A NUESTROS AMIGOS, por ser parte importante en este camino; sus consejos, su apoyo y entusiasmo siempre nos animan a no desistir de nuestros objetivos.

A Cinthya Fernández R. y Angela Carpio Z., por estar siempre con nosotros en las buenas y en las malas, brindándonos todo su apoyo, su fuerza y su amor; sin el cual no estaríamos completos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Molina por brindarnos la oportunidad de formar parte de tan prestigiosa universidad.

Al Mg. Sc. Miguel Meléndez y al Ingeniero Neptalí Bustamante por su tiempo, dedicación e inmenso apoyo en la realización de esta investigación, siempre dándonos consejos de profesionalismo y excelente ejemplo a seguir como profesionales y personas.

A las empresas “ASERRADERO VÁSQUEZ S.R.L”, “MADERERA MARAÑÓN S.R.L.” y “ASERRADERO SAN ANTONIO S.C.R.” por permitirnos entrar en sus instalaciones y poder tomar los datos necesarios para la investigación.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 ASERRADEROS Y TECNOLOGÍAS PRINCIPALES.....	5
3.1.1 Clasificación Y Selección De Aserraderos	6
3.2 CARÁCTERÍSTICAS DE LA MADERA ASERRADA EN PUCALLPA	6
3.3 PÉRDIDAS POR CORTE EN EXCESO.....	7
3.3.1 Variabilidad De Corte	7
3.3.2 Estudios Diagnósticos	9
3.3.3 Dimensión Objetivo	10
3.3.4 Método De Evaluación.....	13
3.4 POSIBLES CAUSAS.....	17
3.4.1 Dentro De Las Piezas	18
3.4.2 Entre Las Piezas	19
3.5 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA VARIACIÓN DE CORTE	20
3.5.1 Efectos De La Variación De Corte.....	22
3.6 HERRAMIENTAS DE CALIDAD	22
3.6.1 Diagrama De Flujo De Procesos	22
3.6.2 Diagrama De Ishikawa.....	23
3.6.4 Histograma	24
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	25
4.2 MATERIALES	25
4.2.1 Materia Prima.....	25
4.2.2 Instrumentos y Equipos.....	25
4.2.3 Materiales De Escritorio.....	25
4.2.4 Herramientas De Calidad	25

4.3 METODOLOGÍA	26
4.3.1 Clasificación Y Selección De Aserraderos.....	26
4.3.2 Selección De Espesores Frecuentes	26
4.3.3 Determinación Del Tamaño De Muestra.....	26
4.3.4 Registro De Espesores Muestreados	28
4.3.5 Procesamiento y Análisis De Datos	28
4.3.6 Elaboración De Propuestas De Acciones Correctivas Y Preventivas	36
4.3.7 Propuesta de un sistema de control de la variación del corte	37
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1 CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE ASERRADEROS	38
5.1.1 Caracterización De Los Aserraderos Seleccionados	39
5.1.2 Diagrama De Flujo De Los Aserraderos Seleccionados	40
5.1.3 Distribución En Planta De Los Aserraderos Seleccionados.....	41
5.2 ESPESORES FRECUENTESDE LOS ASERRADEROS SELECCIONADOS	42
5.3 TAMAÑO DE MUESTRA.....	43
5.4 CALCULO DE LA SOBRE DIMENSIÓN POR CONTRACCIÓN	44
5.5 PRUEBA DE PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO.....	45
5.5.1 Pre-Muestreo	45
5.5.2 Muestreo.....	45
5.6 VARIACION DEL CORTE EN LOS ASERRADEROS SELECCIONADOS	46
5.6.1 Variación Del Espesor Aserrado	46
5.6.2 Desviaciones Estándar En El Corte.....	47
5.6.3 Exceso En El Espesor Aserrado	48
5.6.4 Variación Del Espesor Promedio De Las Piezas Aserradas.....	50
5.6.5 Pérdidas Por El Exceso En El Corte.....	53
5.6.6 Causas Del Exceso En El Corte	57
5.7 DIAGRAMA DE PARETO.....	58
5.8 PROPUESTA DE ACCIONES CORRECTIVAS.....	59
5.8.1 Acciones Correctivas Generales.....	59
5.8.2 Acciones Correctivas Específicas	60
5.9 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE LA VARIACIÓN EN EL CORTE ..	63
5.9.1 Programa De Mantenimiento Preventivo	63

5.9.2 Límites De Control De Las Piezas Aserradas	64
VI. CONCLUSIONES	66
VII. RECOMENDACIONES	67
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	68
IX. ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1: CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS ASERRADEROS CHILENOS.....	6
CUADRO 2: CLASIFICACIÓN DE LOS ASERRADEROS EN FUNCIONAMIENTO EN PUCALLPA PARA EL AÑO 2011	38
CUADRO 3: ASERRADEROS DE CINTA SELECCIONADOS PARA LA INVESTIGACIÓN	38
CUADRO 4: CARACTERÍSTICAS DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA SELECCIONADOS PARA LA INVESTIGACIÓN	39
CUADRO 5: ESPESORES FRECUENTES EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	42
CUADRO 6: POBLACIÓN, UNIDAD ELEMENTAL Y PRE-MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	43
CUADRO 7: ESTADÍSTICOS OBTENIDOS DEL PRE-MUESTREO DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
CUADRO 8: CONTRACCIONES TOTALES DE LAS ESPECIES EVALUADAS EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	44
CUADRO 9: SOBREDIMENSIÓN DEL ESPESOR POR CONTRACCIÓN EN LOS ASERRADEROS SELECCIONADOS	44
CUADRO 10: POBLACIÓN Y PRE-MUESTRA DE LA PRUEBA DE PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO	45
CUADRO 11: ESTADÍSTICOS OBTENIDOS DEL PRE-MUESTREO DE LA PRUEBA DE PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO.....	45
CUADRO 12: ESTADÍSTICOS OBTENIDOS DEL MUESTREO DE LA PRUEBA DE PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO	46
CUADRO 13: NÚMERO DE PASADAS OBTENIDAS EN LA PRUEBA DE PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO.....	46
CUADRO 14: ESTADÍSTICAS DE LA PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO	46
CUADRO 15: VARIACIÓN DEL CORTE EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA.....	47
CUADRO 16: DESVIACIONES ESTÁNDAR EN EL CORTE Y VARIACIÓN DEL CORTE ACEPTABLE EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	47
CUADRO 17: INCIDENCIA PORCENTUAL DE LA VARIABILIDAD DEL ESPESOR ENTRE PIEZAS Y DENTRO DE PIEZAS EN LA VARIACIÓN DEL CORTE	48
CUADRO 18: VARIACIÓN DEL CORTE EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA.....	49

CUADRO 19: PORCENTAJE DE PIEZAS ASERRADAS CON EXCESO DE VARIACIÓN EN EL ESPESOR PERMITIDO	53
CUADRO 20: VOLUMEN DE MADERA PERDIDO POR EXCESO EN EL CORTE DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	54
CUADRO 21: ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POR EXCESO EN EL CORTE DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	55
CUADRO 22: ESPESORES DE CORTE PROMEDIO Y EXCESO EN EL ESPESOR DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	55
CUADRO 23: VOLUMEN DE MADERA PERDIDO EN LA ZONA DE PUCALLPA POR EXCESO EN EL ESPESOR DEL CORTE	55
CUADRO 24: ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA ZONA DE PUCALLPA POR EXCESO EN EL CORTE DE ASERRÍO	56
CUADRO 25: FRECUENCIA DE PROBLEMAS EN LA SIERRA PRINCIPAL	58
CUADRO 26: LÍMITES DE CONTROL PROPUESTO PARA EL ESPESOR DEL ASERRADERO A1	61
CUADRO 27: LÍMITES DE CONTROL PROPUESTO PARA EL ESPESOR DEL ASERRADERO A2	61
CUADRO 28: LÍMITES DE CONTROL PROPUESTO PARA EL ESPESOR DEL ASERRADERO A3	62
CUADRO 29: LISTA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PERIÓDICO EN UNA SIERRA PRINCIPAL .	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ALMACENAMIENTO Y MANIPULEO DE MADERA ASERRADA	7
FIGURA 2: DIMENSIÓN OBJETIVO	11
FIGURA 3: SECUENCIA EN LA TOMA DE MEDICIONES DEL ESPESOR	16
FIGURA 4: REGISTRO DE ESPESORES EN PIEZAS ASERRADAS	28
FIGURA 5: MARCADO DE PUNTOS DE MEDICIÓN, CARA INICIAL Y DIRECCIÓN DE INGRESO A LA CEPILLADORA	33
FIGURA 6. MEDICIÓN DE ESPESORES EN LOS PUNTOS SELECCIONADOS	33
FIGURA 7. PIEZAS DE MADERA EN PROCESO DE CEPILLADO	34
FIGURA 8: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ASERRÍO EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	40
FIGURA 9: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	41
FIGURA 10: ESPESORES FRECUENTES EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA.....	42
FIGURA 11: MANIPULACIÓN DE LAS PIEZAS DE MADERA DE 4 PULGADAS.....	43
FIGURA 12: EXCESOS EN EL CORTE DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	49
FIGURA 13: VARIACIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO EN EL ASERRADERO A1	50
FIGURA 14: VARIACIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO EN EL ASERRADERO A2.....	51
FIGURA 15: VARIACIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO EN EL ASERRADERO A3	51
FIGURA 16: VARIABILIDAD DE LOS ESPESORES DE LAS PIEZA ASERRADAS EVALUADAS	52
FIGURA 17: DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO DEL EXCESO EN EL CORTE DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA	57
FIGURA 18: DIAGRAMA DE PARETO DE LOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN EL CORTE POR LA SIERRA PRINCIPAL	59

RESUMEN

Actualmente la industria de aserrío aporta en gran medida al dinamismo económico de las ciudades donde se desarrolla, sin embargo el uso ineficiente de la materia prima genera problemas sociales, ambientales y económicos, por ello la necesidad de realizar investigaciones que aporten al correcto uso del recurso. El presente estudio se realizó con la finalidad de determinar y analizar la influencia que tiene la variación del corte, que se genera en la sierra principal, en el rendimiento y los ingresos económicos de los aserraderos ubicados en la Ciudad de Pucallpa Departamento de Ucayali, y proponer un sistema de control de la variación del corte. En base a la metodología de “Los Puntos Múltiples”, se registró las medidas de las piezas de madera de 2” (pulgadas) de espesor, en 3 aserraderos representativos de la tecnología de la ciudad; con lo cual se pudo observar que ninguno de los aserraderos; presenta una “Variación de Corte Aceptable o Estadísticamente Controlada”, no cortan en base a la “Dimensión Optima” y que presentan cortes con exceso en el espesor. Los aserraderos en estudio (A1, A2 y A3) perdieron 917.5 m³, 616.1m³ y 645.1 m³, respectivamente, en volumen de madera por cortar con exceso en el espesor; así también podrían haber recibido ingresos económicos para año 2011 de S/. 86930; S/. 55767 y S/. 51966, respectivamente, si cortaban en su dimensión óptima.

Palabras claves: Variación de corte, dimensión óptima, exceso en el espesor.

I. INTRODUCCIÓN

La riqueza de los bosques peruanos y la necesidad de realizar el aprovechamiento racional y sostenido del recurso forestal, congrega a muchos profesionales en el esfuerzo de estar desarrollando diversos métodos y metodologías para este fin; sin embargo esta labor es aún compleja por los vacíos de información y un ambiente político-social sensible, además el impacto de estos esfuerzos no siempre son los esperados.

La industria forestal que se desarrolla en el país es aún bastante depredatoria, y dentro de esta se destaca la de aserrío por su gran demanda de trozas y su mayor impacto sobre los bosques; según la Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre (2011), la ciudad de Pucallpa alcanzó una producción aproximada 1063555 m³ de madera aserrada para el 2011; sin embargo también genera la mayor cantidad de empleo y tiene un gran potencial de desarrollo de productos maderables de los bosques amazónicos. En la región de Ucayali el sector forestal aporta casi el 36% del PBI Regional y da ocupación a un 32% de la población, Goreu (2004).

Es importante mencionar que el costo de la materia prima puede sobrepasar el 60% de los costos de Producción total de los aserraderos si se incluye el costo de transporte según FAO (1989) y por ende, si la materia prima se utiliza de forma inadecuada va influir negativamente en la eficiencia económica del establecimiento de producción de madera aserrada. Paralelamente a esto, el procesamiento ineficiente de la troza aumenta la necesidad de materia prima y puede conducir al incremento de la tala, con posibles afectaciones al medio ambiente.

Por lo antes mencionado el desarrollo de una industria forestal responsable y sobre todo eficiente es sin duda el ideal para continuar generando empleo y no abusar del recurso forestal con el que se cuenta; es por ello que sea de vital importancia la búsqueda de mejorar el proceso de aserrío.

En este contexto el presente estudio tiene como finalidad determinar la influencia de la variación del corte en el espesor, producido por la vibración natural de la sierra de cinta en la línea principal, sobre el rendimiento y el impacto que tienen en los ingresos económicos en los aserraderos; para ello se recopiló información en una muestra representativa de las industrias de aserrío localizadas en la Provincia de Coronel Portillo y se analizó la implicancia de no controlar esta variación, mostrando así las consecuencias para la industria y para el recurso; como la necesidad de re-procesos, uso de mayor materia prima, generación de residuos, mayor mano de obra, gastos en maquinaria para re-procesos y otros.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la influencia de la variación del espesor sobre el rendimiento y los ingresos económicos de la industria de aserrío.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la eficiencia del aserrío a través del control de la variación del espesor de las piezas aserradas.
- Proponer un sistema de control de la variación del corte en una planta de aserrío.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 ASERRADEROS Y TECNOLOGÍAS PRINCIPALES

Los departamentos que produjeron la mayor cantidad de madera aserrada en el país en el año 2011 según la Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre (2012) fueron; Ucayali, Madre de Dios y Loreto, tan solo entre los tres departamentos llegaron a producir el 68.7% del total de madera aserrada en el país; de ellos, Ucayali fue el departamento que produjo la mayor cantidad de madera aserrada.

Ucayali alberga una gran cantidad de centros de transformación de madera “Aserraderos” ubicados principalmente en la provincia de Coronel Portillo, relativamente lejos de los centros de producción de madera en rollo, lo que incrementa costos y dificulta el abastecimiento. Los aserraderos están concentrados principalmente en tres zonas: la zona de la quebrada Manantay alimentada por las aguas del río Ucayali, donde están la mayoría de aserraderos y re-aserraderos; la zona de Puerto Italia donde se ubican aserraderos y laminadoras, y la carretera Federico Basadre del km 1 al 12, donde se ubican aserraderos, re-aserraderos, laminadoras y parqueteras.

Para el año 2011 la provincia de Coronel Portillo tenía registrado 194 plantas de transformación primaria, de las cuales 58 eran aserraderos que tenían autorización vigente para su funcionamiento; esto según la Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre (2011). Las características principales de estos centros de transformación primaria lo menciona Proamazonia (2011); la totalidad de los aserraderos presentan sierras de cinta con un promedio de diámetro de volante de 1.5 m, y los re-aserraderos de disco, según la capacidad instalada de los aserraderos tienen un promedio de transformación de 8,120 pt por turno de 8 horas en 8.1 meses de trabajo al año; el 70% se abastecen de energía de la red pública y el

30% dependen exclusivamente de la generación de energía de grupos electrógenos. La línea básica de transformación está compuesta por la sierra principal, carro porta trozas, canteadoras y despuntadora. La línea de mantenimiento para la sierra principal de cinta está medianamente implementada en la mayoría de aserraderos, coherente con la forma de producción y calidad de sus productos, pero rudimentaria y en la mayoría de los casos inexistentes para las sierras de disco simple, disco de dientes carburados, cuchillas, fresas, etc.

3.1.1 Clasificación Y Selección De Aserraderos

Melo y Pavón (1990) describen dos criterios de clasificación basados en su capacidad de producción (m³/año) de los aserraderos en Chile; el primero hace referencia al tamaño de aserradero y el segundo hace referencia al nivel de mecanización, ambos se detallan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Criterios de clasificación de los aserraderos chilenos

1er Criterio Tamaño de Aserradero	Nº de Aserraderos	2do Criterio Nivel de Mecanización	Nº de Aserraderos
Grandes (>18000)	15	Mecanizados (>500000)	7
Medianos (10000 – 17999)	8	Tradicionales (10000 – 49999)	18
Pequeños (9999 – 1000)	332	No mecanizados	0
Muy pequeños (<1000)	1243	Temporales	1571
Total	1598		1596

FUENTE: Melo y Pavón (1990)

Meza (2000) aplicó un muestreo no probabilístico o Muestreo por Conveniencia a los aserraderos de Pucallpa, tomando en consideración las especies procesadas (maderas duras, semiduras y blandas), el nivel tecnológico y organizativo representativo de la zona y las facilidades brindadas para la realización del estudio.

3.2 CARÁCTERÍSTICAS DE LA MADERA ASERRADA EN PUCALLPA

Proamazonia (2010) precisa que la madera aserrada generalmente se ofrece en grandes bloques con espesores predominantes de 3 y 4 pulgadas, anchos variables de 6 a más pulgadas y longitud también variada mayor de 5 pies, y sale al mercado con la denominación de "madera comercial". Cuando los largos son menores a 6 pies se le da la denominación de

"madera corta". Es común en los aserraderos observar el manipuleo realizado por estibadores, de grandes planchones o bloques de madera que superan la media tonelada de peso.

Gran parte de la madera aserrada actualmente en Pucallpa se presenta con secciones descalibradas y superficie con muchos defectos de corte, con daños consecuentes de ataques biológicos de hongos e insectos y al estado húmedo. Además, la madera aserrada no pasa por ningún tipo de proceso de clasificación, es ubicada generalmente en patios sin techo, sin ningún tipo de acondicionamiento y a partir de allí se carga en forma manual a los camiones que va con destino a mercados fuera de la región como se observa en la figura 1.

FIGURA N° 1
ALMACENAMIENTO Y MANIPULEO DE MADERA ASERRADA



3.3 PÉRDIDAS POR CORTE EN EXCESO

Los cortes necesarios para escuadrar y despiezar las trozas de madera generan pérdidas o mermas propias del aserrío, que pueden llegar a ser significativas.

Proamazonia (2011), en relación al rendimiento de la materia prima, encontró que entre 5 y 7% del volumen real se pierde como aserrín en la sierra cinta principal; el rendimiento en cortes comerciales está entre 41 y 57%, y la recuperación de la madera de las sierras canteadoras y despuntadoras está entre 50 y 30%.

3.3.1 Variabilidad De Corte

La madera puede variar en dimensiones, tanto en su espesor como en su ancho a lo largo de cada pieza. Asu vez, existen variaciones entre las diferentes piezas de un lote. Evaluar la

magnitud de la variabilidad de corte producida durante el proceso de aserrío es esencial, no solo para determinar la dimensión objetivo verde a la cual se debe aserrar para obtener una dimensión final deseada, sino también para evaluar el rendimiento de las máquinas de aserrío. (Meloy Pavón, 1990).

La variación de corte en el espesor es la más significativa en cuanto al volumen que representa, comparativamente hablando con respecto al ancho y al largo (Ramos, 2006).

La variación del corte se manifiesta a través de la variación en espesor de la madera aserrada, y se le considera como una medida de la precisión mecánica de trabajo de los equipos de aserrío (Zavala, 1991)

La variación en el espesor de la madera, debido a la variación de corte por aserrío, puede ser bastante significativo, el exceso de refuerzos puede representar un 10 % del volumen de madera verde áspera (Zavala, 1994); Por su parte Gerwing et al., (1997) coinciden en que la variación en el espesor de la madera procesada es el resultado de la utilización de equipos de procesamiento inadecuados, causando pérdidas de más de 8% de volumen durante el procesamiento, una gran fuente de desperdicio en madera puede ser en la producción de madera procesada con exceso en el espesor.

La importancia en el control de la variación de corte radica en que de cada milímetro de espesor en tablas de 25.4 mm de grueso (1”), significa el 4 % de la producción (Sánchez, 2004), es decir, que los beneficios obtenidos por la optimización son maximizar las ganancias, satisfacer demandas de mercado y utilizar racionalmente los recursos (Ulin, 1992).

La norma técnica NBR PB 1560 indica que el límite máximo de variación en el espesor en una pieza de madera aserrada es de 2 mm, así también permite que un lote pueda presentar hasta un 25% de variación de su espesor en 4 mm para piezas con espesores nominales en los rangos 32 -50mm. (Asociación brasileña de normas técnicas, 1991)

3.3.2 Estudios Diagnósticos

Diversos estudios realizados a la variación de corte ratifican la importancia de su control como se puede notar a continuación;

En un estudio realizado en seis aserraderos mexicanos, Zavala (1981) encontró que la utilización adecuada de métodos de control de dimensiones pudiera incrementar el rendimiento volumétrico en un 4.46 % como promedio, debido al empleo de una dimensión óptima de corte menor que la dimensión actual, pero sin producir piezas con dimensiones por debajo de las exigidas en el mercado. Por otro lado, el mismo autor, mencionó que la reducción de la variación de corte en el aserrío a valores aceptables, se logra mediante la realización de ajustes correspondientes a la maquinaria.

Zavala (1991) reportó un espesor promedio de 21 a 34 mm para tablas de 19.05mm. (3/4”), media nominal en seis aserraderos, donde la principal variación de corte durante el proceso fue entre tablas. Pudiendo incrementar potencialmente el coeficiente de aprovechamiento de madera aserrada, disminuyendo el grosor promedio a un grosor óptimo, determinado en función de la variación del espesor de la madera, el cual representaría un aumento en el volumen de madera aserrada de 3.55 %.

De acuerdo con Zavala (1992) la sobremedida en dos aserraderos en México presentó un excedente de 15 % para madera de 19 mm (3/4”), de 9.99 % para madera de 38.1 mm (1½”) y de 10.91 % para madera de 50.8 mm (2”). Mediante la determinación de la dimensión óptima encontró un excedente de volumen de madera promedio de 4.46 %. De tal manera, que es necesario respetar las dimensiones de la sobremedida para la madera aserrada, para que la productividad no se vea afectada por el excedente de refuerzos.

Álvarez D. et al. (2004) analizando la variación del corte de *Pinus caribaea var. Caribaeae* en cuatro aserraderos, seleccionando piezas de madera de 13, 50, 75 y 100mm de espesor en cada aserradero, se observó mayor variación de corte en las tablas de mayor espesor, llegando a alcanzar grosores con 5mm por encima o por debajo del grosor promedio.

Flores (2005) estudiando la variación de corte en dos aserraderos en México para madera de 19.05 mm (3/4") de medida nominal, determinó un porcentaje de pérdida en volumen aserrado por exceso de la sobremedida de 5.55 % y de 6.95 % de acuerdo con la dimensión óptima determinada para cada aserradero, así como una desviación estándar total del proceso de 1.4 mm y 1.1 mm respectivamente. Mientras que Sánchez (2006) reportó en un estudio similar en cinco aserraderos en México variaciones de 0.55 mm a 0.94 mm, y de pérdidas por volumen aserrado debido a un exceso en la sobremedida de 1.37 % a 9.71 %.

3.3.3 Dimensión Objetivo

La dimensión objetivo está referida a aquella que incluye al espesor mínimo aceptable o dimensión crítica, aquella que incluye y la variación del corte (desviación estándar del corte por aserrío). Dentro de los estudios de la variación de corte, una de las finalidades es encontrar esta dimensión objetivo adecuado para cada aserradero;

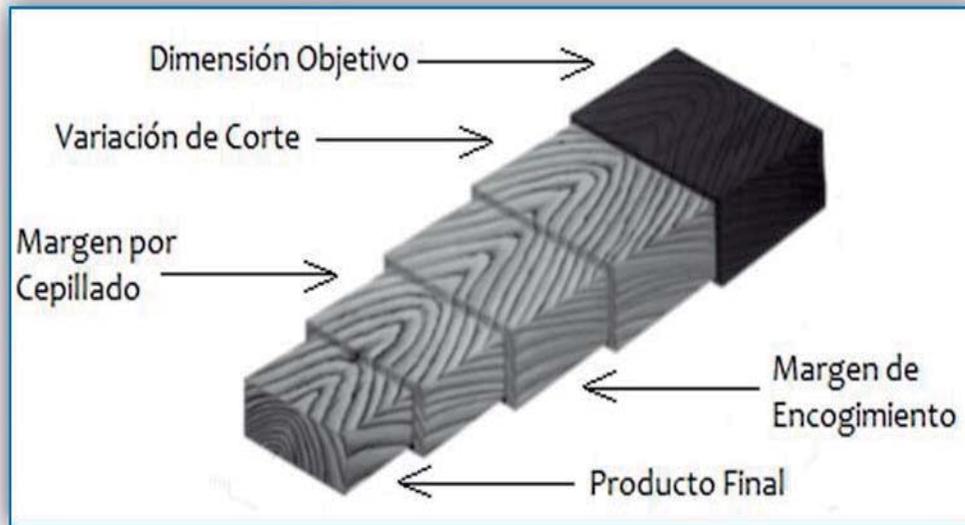
Melo y Pavón (1990) recomiendan para la obtención de una pieza de madera cepillada precisa y en estado seco; que esta misma pieza, al momento de ser aserrada, se sobredimensione, para compensar el efecto de disminución de la dimensión de producto aserrado, por causa de la contracción, el cepillado y la imprecisión o variabilidad de corte en el aserradero. Por lo tanto definen como dimensión objetivo, aquella a la que se programa la producción del aserradero.

Zavala (1991) define a la dimensión óptima u objetivo como la dimensión real a la que debe aserrarse la madera para obtener el espesor final deseado de las tablas.

Según Brown (2000) la mejor manera de visualizar los componentes del tamaño objetivo es trabajar hacia atrás desde el tamaño del producto final. Si la madera ha sido recubierta para establecer su tamaño final, el primer componente del tamaño objetivo está bajo el margen de cepillado. El siguiente componente es el margen de encogimiento (si la madera está seca), y el último componente es la variación de corte. La figura 2 ilustra cómo cada componente se construye sobre el orden para establecer la dimensión objetivo.

Cada componente de la dimensión objetivo aparece como una capa añadida a la previa. Minimizando el espesor de cada capa, el tamaño objetivo será tan pequeño como sea posible.

FIGURA N° 2
DIMENSIÓN OBJETIVO



Zavala (2003) Si el corte de las sierras fuera perfecto, en cuanto a uniformidad a lo largo de la troza, el refuerzo por cepillado y contracciones sería suficiente para obtener el espesor esperado de las tablas. Sin embargo como existe un tercer factor que se debe tomar en cuenta en la definición del refuerzo final; la irregularidad del corte que se manifiesta en una variación en el espesor a lo largo de las tablas. Los refuerzos por cepillado y por contracciones se consideran constantes e independientes del proceso de aserrío, en tanto que el refuerzo por la variación del corte cambia en función de las características de los equipos de aserrío, las técnicas del proceso y de la habilidad de los operarios.

Para la determinación de la dimensión óptima de corte a la que debe aserrarse la madera verde (húmeda) para que cumpla con las especificaciones de grosor exigidas por el mercado, Álvarez D. et al. (2004) menciona que se deben considerar tres tipos de tolerancias de volumen: tolerancia debido a la contracción de la madera, debido al cepillado, y al eliminar las asperezas y el mal dimensionado de las piezas.

Para Bustamante (2010) el espesor óptimo u objetivo representa la dimensión a partir de la cual, no se producirían una cantidad excesiva de piezas, con valores inferiores al requerido.

3.3.3.1 Margen de contracción (Sobredimensión por contracción)

Respecto a la sobre dimensión por contracción Brown (2000) menciona lo siguiente; La madera no se encoge hasta que el contenido de humedad alcance aproximadamente el 30 por ciento. Esto es llamado el *punto* de saturación de fibra. Cuando la superficie de la madera alcanza el punto de saturación de la fibra, comienza a encogerse y continúa encogiéndose en un modo casi lineal hasta que la madera está completamente seca (no contiene agua del todo). Mientras más se contrae la madera durante el secado, con mayor espesor debe haber sido aserrado inicialmente. Cualquier programa de control de calidad debe minimizar la contracción durante el secado; no tiene sentido en absoluto gastar tiempo, energía, y dinero para mejorar los equipos y maquinarias del aserradero, para luego prestar pequeña atención al proceso de secado. Para que un aserradero gane el mayor beneficio desde su programa de control debe realizar un proceso de secado de alta calidad.

Zavala (2003) y Bustamante (2010) coinciden en que el refuerzo por contracciones, es la dimensión adicional que se le da a la madera aserrada para compensar la pérdida de volumen por las contracciones que se presentan cuando se seca abajo del 30 % de contenido de humedad hasta el contenido de humedad final deseado. Para efectos de cálculo de las contracciones se utiliza el valor tangencial por ser el más crítico (en relación a la radial y longitudinal).

3.3.3.2 Margen de cepillado (Sobredimensión por cepillado).

El margen de cepillado es la cantidad de madera removida por la cepilladora o garlopa. Brown (2000) menciona al respecto; la cantidad de madera removida y el número de pasadas por la cepilladora raras veces es la misma, estas dependen de que tan correctamente fueran aserradas las piezas de madera y suelen estar afectadas por la rugosidad de la superficie, por huecos o alabeos resultados del proceso de secado y la precisión de los operarios. Mientras la superficie sea más plana y los operarios realicen su labor con mayor precisión, el cepillado generará menores volúmenes de madera removida.

Según Bustamante (2010) la sobredimensión por cepillado se considera a la parte del espesor que se pierde al cepillar la pieza en ambas caras. Es aceptable asumir como perdida en el cepillado, entre 0.8 a 1 mm por pasada en la cepilladora; y Galindo (2011) menciona que la madera que se pierde por cepillado varía de 1.27 mm a 2.032 mm (0.05” a 0.08”).

3.3.4 Método De Evaluación

Para evaluar la calidad de aserrío, Bustamante (2010) describe la metodología que se utiliza para conocer la variación del corte entre y dentro de las piezas de madera aserrada “Sistema de Muestreo en Puntos Múltiples”, que es el más adecuado por permitir un mejor control de las dimensiones en las piezas de madera. El método más exitoso y usado internacionalmente, para la determinación de la variabilidad de corte, mide el espesor en múltiples puntos a lo largo de la pieza. Este método se basa en un análisis de la desviación estándar. Es así, que el cálculo de la variabilidad de corte total, considera la variabilidad dentro de una pieza y variabilidad entre piezas. Sobre la metodología Brown (2000) menciona; dependiendo del objetivo y del grado de análisis que se pretenda realizar de la muestra que se seleccione, se define el número y ubicación de las mediciones en cada tabla muestreada. Obviamente mientras más observaciones o mediciones se realicen sobre una misma pieza, se dispondrá de mayor información para evaluar la eficiencia de trabajo del aserradero.

Zavala (2003), afirma que el método de puntos múltiples es el único que permite identificar y evaluar ambos tipos de variación. La evaluación de la cantidad de variación durante el proceso de aserrío es esencial, tanto para determinar la dimensión óptima de la madera verde o húmeda, como para la evaluación del comportamiento del equipo. Este método es el más exitoso y usado internacionalmente para la determinación de la variabilidad de corte; mide el espesor en múltiples puntos a lo largo de la pieza. Este método se basa en un análisis de la desviación estándar. Es así, que el cálculo de la variabilidad de corte total, considera la variabilidad dentro de una pieza y variabilidad entre piezas.

Con esta información se determinará la desviación estándar dentro de la pieza (SD), que es un indicador de la forma como está cortando la sierra, y la desviación estándar entre piezas (SE), que es un indicador para saber que tan bien están los engranajes de las escuadras y la alineación de las guías de carro. La variación del corte en el aserrío se determina a través de la desviación estándar total del proceso (SA), la cual está integrada por la variación en espesor a lo largo de las piezas denominada desviación estándar dentro de las piezas (SD) y por la variación que ocurre de una tabla a otra denominada desviación estándar entre tablas (SE) (Zavala, 1991).

3.3.4.1 Selección del espesor

Bustamante (2010) recomienda; Debido a la amplia variación de las dimensiones de las piezas aserradas, que comúnmente se producen en los aserraderos, se debe seleccionar aquel espesor de las piezas que sea más representativo.

3.3.4.2 Tamaño de la muestra

Sobre el tamaño de muestra Brown (2000) menciona; una de las mayores fortalezas del análisis estadístico es la posibilidad de poder hacer predicciones útiles en base a un pequeño número de artículos producidos por una máquina; para el análisis de la variación de corte dentro de un programa de control, se podría tomar como muestra de 50 a 150 piezas de madera para cumplir con los requisitos estadísticos, sin embargo esto no es práctico para la mayoría de los aserraderos que miden manualmente. Los aserraderos necesitan programas de control de calidad prácticos, que produzcan resultados útiles, por lo que sacrificamos algo de precisión estadística para asegurar que un programa de control sea efectivo en el largo plazo.

Exigir a los aserraderos medir el número de piezas necesarias para una "precisión estadística" condenaría prácticamente todos los programas de control; arriesgar la viabilidad a largo plazo de un programa de control para el único propósito de garantizar una verdadera precisión estadística está fuera de cuestión. Como resultado del uso del método, muchos directores de

fábricas han aumentado los ingresos de \$ 500.000 hasta \$ 1.000.000 por año a causa de programa de control de tamaño que utiliza pequeñas muestras.

Por ello la cantidad de tablas necesarias para una muestra depende del momento en que se encuentra el programa de control de la variación de corte; si se está comenzando a recoger información sobre las nuevas o recientemente modificados líneas de corte, se mide entre 100 y 200 listones de madera para conseguir una buena línea de base. Si está supervisando un equipo que no ha sufrido grandes cambios, se puede medir un mínimo de 10 tablas al mismo tiempo. Obviamente, cuantas más tablas miden, más preciso estadísticamente el programa.

Al respecto Álvarez D. et al. (2004) tomó muestras de 100 piezas, 10 en cada jornada de trabajo, de cada uno de los principales surtidos (definidos por sus grosores nominales), siendo por tanto seleccionados los surtidos 13, 50, 75 y 100 mm.

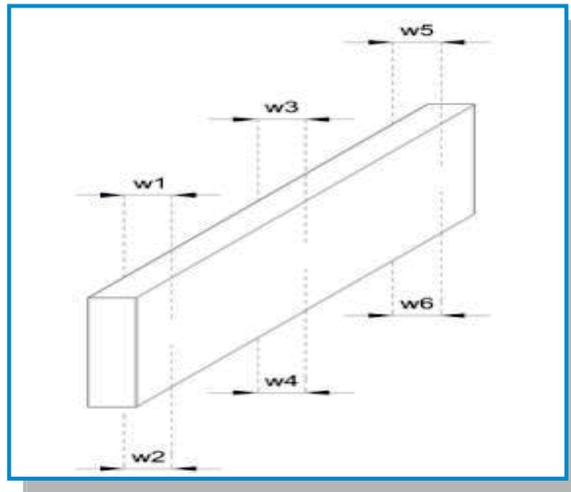
Mientras que Bustamante (2010) sugiere tomar un tamaño de muestra de 100 piezas de madera aserrada, que se dividirán en 20 subgrupos de 5 piezas cada uno

3.3.4.3 Registro de información

Respecto a la forma de tomar los datos, Bustamante (2010) detalla lo siguiente; los grupos se deben tomar en diferentes horarios y condiciones de trabajo, de tal manera, que los registros representen la variación del espesor que normalmente ocurre en la planta.

Zavala (2003) y Bustamante (2010) coinciden en Tomar 6 mediciones del espesor (en mm), en cada una de las piezas estudiadas, conforme se observa en la figura 3. Los puntos de medición se ubicaran a cada lado, espaciadas equidistantes en todo el largo de la pieza. En la distribución de los puntos de medición, se deben evitar los extremos de la pieza, pudriciones, nudos y defectos que pudieran alterar los registros.

FIGURA N° 3
SECUENCIA EN LA TOMA DE MEDICIONES DEL ESPESOR



Pairán (2004) tomó 10 mediciones por tabla, 3 en cada canto y ancho de la tabla y en forma equidistante a lo largo de la misma, la primera medición la tomó a 12 pulgadas (3.048 cm) de los extremos de las tablas, evitando tomar puntos coincidentes con nudos, rajaduras u otros defectos que no fueran originados por el efecto del corte y otra medición la tomó en el centro de cada tabla.

Brown (2000) menciona lo siguiente; Las mediciones deben ser tomadas al menos en cuatro puntos en los bordes de las tablas. Si un aserradero produce tableros con un mínimo o nada de defectos, sólo midiendo uno de los bordes es suficiente para analizar el espesor; en cambio si durante el aserrío se producen defectos en los tableros, entonces ambas partes, superior e inferior, deben ser medidos. Así también el número de mediciones va depender del largo de las tablas; Cuatro mediciones a lo largo de una placa de 16 pies dan menos información que las cuatro mediciones en un tablero de 8 pies.

3.3.4.4 Cálculos

Los datos recolectados se procesa de acuerdo al Método de Rangos, este método es el más utilizado por ser el más simple y rápido para el cálculo de las operaciones según Duncan (1990). Las formulas se detallan en el punto “4.3.5 Procesamiento Y Análisis De Datos”.

3.4 POSIBLES CAUSAS

Existen muchos factores que afectan directamente el coeficiente de aprovechamiento debido a la variación de corte; los cuales reflejan una influencia directa en el proceso de transformación de la madera desde el proceso de trozado del árbol hasta la elaboración de la madera aserrada; tales como las características de la maquinaria utilizada con su capacidad de producción y condiciones de trabajo, el diámetro y la calidad de las trozas procesadas, la proporción de las dimensiones y la calidad de la madera producida, las sobremedidas y los excedentes de las sobremedidas en la troza como en la madera aserrada y la variación en grosor de las tablas (Zavala, 1995; Zavala,1994).

La madera puede variar en dimensiones, tanto en su espesor como en su ancho a lo largo de cada pieza. A su vez, existen variaciones entre las diferentes piezas de un lote. (Melo y Pavón 1990); estas tiene su propia desviación estándar la cual nos da una idea del funcionamiento de la sierra principal.

La desviación estándar dentro de la pieza (S_D), es un indicador de la forma como está cortando la sierra, y la desviación estándar entre las piezas (S_E), es un indicador para saber que tan bien está el carro porta trozas (Zavala, 1991).

Álvarez D. et al. (2004) menciona, la gran variación de corte en el proceso de aserrío que se manifiesta son resultado de las variaciones excesivamente grandes que ocurren dentro de las piezas y entre piezas. La gran variación de grosor dentro de las piezas se debe no sólo a las desviaciones excesivas de la hoja de sierra respecto a su trayectoria normal, sino también a la deficiente alineación de las escuadras del carro, lo que propicia la obtención de todas las piezas interiores (piezas pegadas a las escuadras del carro) con notable defecto de cuña hacia una sola dirección y de piezas exteriores (piezas alejadas de la escuadra del carro) libres o aleatorias afectada por este defecto hacia una u otra dirección.

Cuenca (2006) menciona que las descalibraciones en los equipos de aserrío, por las características del propio trabajo y en las condiciones en que se desarrolla son bastantes frecuentes y normales que se produzcan.

3.4.1 Dentro De Las Piezas

Cuenca (2006), Tuset y Durán (2007) y Vásquez (1984) citan algunas de las posibles causas que generan una variación en el espesor de la tabla:

En la cinta:

- Cinta desafilada.
- Dientes débiles por el ángulo de hierro bajo.
- Diente con poco cuerpo.
- Dientes con Altura excesiva.
- Recalcado muy angosto de los dientes de sierra.
- Recalcado o traba desparejo.
- Garganta insuficiente para velocidad de alimentación aplicada.
- Velocidad de corte fluctuante en más del 10%.
- Guía de sierra ajustada impropia.
- Roce de cinta contra guías.
- Base de la sierra principal no anclada firmemente al cimiento.

En la volante:

- Volante con juego entre eje y rodamiento
- Potencia escasa.

En el contrapeso:

- Tensión de montaje puesto incorrectamente.
- Incorrecto tensionado de la sierra para la velocidad de avance.

- Falta de tensionado en el borde dentado o tensión desigual.
- Cinta muy flexible (demasiada tensión).
- Cinta rápida o rígida (demasiada tensión en el dorso y en la parte dentada)

3.4.2 Entre Las Piezas

Entre los puntos más frecuentes de anomalías en el carro porta-trozas, Cuenca (2006), Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (2010), Corporación Chilena de la Madera(2005), Tuset y Duran (2007) y Vásquez (1984) detallan:

En las Uñas sujetadoras:

- Troza con insuficiente fijación.
- Mecanismos de ajuste inexactos.
- Uñas de las escuadras fijadas incorrectamente (mal ajustados).
- Uñas no perpendiculares respecto a las escuadras.
- Mal alineamiento de las uñas.

En las escuadras:

- El husillo de desplazamiento individual de las escuadras, ha adquirido holgura propia del esfuerzo del trabajo.
- El desgaste de la tuerca del husillo de desplazamiento genera holguras y avances desiguales en cada escuadra.
- Las escuadras no están totalmente alineadas y alguna de ellas se queda más adelantada o retrasada con relación a la sierra de cinta.
- El nivelador frontal rápido, que llevan las escuadras para igualar las mismas, presenta problemas en nivelar las escuadras de los extremos.

En los rieles:

- El desgaste de la rueda guía producirá movimientos con oscilaciones.
- Variaciones en el riel guía por las desigualdades de las ruedas.

- Suciedades en los rieles como consecuencia de las impregnaciones de aserrín producirán movimientos de subida y bajada en las ruedas, con anomalías y oscilaciones en el carro.
- El ancho de los rieles se ha modificado, como consecuencia de aflojarse los tornillos de sujeción de los rieles o se ha movido la cimentación de los rieles.
- Torcedura de los rieles antes o después del nivel de la sierra.
- Riel bajo del lado de la cinta o en el lado opuesto de la cinta.
- Los rodamientos de los ejes del carro, han cogido holguras y se mueven los ejes con anomalía repercutiendo en el movimiento de avance.
- Falta o inadecuada lubricación en los rieles.

En el avance del carro:

- Velocidad del carro muy lenta.
- Carrera muerta de piñones sobre el eje de ajuste y cremalleras.
- Juego lateral en el carro.
- Tensión inadecuada del cable de acero que controla el avance y retroceso del carro

3.5 IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA VARIACIÓN DE CORTE

El control de la variación de corte nos permite obtener diversos beneficios que se mencionan a continuación;

El empleo de programas de control de dimensiones en los aserraderos incrementa la eficiencia de conversión. Un sistema de control de dimensiones permite determinar la dimensión óptima de corte de la madera aserrada para obtener piezas con parámetros que coinciden con las nominales, para lo cual la tolerancia en el espesor y ancho de las piezas debe corresponder precisamente al volumen que se pierde por contracciones, por cepillado y por variación del corte en el aserrío (Brown, 1979 y Zavala, 1991). Además, el control de dimensiones al emplearse adecuadamente permite identificar y localizar problemas que se presentan en las distintas máquinas que conforman el flujo tecnológico del aserradero; así como en la operación de colocación de la troza en el carro de alimentación (Brown, 1986).

Brown (2000) La información del control de la variación de corte tiene dos beneficios principales; el primero y más importante es la habilidad para usar la información de variación de corte para descubrir errores en el funcionamiento de la maquinaria o equipos. Debido a la naturaleza dinámica del aserradero, es difícil mantener el control de los centros de las máquinas aserradoras por un período largo; la información de variación de corte obtenida desde el análisis de los datos puede ser usado para aislar problemas e identificar los lugares más frecuentes para buscar soluciones. Esta aplicación diagnóstica es de lejos el mayor valor de cualquier programa de control. El segundo beneficio es ser capaz de estimar la dimensión objetivo apropiado para el aserradero.

Álvarez et. Al. (2004) La realización de investigaciones profundas en este campo que permitan la toma de decisiones concretas es de suma importancia no sólo para elevar la eficiencia de conversión volumétrica, sino también para mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada en una época en la cual la competencia de la industria de la madera aserrada con otros productos es cada vez más reñida.

Cuenca (2006) menciona que debemos estar muy atentos a la variación del espesor que se produzca en las piezas aserradas mediante las comprobaciones periódicas y sistemáticas de las medidas obtenidas en el aserrío. El perjuicio económico que producirá, el no estar pendientes de este tema, si no establecemos los controles permanentes y no esporádicos, puede ser de una gran consecuencia, tanto económica como comercial.

Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (2010) recomienda realizar continuamente ejercicios de calibres en las piezas aserradas para tener un control de la producción. Para ello, se mide el espesor de la madera aserrada que se va Produciendo con la finalidad de verificar si la escala del carro está bien calibrada y si el marcador está señalando con precisión la medida del corte.

Así también menciona que el funcionamiento óptimo de los equipos es el resultado, en buena medida, de aplicar una práctica adecuada de mantenimiento preventivo, la cual permite

estandarizar la producción de volumen de madera aserrada y mantener los costos de producción. Variables como el rendimiento y la calidad del maquinado de la madera se controlan positiva y negativamente por factores asociados al carro escuadra y su trayecto hasta la sierra principal.

3.5.1 Efectos De La Variación De Corte

Cuenca (2006), Corporación Chilena de la Madera (2005) y Eleotério et al. (1996) mencionan algunas de las consecuencias más resaltantes por las que es necesario tener en cuenta el efecto de la variación en el corte:

- Económicas; variaciones de cortes no controladas generan pérdidas considerables por disminuir el volumen de madera aprovechable, el rendimiento en la producción y aumenta la inversión en reprocesos.
- Comercial; piezas de madera con variaciones dimensionales influyen significativamente en la calidad, dificultan la comercialización y en consecuencia disminuyen la competitividad.
- Impacto ambiental; la madera que se pierde por variaciones en los cortes se convierten en aserrín y polvo de madera lo cual aumenta el problema ambiental de los residuos de la industria.

3.6 HERRAMIENTAS DE CALIDAD

3.6.1 Diagrama De Flujo De Procesos

Son diagramas que emplean símbolos gráficos para representar los pasos o etapas de un proceso. También permiten describir la secuencia de los distintos pasos o etapas y su interacción.

En el diagrama de flujo se registran las operaciones e inspecciones del proceso así como todos los traslados y retrasos de almacenamiento que dificultan a un artículo en su recorrido por la planta o el servicio que transita por las áreas pedidas. (Carpio, 2011)

3.6.2 Diagrama De Ishikawa

Los diagramas de causa y efecto (CE) son dibujos que constan de líneas y símbolos que representan determinada relación entre un efecto y sus causas. Su creador fue el doctor Kaoru Ishikawa en 1943 y también se le conoce como el Diagrama de Ishikawa.

Es un método gráfico para analizar los problemas (efectos) y las causas que contribuyan a ellos. Se busca de esta manera visualizar que efecto es “negativo” y así emprender las acciones necesarias para corregir las causas, generalmente por cada efecto hay muchas causas que contribuyen a producirlo.

3.6.3 Diagrama De Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis que ayuda a tomar decisiones en función de prioridades, el diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice; "El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan".

El diagrama de Pareto es un caso particular del gráfico de barras, en el que las barras que representan los factores correspondientes a una magnitud cualquiera están ordenados de mayor a menor (en orden descendente) y de izquierda a derecha.

Este principio empírico que se presenta en todos los ámbitos se aplica al análisis de problemas entendiendo que existen unos pocos factores (o causas) que originan la mayor parte de un problema.

Concretamente este tipo de diagrama, es utilizado básicamente para:

- Conocer cuál es el factor o factores más importantes en un problema.
- Determinar las causas raíz del problema.
- Decidir el objetivo de mejora y los elementos que se deben mejorar.

- Conocer se ha conseguido el efecto deseado (por comparación con los Paretos iniciales).

3.6.4 Histograma

El histograma representa de un modo gráfico la variabilidad que puede presentar una característica de calidad de donde se podrá extraer una idea de la distribución estadística que presentan los datos. A la vista del histograma se podrá comprobar si dichos datos están dentro de los límites permitidos de variación y si el valor deseado está centrado, lo que sería ideal. Su representación consiste en un gráfico de barras que recoge en el eje de abscisas la característica o variable a estudiar y en el eje de ordenadas, la frecuencia de ocurrencia. Las variables representadas pueden ser discretas o continuas, aunque en este último caso se establecen intervalos que se denominan “clases” (Quispe, 2010).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en tres aserraderos de cinta ubicados en el distrito de Manantay, ciudad de Pucallpa, Provincia de Coronel portillo, Departamento de Ucayali.

4.2 MATERIALES

4.2.1 Materia Prima

- Muestra de 100 piezas de madera aserradas de 2 pulgadas de espesor por aserradero

4.2.2 Instrumentos y Equipos

- Vernier o pie de rey electrónico
- Cinta métrica
- Computadora personal

4.2.3 Materiales De Escritorio

- Memoria USB
- Formatos de registro de datos (anexos A y B)
- Cuaderno de campo

4.2.4 Herramientas De Calidad

- Diagrama de flujo
- Diagrama de causa-efecto
- Diagrama de Pareto
- Histograma

4.3 METODOLOGÍA

4.3.1 Clasificación Y Selección De Aserraderos

Los aserraderos de cinta ubicados en la provincia de Coronel portillo, ciudad de Pucallpa se clasificaron tomando como base el primer criterio descrito por Melo y Pavón (1990); para ello se procedió a recopilar la información de la “Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre” sobre la ubicación, capacidad de producción de madera aserrada (m³) y producción en el año 2011, de los aserraderos de cinta de la zona; con ello se clasificaron los aserraderos teniendo en cuenta la capacidad de producción (m³/año).

Los aserraderos se seleccionaron mediante un muestreo por conveniencia, de acuerdo a la metodología aplicada por Meza (2000), considerando como criterios principales que los aserraderos representen el nivel tecnológico de la provincia de Coronel Portillo y sobre todo que brinden las facilidades necesarias para la realización del estudio.

4.3.2 Selección De Espesores Frecuentes

Una vez seleccionados los aserraderos de la categoría más representativa se procedió a determinar los espesores de corte más frecuentes mediante una evaluación de reconocimiento, en la cual se observaron los espesores de las piezas de madera a la salida de la línea de corte y se consultó con los trabajadores, en cada aserradero.

Se seleccionó uno de los espesores frecuentes, dos pulgadas, para la investigación teniendo como base la facilidad de manipulación de las piezas de madera, así como la menor interrupción en las labores de los trabajadores, en especial la de los apiladores.

4.3.3 Determinación Del Tamaño De Muestra

El tamaño de muestra propuesto por Bustamante (2010) y Álvarez D. et al. (2004), Es de 100 piezas de madera del mismo espesor en cada aserradero; mientras que Brown (2000) recomienda tomar una muestra de 100 a 200 piezas de madera para conseguir una buena línea base; sin embargo estos estudios y recomendaciones de los autores antes mencionados, no

muestran la obtención de estos tamaños de muestra estadísticamente, es por ello que no se encuentran referencias en cuanto a niveles de significancia, desviación estándar, ni error muestral.

En el presente trabajo se realizó un pre muestreo con la finalidad de corroborar los tamaños de muestra sugeridos por los autores; debido a que los aserraderos no contaban con un registro histórico de mediciones sobre la variación en el espesor de las tablas, se recolectó información para 15 piezas de madera; así también para el cálculo se planteó un nivel de confianza del 95% y un error muestral de 0.32 mm, lo cual se puede apreciar en el cuadro N° 7.

Las 15 piezas se tomaron días previos al muestreo, recopilando datos de 3 piezas de madera por día. No se tomaron mayor cantidad de datos para el pre muestreo por la disponibilidad reducida de tiempo a la que se pudo acceder en los aserraderos días previos al muestreo.

El tamaño de la población se consideró en base a las referencias de los trabajadores, sobre la obtención de piezas de madera de dos pulgadas (2”) que se obtienen a la semana.

El tamaño de muestra se determinó mediante el uso de la formula recomendadas por Gonzales (2006) que se presentan a continuación:

$$n = \frac{Nz^2\sigma^2}{(N-1)e^2 + Z^2\sigma^2}$$

Donde;

Z: Valor “z” (tabular, depende del nivel de significancia) σ^2 : Varianza e: Error Muestral

n = número de muestra N: tamaño de población

Una vez definido el tamaño de muestra, esta se dividió en 20 subgrupos de 5 piezas cada uno las cuales se repartieron en 4 subgrupos por día en diferentes horarios y condiciones de trabajo, con la finalidad de que los registros representen la variación del espesor que normalmente ocurre en la planta; según lo recomendado por Bustamante (2010).

4.3.4 Registro De Espesores Muestreados

El registro de espesores para el estudio se realizó siguiendo la metodología del Sistema de Muestreo en Puntos Múltiples descrita por Bustamante (2010), usando el “Formato de Registro de Variación de corte” el cual se puede visualizar en el Anexo 1.

Para ello se procedió a registrar las dimensiones del espesor en 6 puntos a lo largo de las piezas de madera de dos pulgadas de espesor, al salir de la despuntadora hasta alcanzar un número de 100 piezas por aserradero (ver Anexo 1), conforme se observa en la figura 4.

FIGURA N° 4
REGISTRÓ DE ESPESORES EN PIEZAS ASERRADAS



El registro de las dimensiones en el espesor se realizó agrupando 5 piezas de madera en cada sub grupo; las mediciones de los sub grupos se realizaron en 4 momentos del día; dos en la mañana uno iniciando el turno de trabajo (7:30 – 9:30am) y el otro antes del refrigerio(10:00 - 12:00m), y los dos últimos en la tarde uno regresando del refrigerio(1:00 – 3:00pm) y el otro antes de culminar el turno de trabajo (4:00 - 6:00pm); esto con la finalidad de obtener la mayor representatividad posible del proceso, registrando las condiciones climáticas, fecha, hora, la especie aserrada y algún hecho de importancia (cambio de sierra, problemas de energía eléctrica u otros. (Ver Anexo 2).

4.3.5 Procesamiento y Análisis De Datos

Los datos recolectados en el “Formato de Registro de Variación de corte” se procesaron de acuerdo al Método de Rangos descrito por Bustamante (2010) que considera la aplicación de las siguientes expresiones:

4.3.5.1 Espesor promedio dentro de la pieza.

Donde, X_P es el espesor promedio dentro de la pieza en mm y X_W es el espesor en el punto “w” en mm.

$$X_P = \frac{\sum X_W}{6}$$

4.3.5.2 Espesor promedio de la muestra.

Donde, X_M es el espesor promedio de la muestra en mm y X_P es el espesor promedio dentro de la pieza en mm.

$$X_M = \frac{\sum X_P}{100}$$

4.3.5.3 Rango Dentro de la Pieza.

Donde, R_P es el rango dentro de la pieza en mm, X_{W-MAX} es el espesor mayor en el punto w en mm. Y X_{W-MIN} es el espesor menor en el punto w en mm.

$$R_P = X_{W-Max} - X_{W-Min}$$

4.3.5.4 Rango promedio de la muestra.

Donde R_M es el rango promedio de la muestra en m y R_P es el rango dentro de la pieza en mm.

$$R_M = \frac{\sum R_P}{100}$$

4.3.5.5 Rango entre las piezas.

Donde R_{TW} es el rango en el punto “w” de cada subgrupo en mm y $X_{mayor-w}$ es el espesor mayor en el punto “w” d cada subgrupo en mm y $X_{menor-w}$ es el espesor menor en el punto “w” de cada subgrupo en mm.

$$R_{TW} = X_{mayor-w} - X_{menor-w}$$

4.3.5.6 Rango promedio entre las piezas de cada subgrupo.

Donde R_{TS} es el rango promedio entre las piezas de cada subgrupo en mm y R_{Tw} es el rango en el punto “w” de cada subgrupo en mm.

$$R_{TS} = \frac{\sum R_{Tw}}{6}$$

4.3.5.7 Rango promedio de la muestra entre las piezas.

Donde R_T es el rango promedio de la muestra entre las piezas en mm y R_{TS} es el rango promedio entre las piezas de cada subgrupo en mm.

Para la obtención de la desviación estándar del corte por aserrío, se utilizará el “método de los rangos” y su conversión a través de d_2 . Dicho método es el más utilizado, por ser el más simple y rápido para el cálculo de las operaciones (Duncan 1990).

$$R_T = \frac{\sum R_{TS}}{20}$$

4.3.5.8 Desviación estándar del corte por aserrío (SA).

Donde S_A es la desviación estándar del corte por aserrío en mm, S_D es la desviación estándar dentro de las piezas en mm y S_E es la desviación estándar entre las piezas en mm.

$$S_A = \sqrt{S_D^2 + S_E^2}$$

a) Desviación estándar dentro de las piezas (SD)

Donde SD es la desviación estándar dentro de las piezas en mm, R_M es el rango promedio de la muestra en mm y d_2 es el coeficiente de conversión de rango promedio, igual a 2.33.

$$S_D = \frac{R_M}{d_2}$$

b) Desviación Estándar Entre de las Piezas (SE)

Donde S_E es la desviación estándar éntrelas piezas en mm, R_T es el rango promedio de la muestra entre las piezas en mm, S_D es la desviación estándar dentro de las piezas en mm y d_2 es el coeficiente de conversión del rango promedio igual 2.33

$$S_E = \sqrt{\left(\frac{R_T}{d_2}\right)^2 - \frac{(S_D)^2}{2}}$$

Con finalidad de establecer la incidencia porcentual de la variabilidad del espesor en la variación del corte por aserrío, se calculó los porcentajes de las variancias entre piezas y dentro de piezas respecto a la variancia total del corte por aserrío.

4.3.5.9 límite superior e inferior de la variación del corte.

Donde X_M es el espesor promedio de la muestra en mm y S_A es la desviación estándar del corte por aserrío.

$$L_I = X_M - 3xS_A$$

$$L_S = X_M + 3xS_A$$

L_I : Límite inferior

L_S : Límite superior

4.3.5.10 Variación del corte aceptable u operación estadísticamente controlada.

La variación de corte es aceptable cuando se cumple lo siguiente:

Donde S_A es la desviación estándar del corte por aserrío en mm.

$$3xS_A \leq 3.05mm$$

4.3.5.11 Espesor mínimo aceptable o dimensión crítica.

Es la dimensión del espesor sin considerar la variación originada por la inexactitud del corte en el aserrío.

$$E_M = SD_{CE} + SD_{CO} + D_F$$

Donde E_M es el espesor mínimo aceptable en mm, SD_{CO} es la sobredimensión por contracción en mm, SD_{CE} es la contracción por cepillado en mm, D_F es la dimensión final del espesor en mm. La dimensión final del espesor (D_F), se refiere a la medida del espesor de la pieza seca y cepillada.

a) Sobredimensión por contracción (SD_{CO})

Con el fin de prevenir a los aserraderos de cortes que generen grandes contracciones en las piezas aserradas, se tomó en cuenta dos aspectos importantes: el predominio de la cara

tangencial en todas las piezas y la selección de la mayor contracción entre las especies evaluadas que variaron según el aserradero.

La contracción representa la dimensión del espesor que se pierde al secar la madera de un 30% (PSF) de contenido de húmeda al contenido de humedad final deseado, considerando que la contracción tangencial es la más crítica (en comparación a la radial), esta se debe emplear para la determinación de la sobre dimensión por contracción (SD_{CO}). Las formulas son recomendadas por Álvarez D. et al. (2004).

$$CT_{F\%} = \frac{CT_{Total\%}(PSF\% - F\%)}{PSF\%}$$

Donde, CT_{F%} es la contracción tangencial al porcentaje que se desea hallar, esto varía según el producto final; CT_{Total%} es la contracción tangencial promedio según la especie, PSF es el punto de saturación de las fibras (30%).

Donde, CT_{F%} es la contracción tangencial al 10%; DT_S es la dimensión del espesor cuando la madera está saturada en mm; DT_{F%} es la dimensión del espesor cuando la madera está seca antes de ser cepillada en mm.

$$CT_{F\%} = \frac{(DT_S - DT_{F\%})}{DT_S} \times 100$$

$$SD_{CO} = DT_S - DT_{F\%}$$

Donde, SD_{CO} es la sobredimensión por contracción en mm, DT_S es la dimensión del espesor cuando la madera está saturada en mm, DT_{F%} es la dimensión del espesor cuando la madera está seca antes de ser cepillada en mm.

b) La sobre dimensión por cepillado (SDCE)

Bustamante (2010) menciona que a sobre dimensión por cepillado (SD_{CE}) considera la parte del espesor que se pierde al cepillar la pieza en ambas caras y recomienda asumir como pérdida en el cepillado, entre 0.8 a 1mm por pasada en la cepilladora.

Para conocer la merma o pérdida en el espesor de una pieza de madera al ser cepillada se realizó una prueba en el Laboratorio de Manufactura de la Madera (LMM) ubicado en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina, empleando las piezas de madera almacenadas en dicho laboratorio.

Para dicha prueba, se planteó el siguiente procedimiento;

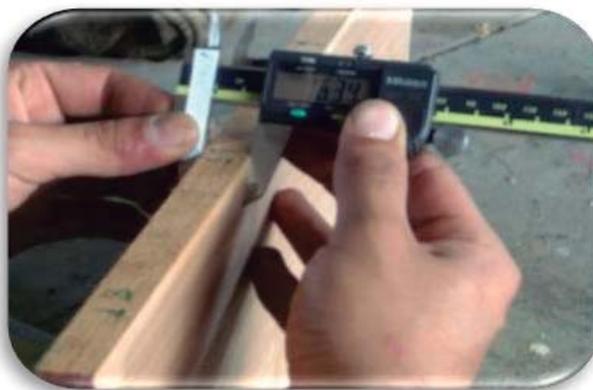
- Se realizó un pre-muestreo analizando 5 piezas de madera, con los resultados del promedio y desviación estándar se ajustó a un tamaño de muestra de 20 piezas para la población de 60 piezas de madera de 1 pulgada de espesor y de 60 cm de largo. Para el pre-muestreo se aplicó las formulas recomendadas por Gonzales (2006).
- Para medir la merma en el espesor de cada pieza de madera al pasar por la cepilladora se marcaron con un lápiz de cera 4 puntos; 2 a cada lado en la parte más larga de la pieza. Estos puntos se ubicaron a 15cm del borde.
- Se indicó con una flecha la cara inicial y dirección a cepillar en ambas caras de la pieza, como se observa en la figura5.

FIGURA N° 5
MARCADO DE PUNTOS DE MEDICIÓN, CARA INICIAL Y DIRECCIÓN DE INGRESO A LA CEPILLADORA



- Una vez señalados los puntos de medición, la cara inicial y la dirección de cepillado; se realizó la medición inicial de los espesores en los 4 puntos, conforme se puede observar en la figura 6.

FIGURA N° 6
MEDICIÓN DE ESPESORES EN LOS PUNTOS SELECCIONADOS



- Cada cara de la pieza de madera se pasó por la cepilladora tantas veces como sea necesario, hasta eliminar las irregularidades, y tener una superficie libre de la huella de la sierra. Después de cada pasada se medía los nuevos espesores en los puntos marcados, operación que se repitió para las 20 piezas de madera (ver anexo 3). En la figura 7 se puede observar a una pieza de madera durante el proceso de cepillado.

FIGURA N° 7
PIEZAS DE MADERA EN PROCESO DE CEPILLADO



- Una vez terminada la prueba se procedió a calcular la pérdida por cada pasada en los 4 puntos de medición de las 20 piezas, obteniendo con ello la pérdida promedio por pasada, para lo cual se sumaron todas las pérdidas promedio por pasada y se obtuvo el promedio por pieza. Por último se promediaron las pérdidas promedio de las 20 piezas para obtener el promedio de pérdida por cepillado.
- Adicionalmente se determinó el número de pasadas por pieza con el fin de obtener el número promedio de pasadas requeridas para limpiar la huella de la sierra.

4.3.5.12 Determinación de la dimensión óptima de corte.

Es el espesor que se puede alcanzar sin realizar ninguna medida correctiva al proceso. En las condiciones actuales del aserradero, la dimensión óptima se obtiene siendo muy cuidadosos en la realización del corte.

El espesor óptimo representa la dimensión a partir de la cual, no se producirían una cantidad excesiva de piezas, con valores inferiores al requerido.

$$D_o = S_A \times K + E_M$$

Donde D_o es la dimensión óptima del espesor en mm, S_A es la desviación estándar del corte por aserrío en mm, K equivale a 1.65 desviaciones estándar para una distribución de frecuencia normal* y E_M es el espesor mínimo aceptable en mm. La fórmula y el valor de “ K ” son usados y recomendados, también por Zavala (2003) y Galindo (2011).

**El valor de K se determinó considerando un 5% como límite permitido.*

Conforme se incrementa la variación en el corte por aserrío, la dimensión óptima del espesor debe aumentar, de tal manera que el punto más delgado en la pieza, sea por lo menos tan grueso como el espesor mínimo aceptable o dimensión crítica.

4.3.5.13 Exceso en el espesor.

Es la reducción potencial del espesor, se obtiene a través de la diferencia del valor de la media actual y la dimensión óptima requerida.

$$E_E = X_M - D_o$$

Donde E_E es el exceso en el espesor en mm, X_M es el espesor promedio de la muestra en mm y D_o es la dimensión óptima del espesor en mm.

4.3.5.14 Volumen de madera perdido por el exceso.

Se refiere al volumen de madera que se perdió debido al exceso de “pase”, “refuerzo” o sobre medida en el espesor. La pérdida ocurre por no cortar a la dimensión óptima, o con el fin de compensar la variación del corte en el aserrío.

$$V_{PE} = \frac{(E_E \times V_{PR})}{X_M}$$

Donde V_{PE} es el volumen perdido por exceso en el espesor en m^3 , E_E es exceso en el espesor en mm, V_{PR} es el volumen producido en m^3 y X_M es el espesor promedio de la muestra en mm.

Se calculó también el porcentaje de volumen de madera que se perdió debido a la sobre medida con respecto al volumen producido.

La aplicación del método de rangos permitió encontrar los valores de Dimensión óptima del espesor y Exceso en el espesor, de modo que se pudo estimar el volumen de madera perdido por el exceso en el corte.

Debido a que el país carece de una norma técnica que especifique los límites máximos de variación en el espesor, se tomó como referencia la norma técnica brasileña NBR PB 1560 emitida en 1991, verificando así los rangos obtenidos en cada pieza de madera aserrada con el límite propuesto por la esta norma.

Considerando que los tres aserraderos en estudio representan la tecnología existente en la ciudad de Pucallpa se usaron los promedios de; los espesores promedios y los excesos en el espesor obtenidos en los tres aserrados, así como la cartilla de precios y servicios forestales publicado por la “Cámara Nacional Forestal” en el año 2010 y la producción de los 58 aserraderos registrados por la “Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre” en el año 2011, para observar lo que el mercado de Pucallpa está dejando de percibir debido a que los aserraderos cortan con exceso en el espesor.

4.3.6 Elaboración De Propuestas De Acciones Correctivas Y Preventivas

La propuesta de acciones correctivas y preventivas para cada aserradero, se elaboró analizando las mermas obtenidas e identificando sus posibles causas; utilizando para ello la información de la revisión de literatura y la recopilada por las observaciones del proceso de transformación, así como la información brindada por las empresas y alguna de las herramientas de calidad como el diagrama de flujo del proceso y diagrama de causa efecto.

Este análisis permitió detectar las posibles causas de la variación de corte generadas en las empresas y así mismo proponer acciones a corto y mediano plazo para la disminución y control de esta variación.

Además se propusieron límites de control para cada aserradero, basados en los promedios de los espesores y en las desviaciones estándar del corte por aserrío S_A encontradas en cada

aserradero; siendo el límite inferior la dimensión óptima calculada para cada aserradero, puesto que este valor les permite asegurar una pieza con dimensiones comerciales sin generar excesos en el corte. Para ello se transformó los valores de los límites establecidos, en valores Z (tabla estadística) y se obtuvo las probabilidades de cortar piezas de madera de 2” de espesor por debajo y por encima de los límites. Si los aserraderos cortan dentro de estos límites, las probabilidades o porcentajes hallados significarían un número de piezas aserradas adicionales que aportarían en sus ingresos.

Los límites establecidos se transformaron en valores de Z con la fórmula propuesta por Córdova (2003) que se presenta a continuación:

$$Z = \frac{X - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde;

X: Valor de límite propuesto μ : Valor de la media S: desviación estándar del corte por aserrío
n: tamaño de muestra

4.3.7 Propuesta de un sistema de control de la variación del corte

Debido a que las causas de la variación en el corte son recurrentes en los aserraderos en estudio, se propone un sistema general de control el cual puede ser aplicado a cualquier aserradero con las características de los estudiados en la presente investigación, así mismo se puede adaptar a cualquier aserradero según sus características y necesidades.

El sistema de control está basado en las recomendaciones de algunos manuales y autores citados en la revisión bibliográfica; resalta el mantenimiento preventivo así como el uso de los límites de control y la constante actualización de la dimensión óptima, esto con el fin de realizar continuamente los ajustes a los límites de control.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE ASERRADEROS

En el año 2011 funcionaban 58 aserraderos de cinta en la provincia de Coronel Portillo según el Centro de Información de la Dirección Regional Agraria de Ucayali. En el cuadro 2 se detalla la clasificación de los 58 aserraderos de cinta, basada en el criterio de “Capacidad de producción anual” propuesto por Meza (2000).

Cuadro 2. Clasificación de los aserraderos de cinta en funcionamiento en Pucallpa para el año 2011

Categoría	Capacidad de Producción m ³ /año	Nº Aserraderos	% de aserraderos
Grande	>20000	20	34
Mediano	10000 – 20000	38	66
Pequeño	<10000	0	0
Total		58	100

FUENTE: Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre (2011)

El 66% de los aserraderos de cinta en funcionamiento en el año 2011 corresponden a la categoría “mediano”, razón por la cual fueron seleccionados para el estudio los aserraderos con capacidades de producción de 10 000 a 20 000 m³/año, de modo que sean representativos de la zona.

Se seleccionó tres aserraderos de la categoría “mediano” con capacidades de producción similares, los cuales se indican en el cuadro 3.

Cuadro 3. Aserraderos de cinta seleccionados para la investigación

Aserradero	RAZÓN SOCIAL	Capacidad de Producción(m ³ /año)
A1	ASERRADERO VÁSQUEZ S.R.L	15500
A2	MADERERA MARAÑÓN S.R.L.	13500
A3	ASERRADERO SAN ANTONIO S.C.R.L	12000

5.1.1 Caracterización De Los Aserraderos Seleccionados

El cuadro 4 resume las características de los tres aserraderos seleccionados en Pucallpa para el estudio de la variación del corte en aserrío y permite apreciar que los aserraderos seleccionados son muy similares en infraestructura, maquinaria, taller de afilado, materia prima, madera aserrada y organización; solo uno de ellos difiere en su antigüedad.

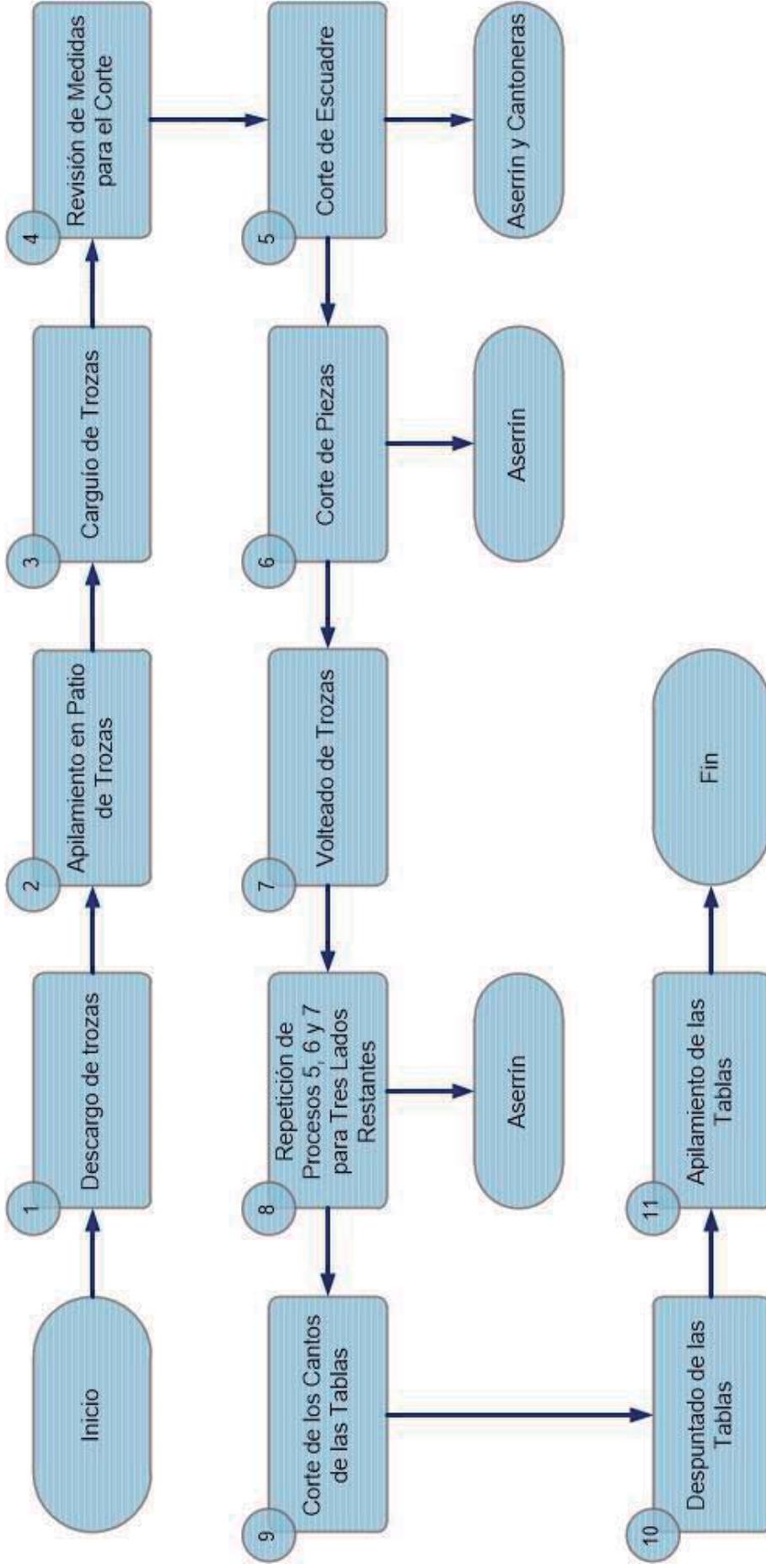
Cuadro 4. Características de tres aserraderos de Pucallpa seleccionados para la investigación

Aserradero	Aserradero 1	Aserradero 2	Aserradero 3
Ubicación	Manantay Av. Santa clara 6 años	Av. Santa clara Mayor a 30 años	Av. Santa clara Mayor a 30 años
Infraestructura	Galpón de aserrío Columnas de concreto y tijeral de metal Calaminas en buen estado Buena iluminación	Columnas de concreto y tijeral de metal Columnas de concreto y tijeral de metal Calaminas en mal estado Regular iluminación	Columnas de concreto y tijeral de metal Calaminas regular estado Mala iluminación
Maquinaria	Huinche Trocero Cargador de trozas Sierra de cinta	No tiene Huinche del carro Mendes / Ø vol. 1,50 m / 100 hp	No tiene Huinche del carro y macaco Schiffer / Ø vol. 1,50 m / 100 hp
	Carro Porta trozas	Buen estado de conservación Electro mecánico con 4 escuadras Nuevo, buen estado	Regular estado de conservación Mecánico con 4 escuadras Antiguo, regular estado
	Volteador de trozas	Huinche del carro	Huinche del carro
	Canteadora	Simple, antigua y buen estado	Simple, antigua y buen estado
	Despuntadora	Tipo péndulo	Mono riel
Taller de afilado	Nº sierras Perfil del diente	Mad duras 1, Madera blanda 3 Tipo Loro	3 usadas para ambas Tipo Loro
	Interv. Afilado	Mad Duras 1/2 hrs, Mad Blandas 2hrs	Mad Duras 1/2 hrs, Mad Blandas 2hrs
	Afilado y tensionado	30mint.	30mint.
Materia Prima	Almacenamiento	Patio	Patio
	Dureza	Sps duras y blandas	Sps duras y blandas
Madera Aserrada	Producción promedio	40m3	20m3
	Mercado	Nacional	Nacional
Organización	Duración del turno	9hrs	8hrs
	Limpieza	Sábados	Sábados en la tarde
	Mantenimiento General	Una vez al año	Una vez al año
Otros	Plataforma de trozas	De concreto y madera	De concreto y madera
	Cargador frontal	Un cargador	Alquila
	Líneas complementarias	Recuperación	Recuperación

5.1.2 Diagrama De Flujo De Los Aserraderos Seleccionados

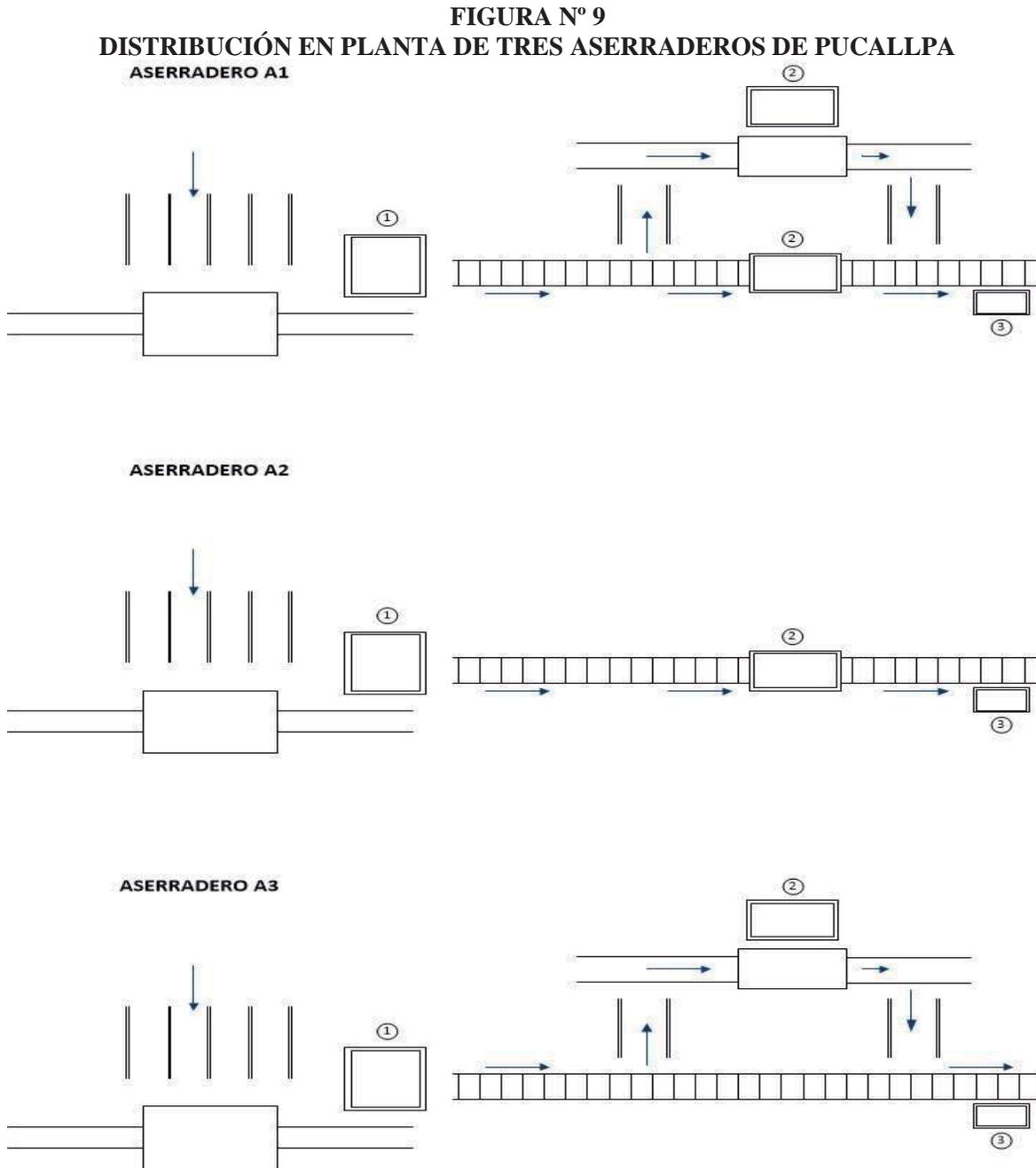
FIGURA N° 8

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ASERRÍO EL CUAL COINCIDE EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA ESTUDIADO



5.1.3 Distribución En Planta De Los Aserraderos Seleccionados

En la figura 9 se esquematiza la distribución en planta que presentan los tres aserraderos seleccionados para la investigación, observándose que sólo la línea de aserrío del aserradero A2 difiere de A1 y A3 en la ubicación de la canteadora.



Leyenda:

1 Sierra de cinta

2 Canteadora

3 Despuntadora

5.2 ESPEORES FRECUENTES DE LOS ASERRADEROS SELECCIONADOS

Los espesores frecuentes encontrados en los aserraderos seleccionados se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Espesores frecuentes en tres aserraderos de Pucallpa

Espesores frecuentes en pulgadas			
A1	2"	3"	4"
A2	2"	3"	4"
A3	2"	3"	4"

En la figura 10 se pueden observar los espesores frecuentes encontrados en el apilamiento de un pequeño lote en el aserradero A2, estos pequeños lotes son típicos en los tres aserraderos.

**FIGURA N° 10
ESPEORES FRECUENTES EN TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA**



Los tres espesores frecuentes ordenados de mayor a menor frecuencia son: 3", 4" y 2", de los cuales se seleccionó para la investigación el de menor espesor considerando que las piezas de madera son apiladas inmediatamente a la salida de la línea de corte y su manipuleo se dificulta por el gran tamaño y peso de los espesores mayores a 2", como se aprecia en la figura 11.

**FIGURA N° 11
MANIPULACIÓN DE LAS PIEZAS DE MADERA DE 4 PULGADAS**



5.3 TAMAÑO DE MUESTRA

El número mínimo de piezas de madera de 2” aserradas por día en cada aserradero seleccionado fue aproximadamente de 30 piezas, con lo cual se estimó una población de 150 piezas por aserradero considerando 5 días hábiles.

El cuadro 6 muestra la población, la unidad elemental y pre-muestra que se tomó para corroborar el número de muestra adecuado.

Cuadro 6. Población, unidad elemental y pre-muestra de la investigación

Unidad Elemental	1 pieza de madera de 2” de espesor
Población (N)	150 piezas madera de 2” de espesor
Pre- muestra	15 piezas madera de 2” de espesor

En el cuadro 7 se resumen los estadísticos obtenidos con el pre muestreo de las 15 piezas de madera.

Cuadro 7. Estadísticos obtenidos del pre-muestreo de la investigación

Espesor Promedio de las piezas de madera	53,9619
Desviación Estándar	2,76
N (Población)	150
Error (Propuesto)	0.32 mm
Nivel de Confianza	95%
Z (Tabla Estadística)	1,96

Para una población de 150 piezas en la semana corresponde una muestra de 98.0833 es decir 99 piezas de madera, la cual corrobora el tamaño de muestra de 100 piezas por

aserradero recomendado por Bustamante (2010) y que se aplicó finalmente en la presente investigación.

5.4 CALCULO DE LA SOBRE DIMENSIÓN POR CONTRACCIÓN

Las especies encontradas en el momento de realizar las mediciones de los espesores se presentan con sus respectivas contracciones en el cuadro 8.

Cuadro 8. Contracciones totales de las especies evaluadas en tres aserraderos de Pucallpa

Aserradero		A1			A2		A3	
Especie encontradas		Tornillo	Pumaquiro	Cachimbo	Huairuro	Cachimbo	Tornillo	Copaiba
*Contracción (%)	Radial	3,20	4,10	4,90	3,20	4,90	3,20	3,40
	Tangencial	6,90	8,00	7,50	6,40	7,50	6,90	7,00

FUENTE: Junta del acuerdo de Cartagena (1981)

La sobredimensión del espesor por contracción en cada aserradero se determinó aplicando a los aserraderos A1, A2 y A3 las contracciones tangenciales de 8,0%, 7,5% y 7,0%, respectivamente. Se decidió utilizar las contracciones tangenciales con el fin de prever que los aserraderos necesiten realizar cortes radiales, a pesar que durante el levantamiento de información en los aserraderos estudiados sólo predominaron los cortes tangenciales y oblicuos.

La sobredimensión debida a la contracción (SDco) de las especies maderables estudiadas en cada aserradero evaluado se detalla en el cuadro 9.

Cuadro 9. Sobredimensión del espesor por contracción en los aserraderos seleccionados

Aserradero	A1	A2	A3
CT%	8,000	7,500	7,000
CT 15%	4,000	3,750	3,500
DT15%	43,848	43,850	43,850
DTs (mm)	45,675	45,558	45,440
SDco (mm)	1,827	1,708	1,590

Debido a que la contracción en las piezas de madera aserrada depende de las especies y del tipo de corte (radial o tangencial), el valor de sobre dimensión por contracción es variable; por lo tanto el valor obtenido de SDco (mm) es referencial en cada aserradero.

En el presente estudio se consideró el mayor valor de contracción, comparando las contracciones tangenciales de cada especie aserrada mientras se realizaba el registro de espesores para el estudio.

5.5 PRUEBA DE PÉRDIDA DE MADERA POR CEPILLADO

5.5.1 Pre-Muestreo

El tamaño de muestra adecuada para una población de 60 piezas de madera de 1” de espesor y 50 cm de largo se determinó mediante un pre muestreo de la pérdida de madera por cepillado en 5 piezas, conforme se resume en el cuadro 10.

Cuadro 10. Población y pre-muestra de la prueba de pérdida de madera por cepillado

Unidad Elemental	1 pieza de madera
Población (N)	60 pieza de madera
Pre-muestra	5 piezas de madera

En el cuadro 11 se aprecia los estadísticos obtenidos del pre muestreo de las 5 piezas de madera. Considerando una población de 60 piezas de madera se obtuvo una muestra (n) de 19,7 que por redondeo simple equivale a 20 piezas de madera.

Cuadro 11. Estadísticos obtenidos del pre-muestreo de la prueba de pérdida de madera por cepillado

Promedio De Pérdida Por Cepillado	4,4680
Desviación Estándar	0,5634
N (Población)	60
Error (Propuesto)	0.2 mm
Z (Tabla Estadística)	1,96

5.5.2 Muestreo

El promedio de pérdida por pieza de madera, que representa la sobredimensión por cepillado (SDce) y los estadísticos de la prueba se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Estadísticos obtenidos del muestreo de la prueba de pérdida de madera por cepillado

N (Numero De Muestra)	20
Promedio De Pérdida Por Pieza De Madera (SDce)	3,8484
Desviación Estándar	0,7561
Coefficiente De Variación (%)	19,6475

El promedio de pérdida por cepillado en la prueba realizada se determinó con el número de pasadas por la cepilladora que se detalla en el cuadro 13. Los estadísticos de la pérdida promedio de madera por pasada se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 13. Número de pasadas obtenidas en la prueba de pérdida de madera por cepillado

N° Pasada Totales	95
N° Pasadas Promedio Por Pieza	4,7500
N° Pasadas Promedio Por Cara	2,3750

Cuadro 14. Estadísticas de la pérdida de madera por cepillado

Pérdida Promedio Por Pasada	0,8102
Desviación Estándar	0,3388
Coefficiente De Variación (%)	41,8120

5.6 VARIACION DEL CORTE EN LOS ASERRADEROS SELECCIONADOS

5.6.1 Variación Del Espesor Aserrado

En el cuadro 15 que resume los rangos de la muestra así como los espesores promedios obtenidos en los 3 aserraderos evaluados, se puede notar que el aserradero A3 presenta el mayor valor de espesor promedio de la muestra (X_M) con 56,5mm para una pieza de madera de 2" (50,8mm) de espesor.

Cuadro 15. Variación del corte en tres aserraderos de Pucallpa

		A1	A2	A3
Rango Promedio De La Muestra	R_M (mm)	4,416	4,525	4,137
Rango Promedio De La Muestra Entre Las Piezas	R_T (mm)	5,476	6,310	6,404
Espesor Promedio De La Muestra	X_M (mm)	54,199	53,888	56,501
Coefficiente De Conversión Del Rango Promedio	d_2^*	2,330	2,330	2,330
Dimensión final (2"comercial)	D_F (mm)	40,000	40,000	40,000

*Valor tomado de la metodología describa por Bustamante (2010)

5.6.2 Desviaciones Estándar En El Corte

En el cuadro 16 se observan las desviaciones estándar encontradas en el corte de 3 aserraderos, tanto dentro como entre las piezas y la desviación estándar del corte por aserrío.

Así mismo se puede comprobar que la operación de aserrío no está estadísticamente controlada en los tres aserraderos evaluados, por lo tanto la variación de corte del espesor no es aceptable.

Cuadro 16. Desviaciones estándar en el corte y variación del corte aceptable en tres aserraderos de Pucallpa

		A1	A2	A3
Desviación Estándar Dentro De Las Piezas	S_D (mm)	1,895	1,942	1,775
Desviación Estándar Entre Las Piezas	S_E (mm)	1,931	2,334	2,445
Desviación Estándar del Corte por Aserrío	S_A (mm)	2,075	3,037	3,022
Variación De Corte Aceptable ($3*S_A < 3.05$ mm)	$3*S_A$ (mm)	8,116	9,110	9,065

El aserradero A1 presenta el menor valor de desviación estándar entre las piezas, lo cual sugiere que de los tres aserraderos el carro porta-trozas de A1 está menos descalibrado, posiblemente debido a que este aserradero cuenta con la maquinaria de menor antigüedad, tal como hace referencia Zavala (1991).

El aserradero A1 es el que presenta el menor valor de desviación estándar del corte por aserrío S_A . Tomando como premisa que los tres aserraderos realizan un mantenimiento general del aserradero una vez al año; la razón por la que el aserradero A1 presenta el valor menor de S_A sea causa de que la maquinaria usada para el corte principal; sierra de cinta y

carro porta trozas, es de menor antigüedad presentando menos anomalías en su funcionamiento a comparación de los otros dos aserraderos.

El aserradero A3 presenta el menor valor de desviación estándar dentro de las piezas. Zavala (1991) señala que el S_D es un indicador de la forma como está cortando la sierra, de ahí se puede afirmar que el aserradero A3 está cortando mejor maderas blandas en comparación a los otros aserraderos, esto debido a que durante el levantamiento de información el aserradero A3 solo cortó maderas blandas a diferencia de los otros dos. Además el aserradero A3 presentan el valor mayor de S_E por lo cual posiblemente esté presentando anomalías en el carro porta-trozas.

A pesar que el aserradero A3 presenta el menor valor de S_D , el valor de S_E hace que la desviación estándar del corte por aserrío S_A sea muy elevada, debido posiblemente a la antigüedad del carro porta-trozas y al volteo brusco de éstas con el macaco que causa gran impacto en las escuadras produciendo descalibraciones.

Debido a que la desviación estándar del corte por aserrío S_A depende directamente de las desviación estándar dentro y entre las piezas, como se puede apreciar en el cuadro 17; en los tres aserraderos destaca la desviación entre las piezas S_E por su mayor influencia con sus valores más altos que los de S_D , indicando que las anomalías se atribuyen en mayor medida al carro porta-trozas.

Cuadro 17. Incidencia porcentual de la variabilidad del espesor entre piezas y dentro de piezas en la variación del corte

	A1	A2	A3
Variabilidad del espesor dentro de piezas	49,5	45,4	42,1
Variabilidad del espesor entre piezas	50,5	54,6	57,9
Variabilidad del corte por aserrío	100	100	100

5.6.3 Exceso En El Espesor Aserrado

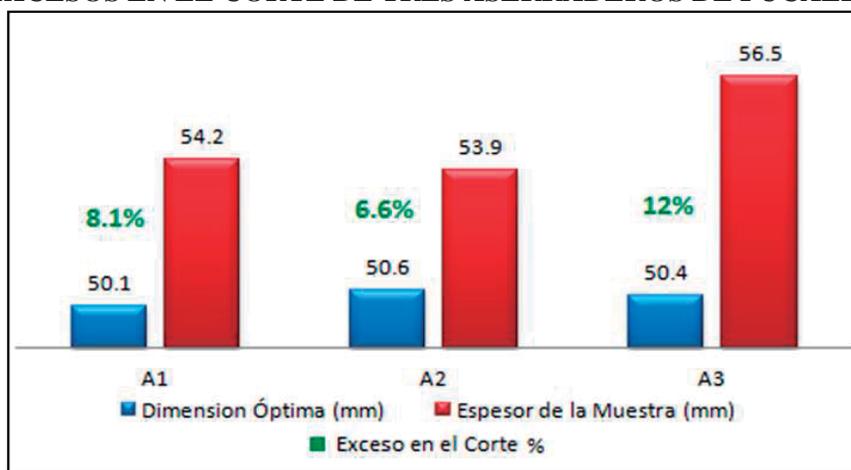
En el cuadro 18 se puede observar los valores de Espesor Mínimo Aceptable, Dimensión Óptima del Espesor y Exceso en el espesor encontrados en los tres aserraderos evaluados, destacando el aserradero A1 por su menor dimensión óptima D_O (mm) y el aserradero A2 por su menor exceso en el espesor E_E (mm).

Cuadro 18. Variación del corte en tres aserraderos de Pucallpa

		A1	A2	A3
Espesor Promedio De La Muestra	X_M (mm)	54,199	53,888	56,501
Espesor Mínimo Aceptable O Dimensión Crítica	E_M (mm)	45,675	45,558	45,440
Dimensión Óptima Del Espesor	D_O (mm)	50,139	50,569	50,426
Exceso En El Espesor	E_E (mm)	4,059	3,320	6,074
Exceso En El Espesor	E_E (%)	7,5	6,6	12,0

En la figura 12 se representa el exceso generado en el corte de los tres aserraderos seleccionados para la investigación y se visualiza mejor la dimensión promedio y la dimensión óptima de cada aserradero.

**FIGURA N° 12
EXCESOS EN EL CORTE DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA**



Debido principalmente a la desviación estándar del corte por aserrío S_A , el aserradero A1 registra la menor dimensión óptima en comparación a los otros aserraderos; es decir que en las condiciones actuales de su maquinaria el aserradero A1 tiene la capacidad de poder cortar como mínimo a 50,14mm en el espesor, incluyendo las sobre dimensiones por contracción y la pérdida en el cepillado, asegurando una dimensión final a las piezas de madera de 2" comerciales de 40mm. Sin embargo el aserradero está cortado con un exceso de 8,1% de la dimensión óptima, generando pérdidas en el volumen de madera aserrada. El aserradero A2 presenta la mayor dimensión óptima principalmente por registrar mayor desviación estándar del corte por aserrío S_A , sin embargo, también genera menor exceso en

el espesor (6,6%); es decir que está cortando más cerca de su dimensión optima y con ello reduciendo la pérdida del volumen aserrado en comparación a los otros dos aserraderos.

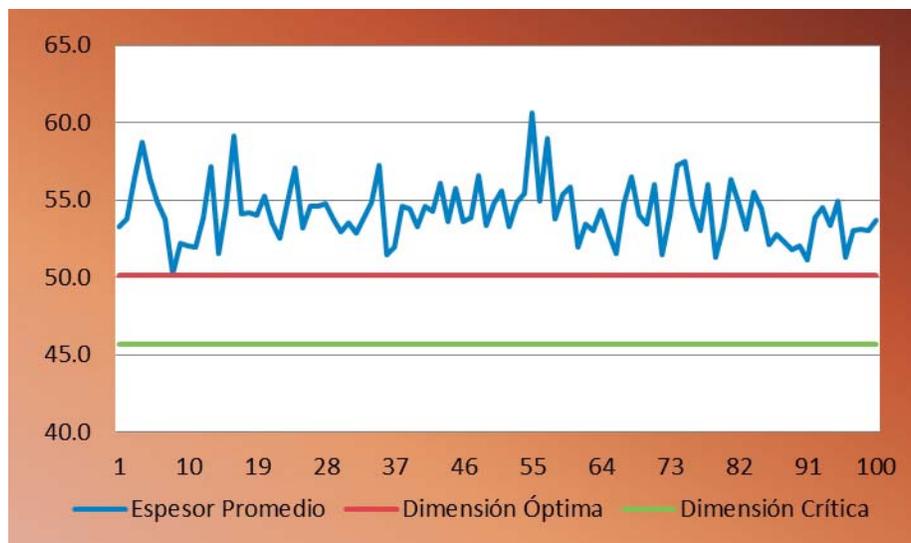
El aserradero A3 presenta el mayor exceso en el espesor debido a que está cortando en 12% más de la dimensión óptima, generando grandes pérdidas en el volumen de madera aserrada, solo por cortar en exceso.

5.6.4 Variación Del Espesor Promedio De Las Piezas Aserradas

En la figura 13 se muestra la variación del espesor promedio de las 100 piezas de madera aserrada registradas en el aserradero A1, así como su respectiva dimensión optima y dimensión critica obtenidas en la presente investigación.

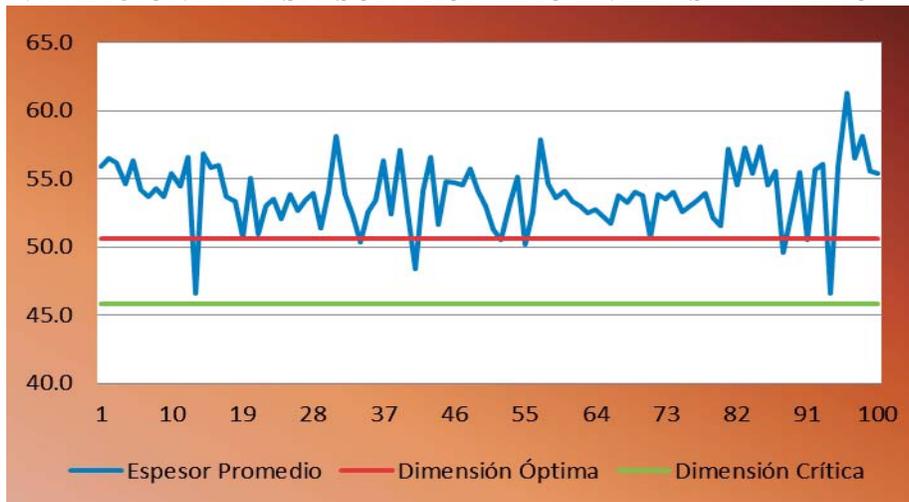
FIGURA N° 13

VARIACIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO EN EL ASERRADERO A1



En la figura 14 se muestra la variación del espesor promedio de las 100 piezas de madera aserrada registradas en el aserradero A2, así como su respectiva dimensión optima y dimensión critica obtenidas en la presente investigación.

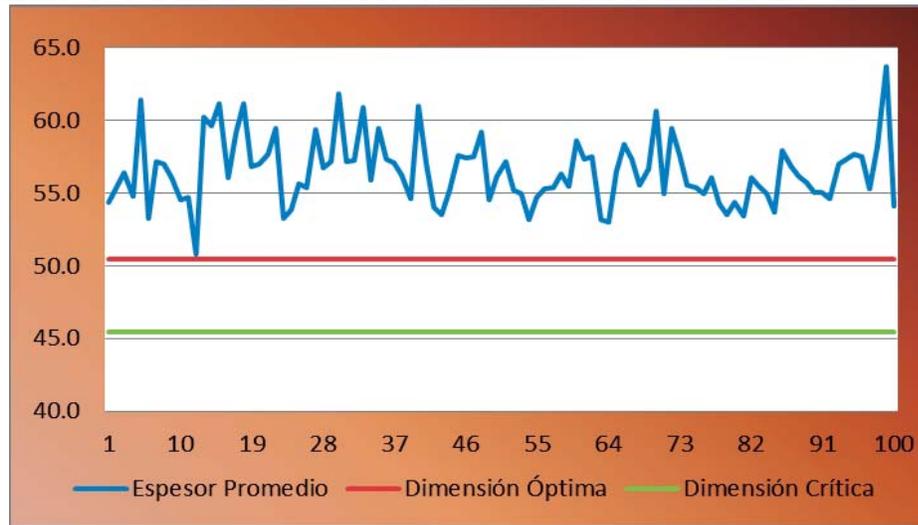
FIGURA N° 14
VARIACIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO EN EL ASERRADERO A2



El aserradero A2 registra valores por debajo de la dimensión óptima que representan el 10% de la muestra. Es necesario recalcar que estas piezas de madera no llegarán a la dimensión final de 2" comerciales (40mm), por lo que tendrán que ser usados en dimensiones menores 1 ½" o 1", representando pérdidas directas para los que comercializan la madera dimensionada, no solo por vender madera de menor espesor sino también por el costo de reproceso.

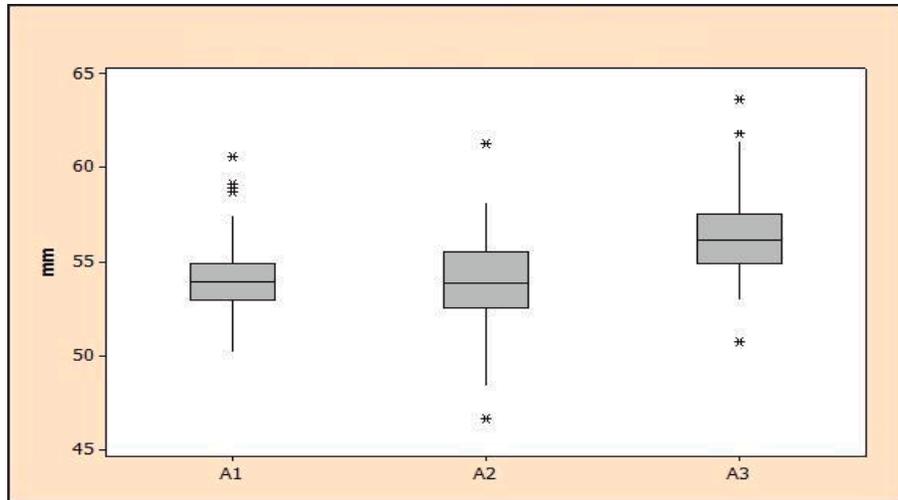
En la figura 15 se muestra la variación del espesor promedio de las 100 piezas de madera aserrada registradas en el aserradero A3, así como su respectiva dimensión óptima y dimensión crítica obtenidas en la presente investigación.

FIGURA N° 15.
VARIACIÓN DEL ESPESOR PROMEDIO EN EL ASERRADERO A3



La figura 16 permite observar la variabilidad de los espesores en los tres aserraderos, así como los espesores máximos, mínimos y los valores de espesores atípicos

FIGURA N° 16
VARIABILIDAD DE LOS ESPESORES DE LAS PIEZA ASERRADAS EVALUADAS



En la figura 16 se puede observar que el aserradero A1 presenta la menor variabilidad en los cortes que realiza en la troza, es decir, los espesores encontrados son más homogéneos en comparación a los otros dos aserraderos; esto también se encuentra justificado por el rango inter-cuartil, ya que las diferencias entre las dimensiones de la mayor con la menor pieza son menores que en los otros aserraderos.

El aserradero A2 sobresale por sus valores de espesores más bajos o mínimos, en comparación a los otros dos aserraderos, así como sus valores de mayor variabilidad. La distribución tiene asimetría positiva, es decir hay valores más separados de la media a la derecha; y los valores de espesores más dispersos están ubicados por debajo del primer cuartil.

Aunque la producción del aserradero A2 es la que más se acerca a la dimensión óptima de corte, se puede notar que la variabilidad en el espesor de corte entre las piezas todavía es mayor y presenta algunos espesores por debajo de la dimensión óptima, creando costos de reproceso en las siguientes etapas de producción.

El aserradero A3 presenta los valores de espesores más altos o máximos, en comparación a los otros dos aserraderos. La distribución tiene asimetría positiva, pero es menos pronunciada que en el aserradero A2; y los valores más dispersos están ubicados por encima del tercer cuartil. Esto se deba muy posiblemente a que de cierta forma busca no

arriesgarse, pero esto conlleva a un gasto adicional, el costo por reproceso, que a comparación de los 2 primeros es mayor.

Con respecto a la dimensión nominal de 2 pulgadas de espesor se pudo comparar los rangos de las muestras, de 100 piezas de madera aserrada, de los tres aserraderos con el límite máximo permitido según la norma técnica brasileña NBR PB 1560, logrando obtener los porcentajes de piezas aserradas que sobrepasan el límite de variación permitido por la norma, las que se pueden observar en el cuadro 19.

Cuadro 19. Porcentaje de piezas aserradas con exceso de variación en el espesor permitido

	A1	A2	A3
Porcentaje de variación mayor a 2mm	84%	89%	85%

La norma técnica brasileña señala que el límite máximo de variación en el espesor permitido es de 2mm; con ello se observa que los tres aserraderos presentan rangos de espesor mayores al permitido en un 84, 89 y 85% respectivamente.

La norma también permite como máximo un 25% de las piezas de un lote con variación en el espesor de hasta 4mm para piezas de 2 pulgadas de espesor. Tomando la muestra como un lote se puede notar que los tres aserraderos presentan porcentajes mayores a los mencionados por la norma.

Estos valores obtenidos nos muestran el exceso en el espesor con el cual están cortando los aserraderos en Pucallpa y si bien es cierto que no tenemos una norma técnica en el país que rija para todos los aserraderos, alguna empresa que hace uso del servicio de los aserraderos podría optar por usar esta norma como referencia puesto que es de gran ayuda para el uso de las piezas de madera aserradas en la transformación secundaria.

5.6.5 Pérdidas Por El Exceso En El Corte

5.6.5.1 Pérdidas en los aserraderos en estudio

Los volúmenes de madera pérdida por el exceso en el espesor en los aserraderos en estudio para el año 2011 se muestran en el cuadro 20, así como el porcentaje de pérdida respecto al volumen producido para el mismo año.

Cuadro 20. Volumen de madera perdido por exceso en el corte de tres aserraderos de Pucallpa

		A1	A2	A3
Volumen Producido En El Año 2011	V_{PR} (m³)	12250	10000	6000
Volumen De Madera Perdido Por Exceso	V_{PE} (m³)	917.5	616.1	645.1
Volumen De Madera Perdido Por Exceso	V_{PE} (Pt)	388775	261206	273506
Porcentaje De Volumen Perdido Por El Exceso	V_{PE} (%)	7	6	11

*Volumen producido en el Año 2011 según la Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre.

A pesar que el volumen producido por el aserradero A3 es considerablemente menor al del aserradero A2, el aserradero A3 ha perdido en el año 2011 mayor volumen de madera solo por cortar en exceso.

El aserradero A1 ha producido el mayor volumen de madera pero también ha perdido el mayor volumen de madera en el año 2011 por cortar en exceso, en comparación a los otros dos aserraderos.

El mayor porcentaje de volumen perdido por el exceso en el corte respecto al volumen producido es de 11% en el aserradero A3. Estos porcentajes de volumen perdido en los aserraderos pueden significar un aumento del rendimiento si es que logran cortar en la dimensión óptima.

En el cuadro 21 se muestra el costo de aserrío que ofrecen los tres aserraderos para maderas blandas y duras a aserrar, así como el importe en soles estimado como pérdida en el año 2011, asumiendo los porcentajes de maderas duras y blandas que se obtuvieron durante la evaluación.

Cuadro 21. Estimación de pérdidas por exceso en el corte de tres aserraderos de Pucallpa

		A1		A2		A3	
Costo de aserrío de madera Blanda y Dura	soles/pt	0,22	0,26	0,20	0,25	0,19	0,22
Porcentaje de madera Blanda y Dura	%	91	9	73	27	100	0
Pérdida por exceso del corte en el año 2011	soles	86930		55767		51966	

Las pérdidas estimadas para cada aserradero reflejan el dinero que dejaron de percibir en el año 2011 por cortar en exceso, puesto que si cortarían con espesores más cercanos a la dimensión óptima, tendrían mayor volumen de madera a aserrar y ello les permitiría cobrar más a sus clientes por lo tanto percibirían mayores ingresos.

Las pérdidas en soles por el exceso del corte en el año 2011 se han estimado asumiendo que los porcentajes de madera dura y blanda registrados durante la evaluación se mantienen en el año; esta consideración se optó debido a la carencia de la información respectiva. Las empresas pueden precisar este valor con su información de madera dura y blanda producida en el año 2011.

5.6.5.2 Pérdidas en la ciudad de Pucallpa

Los valores promedio del espesor de corte (X_M) y del exceso en el espesor (E_E) obtenidos en los aserraderos en estudio se muestran en el cuadro 22.

Cuadro 22. Espesores de corte promedio y exceso en el espesor de tres aserraderos de Pucallpa

	X_M (mm)	E_E (mm)
A1	54.199	4.059
A2	53.888	3.320
A3	56.501	6.074
Promedio	54.863	4.485

El volumen de madera perdido por cortar con exceso en el espesor en la región de Pucallpa para el año 2011 se muestra en el cuadro 23

Cuadro 23. Volumen de madera perdido en la zona de Pucallpa por exceso en el espesor del corte

Volumen Producido En El Año 2011	*V_{PR} (m³)	1063555
Volumen De Madera Perdido Por Exceso	V_{PE} (m³)	86936
Volumen De Madera Perdido Por Exceso	V_{PE} (Pt)	36837423

*Volumen producido en la ciudad de Pucallpa el Año 2011 según la Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre.

El volumen de madera aserrada producido en los 58 aserraderos en funcionamiento para el año 2011 en la ciudad de Pucallpa fue 1063555 m³, información obtenida por la Dirección de Información y Control Forestal y de Fauna Silvestre el cual registro la producción de ese año solo de los aserraderos que cumplieron con el pago de la autorización de funcionamiento.

El volumen de madera que se perdió en promedio en el año 2011 por cortes con exceso en el espesor fue de 86936 m³, lo que representa el 8,2% de la producción del mismo año.

El volumen de madera perdido representa un volumen de madera aserrada que se ha dejado de producir, generando una pérdida de ingresos para el mercado de madera aserrada en la ciudad de Pucallpa correspondiente al año 2011, que se muestra en el cuadro 24.

Cuadro 24. Estimación de pérdidas en la zona de Pucallpa por exceso en el corte de aserrío

Costo de madera aserrada larga angosta	soles/pt	0.6
Pérdida por exceso del corte en el año 2011	soles	22102454

Los precios de la madera aserrada varían según la calidad de la madera y la especie; para tener una referencia de lo que está perdiendo el mercado de madera aserrada de Pucallpa como mínimo por cortar en exceso, se usó el menor precio dentro de la clasificación de madera aserrada de menor calidad que fue s/0.6pt en “madera larga angosta” citada por la Cámara Nacional Forestal (2010), con lo cual se puede observar que el mercado de madera aserrada de Pucallpa para el año 2011 ha dejado de percibir más de 22 millones de soles a consecuencia de cortar con exceso en el espesor.

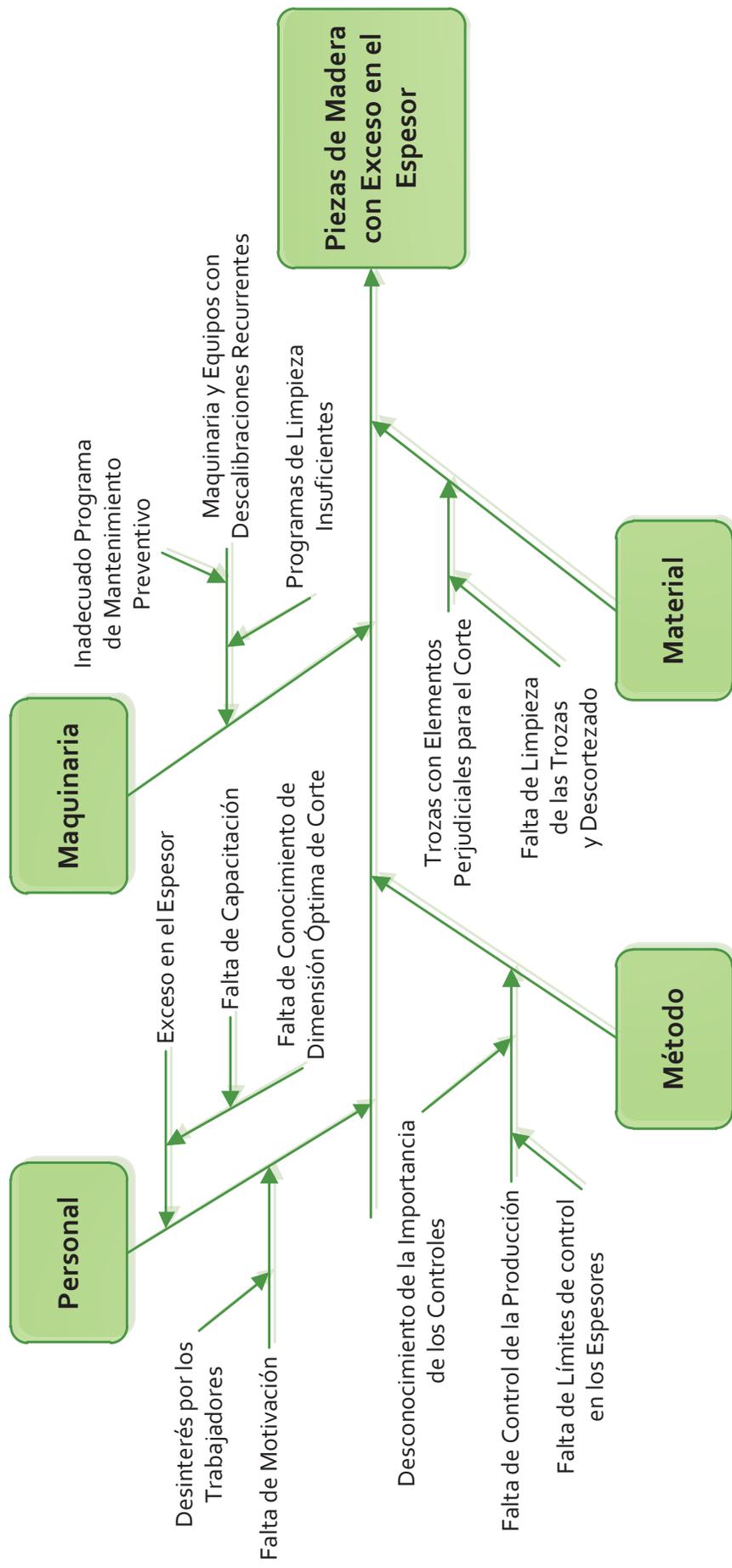
Esta pérdida en el mercado solo representa el volumen de madera aserrada que se dejó de producir, sin embargo la pérdida que se origina en el mercado es aún mayor debido a que la variación del corte en el espesor de las piezas aserradas influye en procesos posteriores de la transformación secundaria afectando la productividad y eficiencia de la industria. Estas piezas de madera descalibradas tendrán que ser sometidas a procesos de cepillado más prolongados y en algunos casos a procesos de recuperación generando mayor volumen de residuos, más desgaste en la maquinaria, más horas de trabajo del personal y por ello mayor inversión.

5.6.6 Causas Del Exceso En El Corte

Las causas que generan que las piezas de madera resulten con excesos en el corte luego de ser aserradas se muestran en la figura 17

FIGURA N° 17

DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO DEL EXCESO EN EL CORTE DE TRES ASERRADEROS DE PUCALLPA



5.7 DIAGRAMA DE PARETO

Durante el levantamiento de información se pudo observar los problemas que causan una variación excesiva en el corte por la sierra principal; debido a ello y con la finalidad de conocer cuáles de estos son los problemas principales se registró el número de veces que ocurrían y se elaboró el diagrama de Pareto, mostrando así cual es el 20% de los errores que causa el 80% de los problemas.

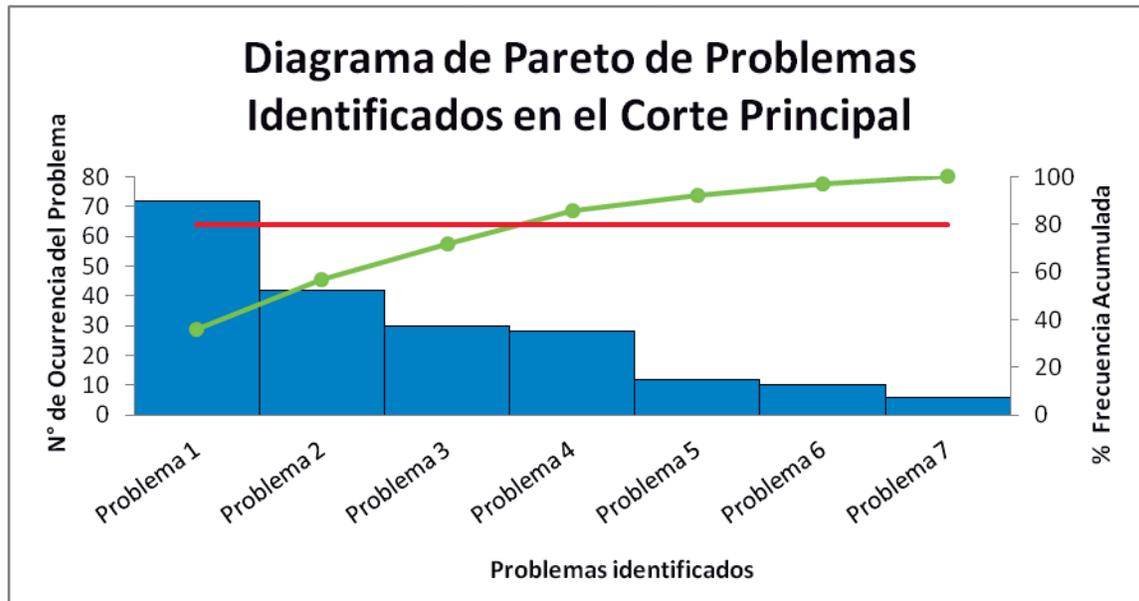
Los 7 problemas detectados durante la investigación en los aserraderos, que afectan la variación en el corte por la sierra principal y su frecuencia se muestran en el cuadro 25;

Cuadro 25. Frecuencia de problemas en la sierra Principal

N°	Problemas	Denominación	Frecuencia	%	% Acumulado
1	Volteos agresivos	Problema 1	72	36	36
2	Aserrín cubre los rieles del carro porta trozas	Problema 2	42	21	57
3	Intervalo de afilado mayor al programado	Problema 3	30	15	72
4	Cambios de velocidad de alimentación	Problema 4	28	14	86
5	Elementos extraños en la troza	Problema 5	12	6	92
6	Cambios ambientales	Problema 6	10	5	97
7	Otras Interrupciones durante el corte en la sierra principal	Problema 7	6	3	100
Total			200	100	

En base a la frecuencia de los problemas detectados durante el corte en la sierra principal se elaboró el siguiente diagrama de Pareto,

FIGURA N° 18
DIAGRAMA DE PARETO DE LOS PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN EL CORTE POR LA SIERRA PRINCIPAL



Del diagrama de Pareto obtenido se puede visualizar que los tres problemas principales son:

- Volteos agresivos
- Aserrín cubre los rieles del carro porta-trozaz
- Intervalo de afilado mayor al programado

Eliminando el 20 % de los problemas que originan una variación de corte excesivo en la sierra principal, solucionaremos el 80% de la ocurrencia de esta variación.

5.8 PROPUESTA DE ACCIONES CORRECTIVAS

El estudio de la variación del corte en aserrío permite plantear en base a las causas del exceso en el espesor evaluado, algunas acciones correctivas generales para los aserraderos y otras específicas para los problemas individuales que se detectaron.

5.8.1 Acciones Correctivas Generales

De acuerdo a las variaciones del corte observadas en los aserraderos es oportuno plantear algunas acciones correctivas:

- Tratamiento previo de las trozas, para retirar elementos extraños que dañen la maquinaria durante el corte.
- Programa de limpieza continua, con hincapié en el carro porta-trozas.
- Programa de mantenimiento preventivo, que aporte en gran medida al funcionamiento óptimo de los equipos para estandarizar la producción de volumen de madera aserrada y mantener los costos de producción (Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible 2010).
- Establecer la dimensión óptima para cada espesor comercial, así como el exceso en el espesor.
- Analizar las posibles causas de la variación en el corte que generan el exceso en el espesor, que sea factible reducirlo con el programa de mantenimiento.
- Establecer límites de corte para cada espesor comercial, mediante comprobaciones periódicas y sistemáticas de las medidas obtenidas en el aserrío, inspeccionando los espesores de la madera aserrada que se va produciendo, Cuenca (2006) y Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (2010).
- Disminuir la dimensión óptima, reduciendo las desviaciones estándar entre las piezas y dentro las piezas; esto solo se podrá lograr dependiendo de la efectividad de los programas de limpieza y mantenimiento.
- Con las nuevas dimensiones óptimas se debe establecer nuevos límites de control, mejorando la producción y aumentando el volumen de madera aserrada.

5.8.2 Acciones Correctivas Específicas

5.8.2.1 Aserradero A1

Debido a que el aserradero A1 presenta la menor desviación estándar del corte por aserrío S_A , la acción a corto plazo sería cortar lo más cerca posible a la dimensión óptima D_O , sin embargo se sabe que el corte no puede ser siempre preciso, por ello se propone los límites de control que se muestran en el cuadro 26; límite inferior, la dimensión óptima (D_O) 50,1583 mm y para el límite superior, se agregó 1,5 la desviación estándar del corte por aserrío (S_A) a la D_O , 54,2164 mm.

Cuadro 26. Límites de control propuesto para el espesor del aserradero A1

	Límites (mm)	Valor Z	Probabilidad de Cortar Fuera de los Límites (%)
Límite Inferior (D_0)	50,1583	-14,93	0,00
Límite superior	54,2164	0,07	47,21

En el cuadro 26 se puede observar que el aserradero A1 tiene la capacidad de cortar en la dimensión óptima por lo cual este porcentaje de corte fuera del límite superior que existe en este momento, podría eliminarse y significaría que el 47,21% de las piezas ya no sobre pasarían este límite, disminuyendo el promedio del espesor de las piezas de 2” y por lo tanto los excesos en el corte, generando mayor cantidad de madera posible de aserrar que repercute en mayores ingresos.

A pesar que el aserradero A1 registra la menor desviación estándar del corte por aserrío S_A , aun no logra tener una “Operación Estadísticamente Controlada”, de allí que necesita disminuir la desviación estándar del corte por aserrío S_A , así como sus componentes; la desviación estándar entre las piezas S_E y dentro de las piezas S_D . Para ello los programas de limpieza y mantenimiento son esenciales.

5.8.2.2 Aserradero A2

Si bien el aserradero A2 corta más cerca de su dimensión óptima D_0 estableciendo los límites de control, los cortes pueden ser más cercanos aún; el límite inferior es la dimensión óptima D_0 50,5687 mm y para el límite superior, se agregó una vez la desviación estándar del corte por aserrío S_A al D_0 , 53,6052m, teniendo en cuenta que el valor Z depende mucho del promedio de las piezas aserradas y como en este aserradero es menor, es necesario disminuir el límite superior para que existan beneficios. Los límites aludidos se pueden apreciar en el cuadro 27.

Cuadro 27. Límites de control propuesto para el espesor del aserradero A2

	Límites (mm)	Valor Z	Probabilidad de Cortar Fuera de los Límites (%)
Límite Inferior (D_0)	50,5687	-10,93	0,00
Límite superior	53,6052	-0,93	82,38

En el cuadro 27 se puede observar que el aserradero A2 tiene la capacidad de cortar en la dimensión óptima por lo cual este porcentaje de corte fuera del límite superior que existe en este momento, podría eliminarse y significaría que el 82,38% de las piezas aserradas ya no sobre pasarían este límite, disminuyendo el promedio del espesor de las piezas de 2” y por lo tanto los excesos en el corte, generando mayor cantidad de madera posible de aserrar que repercute en mayores ingresos

El aserradero A2 presenta la mayor desviación estándar del corte por aserrío S_A , y está muy lejos de alcanzar una “Operación Estadísticamente Controlada”, de allí que necesita disminuir la desviación estándar del corte por aserrío S_A , así como sus componentes; la desviación estándar entre las piezas S_E y dentro de las piezas S_D . Para ello los programas de limpieza y mantenimiento deben practicarse de manera frecuente, sobre todo en el carro porta trozas.

5.8.2.3 Aserradero A3

El aserradero A3 corta muy por encima a su dimensión óptima D_O , por lo que en el corto plazo debe cortar lo más cerca posible a la dimensión óptima D_O , para ello se propone los límites de control que se aprecian en el cuadro 28: límite inferior, la dimensión óptima D_O 50,4262 mm y para el límite superior, se agregó 1,5 la desviación estándar del corte por aserrío S_A al D_O , 54,9587 m.

Cuadro 28. Límites de control propuesto para el espesor del aserradero A3

	Límites (mm)	Valor Z	Probabilidad de Cortar Fuera de los Límites (%)
Límite Inferior (D_O)	50,4262	-20,10	0,00
Límite superior	54,9587	-5,10	100,00

En el cuadro 28 se puede observar que el aserradero A3 tiene la capacidad de cortar en la dimensión óptima, por lo cual este porcentaje de corte fuera del límite superior que existe en este momento, podría eliminarse y significaría que el 100% de las piezas ya no sobre pasarían este límite, disminuyendo el promedio del espesor de las piezas de 2” y por lo tanto los grandes excesos en el corte, generando mayor cantidad de madera posible de aserrar que repercute en mayores ingresos

El aserradero A3 presenta una desviación estándar del corte por aserrío S_A alta, y está lejos de tener una “Operación Estadísticamente Controlada”, de allí que necesita disminuir la desviación estándar del corte por aserrío S_A , así como sus componentes; la desviación estándar entre las piezas S_E y dentro de las piezas S_D . La disminución de S_E , requiere practicar un mantenimiento riguroso al carro porta trozas, y su vez complementar con otros equipos alternativos para el volteo de las trozas, debido a que este aserradero emplea el volteador de trozas Nigger (macaco) el cual genera gran impacto en las escuadras del carro.

5.9 PROPUESTA DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA VARIACIÓN DEL CORTE

5.9.1 Programa De Mantenimiento Preventivo

El programa de mantenimiento preventivo es de vital importancia para que el sistema de control tenga el efecto esperado, este programa debe incluir:

- Conocimiento del personal; el personal debe entender cómo utilizar, reparar y operar el equipo, y sobre todo la importancia del programa para así cumplirlo.
- Mantenimiento constante; las maquinarias y equipos deben recibir mantenimientos e inspecciones periódicas a intervalos apropiados, para ello es necesario contar con un registro por cada máquina. Este registro debe incluir anotaciones sobre reemplazos de partes, revisiones, averías u otros. El mantenimiento debe incluir también un programa de limpieza de las instalaciones, las partes de las máquinas y los diferentes equipos que pueden verse afectados por la acumulación de aserrín y diferentes restos producidos propios del aserrío.
- Programa de compras; la compra de repuestos, equipos y maquinarias se desprende del registro de cada máquina realizado en el mantenimiento, el cual será de gran utilidad para conocer el momento adecuado para adquirir los repuestos, los equipos o hasta la compra de nueva maquinaria, de tal forma que no retrase el proceso de aserrío.

Vásquez (1984) proporciona una guía de actividades periódicas para el mantenimiento de la sierra principal, la cual se puede apreciar en el cuadro 29.

Cuadro 29. Lista de actividades de mantenimiento periódico en una sierra principal

LISTA DE REVISIONES PERIÓDICAS DE MANTENIMIENTO				
Diario	Semanal		Mensual	
Afilado y recalado de dientes de sierra	Sierra	Velocidad	Cimientos de la planta	
Chumaceras del eje		Alineamiento ¹	Protecciones	
Fajas motrices		Tensionado ³	Guía de sierra (posición) ¹	
Pasadores		Mandos ¹	Esparcidor	
Sierra principal (recalado)		Espigas ²	Eje de sierra (rectitud) ^{2, 3}	
Limpieza general (desechos, etc.)	Collares de sierra ^{2, 3}		Estructura	
Protección de máquinas en su lugar	Pasadores de orejas ²		Carro	
	Ruedas del carro			Perros
	Montaje de cabezal yugo		Limpiadores de pista	
	Poleas motriz y de transmisión		Poleas	
	Pernos (ajustes)		Apuntalamientos	
	Tensión de fajas		Piñones y cadenas	
	Sujetador		Mangueras hidráulicas	
1. Se revisará después del cambio de sierra				
2. Se revisara después del montaje de sierra				
3. Se revisará después de severo recalado de la sierra				

5.9.2 Límites De Control De Las Piezas Aserradas

- Conocimiento de la dimensión óptima; a través de unas pruebas de la variación de corte para los espesores producidos con frecuencia, similar al realizado en el estudio actual, el aserradero en sus condiciones actuales podrá conocer la dimensión a la cual puede cortar.
- Establecimiento de límites de control; con el conocimiento de la dimensión óptima el aserradero puede establecer límites de control de las piezas aserradas para cada espesor comercial que produzca, de tal forma que pueda recudir el exceso del espesor de las piezas aserradas.

- Actualización de la dimensión óptima y de los límites de control; luego de un tiempo de la aplicación del programa de mantenimiento preventivo se debe de volver a realizar las pruebas de la variación de corte, puesto que si el programa ha sido aplicado adecuadamente reducirá la desviación estándar en el corte, logrando disminuir la dimensión óptima y se podrá disminuir los límites de control de las piezas aserradas, generando mayor volumen de madera aserrada e ingresos. Esta actualización debe ser periódica hasta que la dimensión óptima se mantenga casi constante.

VI. CONCLUSIONES

- En los aserraderos estudiados no se controla la variación del espesor de las piezas de madera evaluadas.
- Los aserraderos A1, A2 y A3, en el año 2011 dejaron de percibir S/. 86930; S/. 55767 y S/. 51966 por cortar las piezas de madera de 2" (pulgadas) con variaciones en el espesor no controladas y con excesos en el espesor.
- En los aserraderos estudiados se puede aumentar el rendimiento en al menos 6% cortando las piezas en su dimensión óptima para incrementar la capacidad utilizada.
- En las condiciones actuales los aserraderos en estudio aunque tienen la capacidad de cortar en la dimensión óptima sobredimensionan el espesor generando pérdidas de volumen de madera y por lo tanto pérdidas de ingresos económicos.
- Los aserraderos en estudio pueden mejorar su rendimiento implementando un sistema de control en la variación de las piezas aserradas que incluya principalmente el mantenimiento preventivo de la maquinaria y equipos de aserrío.

VII. RECOMENDACIONES

- Aplicar en los aserraderos evaluados los límites de control propuestos para disminuir la variación en el espesor y aproximarse a la dimensión óptima de corte, generando mayor volumen de madera a aserrar y mayores ingresos.
- Ejecutar estudios de variación de corte con piezas de 3" y de 4" (pulgadas) de espesor de madera aserrada debido que estos espesores son más representativos que el evaluado en el presente estudio, sin embargo se debe tener en cuenta que piezas de mayor espesor requieren de varias personas para su manipuleo puesto que pueden llegar a pesar más de 500 de kilos.
- Recabar información de los porcentajes de madera dura y blanda que se producen para obtener valores más reales de las pérdidas estimadas en soles por el exceso del corte en cada aserradero.
- Realizar un estudio de pérdida de madera por cepillado para comparar con los valores obtenidos en el presente estudio, así como para incluir algunas variables y poder comprender mejor la influencia de este proceso en el rendimiento e ingresos económicos en la industria del aserrío.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ÁLVAREZ D. et al. 2004. Importancia del Control de las Dimensiones de la Madera Aserrada. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 10(2). Río del Pinar, Cuba. Pp. 15-110.
2. ASOCIACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEÑAS. 1991. Madera Aserrada De Coníferas Provenientes De Reforestación, Para Uso General - Dimensiones Y Lotes. Río de Janeiro, Brasil. 6p.
3. BROWN, T. D. 1979. Determining lumber target sizes and monitoring sawing accuracy. Forest Product Journal. 29(4): 48-54.
4. BROWN, T. D. 1986. Lumber size control. Forestry Business. College of Forestry. Oregon State University. USA. 16 pp.
5. BROWN T.D. 2000. Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods. Oregon State, United States. 11p.
6. BROWN T.D. 2000. Lumber Size Control, Part 2: Size Analysis Considerations. Oregon State, United States. 28p.
7. BUSTAMANTE N. 2010. Guía de prácticas del Curso Aserrado de la Madera. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. Lima, Perú. 173p.
8. CARPIO, A. 2010. Manual del Curso Gestión de la Calidad Total, Ciclo Optativo de Gestión de la Calidad Total y Productividad. UNALM. Lima, Perú. 25p.
9. CONSEJO CIVIL MEXICANO PARA LA SILVICULTURA SOSTENIBLE. 2010. Manual De Buenas Prácticas En Aserraderos De Comunidades Forestales. Primera edición. México. Pp. 31-35.

10. CORDOVA, M. 2003. Estadística Descriptiva E Inferencia – Aplicaciones. Quinta Edición. Lima Perú. 495p.
11. CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA (CORMA). 2005. Manual De Buenas Prácticas De Producción Limpia De La Industria De Aserrío Y Remanufacturas De Maderas. Chile. Pp. 7-10.
12. CUENCA, R. 2006. Manual Técnico De Capacitación En Calibraciones De Los Equipos De Aserrío Y Afilado Y Mantenimiento De Sierras De Cinta Y Disco. Programa de desarrollo de políticas de comercio exterior. Perú. 190p.
13. DIRECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CONTROL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE. 2011. Registro De Plantas De Transformación Primaria. Pucallpa, Perú. 3p.
14. DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE. 2012. Perú forestal en números año 2011. 1era edición. Lima, Perú. Pág 128.
15. DUNCAN, A. J. 1990. Control de Calidad y Estadística Industrial. Ediciones Alfa omega. México. 184p.
16. ELEOTÉRIO, R., STORCK L., y LOPES S. 1996. Caracterización De Piezas De Madera Producidas En Aserraderos Para El Control De Calidad. Revista Ciencia Forestal. Pp. 89-99.
17. ESCALANTE, E. 2005. Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad. 2da Edición. Ed. Norma S.A., Colombia. Pp. 236-300.
18. FAO. 1989. Cuidado y mantenimiento de sierras. Estudios FAO Montes 58. Roma. 117 pp.
19. FLORES, V., R. 2005. Competitividad de la cadena productiva de madera aserrada en México: El caso de la región Chignahuapan – Zacatlán, Puebla. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 195 p.

20. FUNDACIÓN IBEROAMERICANA PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD (FUNDIBEQ). 2011. Herramientas para la excelencia. Diagrama de Causa efecto. Consultado el 20 de setiembre de 2011. Disponible en:
http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_causa_efecto.pdf
21. GALINDO Q., K. 2011. Variación de corte y coeficiente de aprovechamiento en madera de encino de Oxaca. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal Industrial. Universidad Autónoma Chapingo. Oxaca, México. Pág. 54.
22. GERWING J., VIDAL E., VERÍSSIMO A. 1997. Rendimiento no processamento de Madeira no estado do Pará. Tropical Forest Products, 3(1). Para, Brasil. 70-80 pp.
23. GONZALES, Ch. 2006. Técnicas De Muestreo II “Determinación del Tamaño de muestra”. Apuntes de clase. Departamento de Estadísticas e Informática. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
24. GOREU. 2004. Diagnóstico de Recursos Naturales de la Región Ucayali. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente GRNGMA. Pucallpa, Perú. 278 p.
25. HARRINGTON, H., J. 1997. Administración Total del Mejoramiento Continuo. Editorial Mc. Graw Hill Inc. México. 506 p.
26. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAJENA. 1984. Tablas De Propiedades Físicas Y Mecánicas De La Madera De 20 Especies Del Perú. Lima – Perú. Pág. 52.
27. MELO, H., R. y PAVÓN H., M. 1990. Estudio de Aprovechamiento de Madera Aserrada y Variabilidad de Corte en Aserraderos de Pino Radiata. Instituto Forestal (INFOR). Corporación de Fomento de la Producción. Informe Técnico N° 121. Concepción, Chile. 162p.

28. MEZA A, R. 2000. Análisis de productividad costos de aserrío en tres aserraderos de la zona de Pucallpa. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. Pág. 79.
29. PAIRÁN O, R. 2004. Evaluación del proceso de aserrío en quercus laeta de la región de El Salto, Durango. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Forestal. Instituto Tecnológico Forestal N° 1. Durango, México. Pág. 75
30. PROMAMAZONIA 2011. Madera con valor agregado, Descripción de la cadena productiva y flujo del producto. Consultado el 10 de setiembre de 2011. Disponible en: <http://www.promamazonia.org.pe/SBiocomercio/LineaProductivaItem.aspx?temaFichaId=124>
31. QUISPE, G., J. 2010. Guía de Control Estadístico de Procesos. Teoría. Lima, Perú. Pp 5-15.
32. RAMOS, N., I. 2006. Selección de sierras banda para el aserrío de encino en el estado de Chihuahua. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 44p.
33. SANCHEZ, R., L. 2006. La variación de corte en madera aserrada en cinco aserraderos del sector social en México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 106p.
34. TUSET, R. y DURÁN, F. 2007. Manual De Maderas Comerciales, Equipos Y Procesos De Utilización – Aserrado De Maderas. Volumen I. Editorial Hemisferio sur. segunda edición. Uruguay. 370p.
35. ULIN, H., A. 1992. Plan óptimo de Producción en aserraderos en el Estado de México (Caso Zinacantepec). Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 103p.

36. VÁSQUEZ, A., W. 1984. Supervisión Y Mantenimiento De Aserraderos. Trad. Del inglés CEDINFOR. Lima, Perú. 23p.
37. ZAVALA, CH., F. 1995. Encinos y robles, notas fitogeografías. División de Ciencias Forestales. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México. 44p.
38. ZAVALA, D. 1981. Análisis of the sawmilling practices in the State of Durango, Mexico. Master Theses. British Columbia University. Vancouver, Canadá. 91 pp.
39. ZAVALA Z., D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo académico No. 44. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 50 p.
40. ZAVALA, Z., D. 1992. Control de refuerzos y su efecto en el coeficiente de aserrío. En memoria de la Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. Centro de Investigación de la Región Centro. Puebla, México. Pp 373 – 382.
41. ZAVALA, Z., D. 1994. Control de calidad en la industria de aserrío y su repercusión económica. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Boletín Técnico N° 115. Coyoacán, México. 48p.
42. ZAVALA, Z., D. 2003. Efecto del sistema de aserrío tradicional y radial en las características de la madera de encinos. Revista Madera y Bosques. México. Pp29-39.

ANEXO 2. FORMATO DE REGISTRO DE OBSERVACIONES POR SUB GRUPOS

Observaciones Por Subgrupo			
Nombre del Aserradero			
Fecha			
Condiciones Climáticas			
Hora Inicio		Hora Termino	
Subgrupo		Especies (Nombre Científico)	
cambios de sierra		Tipo se sierra	Hora
Paradas		Motivo	Duración

ANEXO 3. FORMATO DE REGISTRO DE PÉRDIDA POR CEPILLADO

N° Pieza	Cara	N° Pasadas	Puntos de medición			
			1	2	3	4
	Medición Inicial					
	Medición Inicial					

ANEXO 4. BASE DE DATOS DE VARIACIÓN DE CORTE EN EL ASERRADERO A1

A1											
PIEZA	ESPECIE	SUB GRUPO	PUNTOS DE OBSERVACIÓN (mm)						Rts	DENTRO DE LA PIEZA	
			W1	W2	W3	W4	W5	W6		Xp	Rp
1	Tornillo	1	49.56	47.59	52.93	54.53	58.22	56.63	7.255	53.2433	10.63
2	Tornillo		50.91	51.31	54.89	54.2	55.84	55.62		53.7950	4.93
3	Tornillo		54.19	54.21	57.69	57.25	57.44	57.59		56.3950	3.5
4	Tornillo		63.04	63.03	59.16	56.76	55.23	55.25		58.7450	7.81
5	Tornillo		55.52	56.62	55.77	56.76	56.26	57.5		56.4050	1.98
Rtw			13.48	15.44	6.23	3.05	2.99	2.34			
6	Tornillo	2	54.56	53.01	55.8	55.19	54.98	55.74	5.338	54.8800	2.79
7	Tornillo		52.74	53.31	54.38	55.13	53.54	53.52		53.7700	2.39
8	Tornillo		48.51	47.91	50.71	49.73	53.19	51.31		50.2267	5.28
9	Tornillo		53.04	53.66	52.33	53.24	50.83	50.21		52.2183	3.45
10	Tornillo		52.21	51.84	52.28	52.82	51.72	51.32		52.0317	1.5
Rtw			6.05	5.75	5.09	5.46	4.15	5.53			
11	Tornillo	3	47.7	48.25	53.18	54.38	55	53.04	7.122	51.9250	7.3
12	Tornillo		55.4	55.99	52.38	51.78	51.04	56.31		53.8167	5.27
13	Tornillo		58.51	56.37	56.94	56.48	57.88	56.92		57.1833	2.14
14	Tornillo		47.32	50.13	50.91	52.54	53.3	55.3		51.5833	7.98
15	Tornillo		57.69	56.03	53.92	56.39	52.28	51.07		54.5633	6.62
Rtw			11.19	8.12	6.03	4.7	6.84	5.85			
16	Tornillo	4	58.79	58.46	59.09	57.49	63.27	57.64	6.372	59.1233	5.78
17	Tornillo		54.11	53.63	53.65	54.1	57.51	51.74		54.1233	5.77
18	Tornillo		55.19	55.22	52.7	54.08	54.88	53.24		54.2183	2.52
19	Tornillo		56.55	54.19	55.08	54.27	51.97	52		54.0100	4.58
20	Tornillo		53.01	53.01	55.49	55.27	57.83	57.06		55.2783	4.82
Rtw			5.78	5.45	6.39	3.41	11.3	5.9			
21	Tornillo	5	54.27	54.29	55.75	55.12	51.18	50.6	6.877	53.5350	5.15
22	Tornillo		51.09	51.12	52.59	53.4	53.33	53.53		52.5100	2.44
23	Tornillo		52.36	51.05	62.08	51.35	55.44	56.65		54.8217	11.03
24	Tornillo		57.72	58.25	57.98	57.42	55.76	55.46		57.0983	2.79
25	Tornillo		55.66	54.8	54.27	53.77	50.08	50.46		53.1733	5.58
Rtw			6.63	7.2	9.49	6.07	5.68	6.19			
26	Pumaquiro	6	53.7	54.09	54.22	54.64	55.4	55.73	4.697	54.6300	2.03
27	Pumaquiro		52.2	65.75	52.83	52.71	52.27	52.04		54.6333	13.71
28	Tornillo		53.7	52.67	56.27	54.04	55.7	56.07		54.7417	3.6
29	Tornillo		54.02	54.04	53.73	53.42	53.52	53.77		53.7500	0.62
30	Tornillo		52.2	52.22	53.25	53.52	53.7	52.76		52.9417	1.5
Rtw			1.82	13.53	3.44	1.93	3.43	4.03			

31	Tornillo	7	54.44	54.49	51.6	52.06	54.4	54.27	5.468	53.5433	2.89
32	Tornillo		52.99	53.79	53.56	52.88	52.01	52.09		52.8867	1.78
33	Pumaquiro		54.53	53.33	54.96	53.25	53.18	53.83		53.8467	1.78
34	Pumaquiro		54.26	54.2	56.13	53.3	54.64	56.55		54.8467	3.25
35	Pumaquiro		56.34	56.65	60.03	59.49	57.83	53.17		57.2517	6.86
Rtw			3.35	3.32	8.43	7.43	5.82	4.46			
36	Tornillo	8	49.81	50.36	52.24	52.22	52.14	52.19	4.558	51.4933	2.43
37	Tornillo		50.65	49.96	53.22	52.33	52.15	53.29		51.9333	3.33
38	Tornillo		52.75	51.81	54.59	55.53	53.34	59.43		54.5750	7.62
39	Tornillo		56.18	55.03	52.67	52.37	55.15	55.04		54.4067	3.81
40	Tornillo		52.92	53.84	52.89	53.17	53.36	53.42		53.2667	0.95
Rtw			6.37	5.07	2.35	3.31	3.01	7.24			
41	Pumaquiro	9	52.3	59.4	53.55	53.66	54.86	54.02	3.822	54.6317	7.1
42	Tornillo		54.66	53.6	53.92	54.44	54.26	54.64		54.2533	1.06
43	Pumaquiro		57.82	58.77	56.41	54.42	54.66	54.34		56.0700	4.43
44	Pumaquiro		52.65	52.9	54.47	52.97	53.9	54.68		53.5950	2.03
45	Pumaquiro		55.21	54.61	55.57	55.01	57.13	56.8		55.7217	2.52
Rtw			5.52	6.5	2.86	2.04	3.23	2.78			
46	Tornillo	10	52.87	52.82	51.71	52.15	56.07	56.13	4.357	53.6250	4.42
47	Tornillo		53.67	54.34	53.31	54.47	53.35	53.85		53.8317	1.16
48	Tornillo		58.5	58.44	57	55.72	54.78	54.94		56.5633	3.72
49	Tornillo		53.17	53.37	53.53	53.41	53.68	52.82		53.3300	0.86
50	Tornillo		54.51	53.07	55.46	55.53	54.46	55.38		54.7350	2.46
Rtw			5.63	5.62	5.29	3.57	2.72	3.31			
51	Cachimbo	11	53.32	55.93	56.6	58.47	55.02	54.13	7.848	55.5783	5.15
52	Cachimbo		53.18	52.79	53.35	52.03	54.39	54.12		53.3100	2.36
53	Cachimbo		53.92	53	58.11	53.33	53.78	56.85		54.8317	5.11
54	Cachimbo		50.98	54.76	53.21	58.01	57.21	58.4		55.4283	7.42
55	Cachimbo		61.5	63.35	61.17	61.96	57.62	58.01		60.6017	5.73
Rtw			10.52	10.56	7.96	9.93	3.84	4.28			
56	Cachimbo	12	55.07	55.65	55.58	55.67	53.34	54.07	5.827	54.8967	2.33
57	Cachimbo		60.35	59.47	59.13	53.81	60.14	60.82		58.9533	7.01
58	Cachimbo		53.85	53.88	55.05	53.27	53.48	53.09		53.7700	1.96
59	Cachimbo		57.13	57.71	55.01	56.61	52.46	53.09		55.3350	5.25
60	Cachimbo		55.3	55.56	55.29	56.42	56.47	56.18		55.8700	1.18
Rtw			6.5	5.59	4.12	3.34	7.68	7.73			
61	Cachimbo	13	46.67	53.37	53.29	54.06	52.73	51.6	5.827	51.9533	7.39
62	Cachimbo		52.8	52.81	52.45	51.84	56.15	54.8		53.4750	4.31
63	Cachimbo		53.24	53.3	53.03	53.51	52.2	52.81		53.0150	1.31
64	Cachimbo		53.01	54.53	52.61	53.03	58.01	55.18		54.3950	5.4
65	Cachimbo		52.77	53.16	51.65	53.3	54.66	51.6		52.8567	3.06

Rtw			6.57	1.72	1.64	2.22	5.81	3.58	3.590		
66	Cachimbo	14	54.93	50.71	54.28	53.24	43.44	52.83	6.377	51.5717	11.49
67	Cachimbo		54.35	54.87	52.93	52.83	56.04	57.58		54.7667	4.75
68	Cachimbo		54.13	55.08	57.95	57.68	56.71	57.46		56.5017	3.82
69	Cachimbo		52.66	53.46	52.3	52.62	58.89	54.35		54.0467	6.59
70	Cachimbo		54.49	50	54.79	54.03	53.56	53.98		53.4750	4.79
Rtw			2.27	5.08	5.65	5.06	15.45	4.75	6.377		
71	Cachimbo	15	56.32	56.02	60.02	56.08	53.52	53.98	7.868	55.9900	6.5
72	Cachimbo		52.29	48.43	48.02	56.55	51.88	51.38		51.4250	8.53
73	Cachimbo		53.35	53.06	56.4	54.87	50.4	55.81		53.9817	6
74	Cachimbo		58.22	58.76	56.28	54.23	57.75	58.38		57.2700	4.53
75	Cachimbo		58.87	59.01	56.93	57.93	55.99	56.04		57.4617	3.02
Rtw			6.58	10.58	12	3.7	7.35	7	7.868		
76	Tornillo	16	54.28	54.31	55.75	56.72	53.31	53.13	5.815	54.5833	3.59
77	Tornillo		51.72	51.59	52.25	53.42	54.13	54.91		53.0033	3.32
78	Tornillo		57.81	58.71	56.43	56.46	54.81	51.63		55.9750	7.08
79	Cachimbo		53.05	53.71	51.73	49.09	49.97	50.4		51.3250	4.62
80	Cachimbo		55.4	54.49	53.1	52.5	51.59	51.99		53.1783	3.81
Rtw			6.09	7.12	4.7	7.63	4.84	4.51	5.815		
81	Cachimbo	17	56.22	56.19	55.7	55.67	57.72	56.77	4.370	56.3783	2.05
82	Cachimbo		56.37	56.48	54.6	54.97	53.26	53.45		54.8550	3.22
83	Cachimbo		53.72	53.92	54.87	51.3	52.22	52.65		53.1133	3.57
84	Cachimbo		53.37	51.33	55.33	55.71	59.07	58.36		55.5283	7.74
85	Cachimbo		55.56	54.11	54.82	55.1	52.87	54.15		54.4350	2.69
Rtw			3	5.15	1.1	4.41	6.85	5.71	4.370		
86	Cachimbo	18	53.07	52.74	52.81	53.15	50.32	50.82	2.485	52.1517	2.83
87	Cachimbo		52.8	53.13	53.42	53.12	52.69	51.61		52.7950	1.81
88	Cachimbo		51.52	51.72	52.01	52.94	52.03	53.37		52.2650	1.85
89	Cachimbo		50.19	50.71	52.48	51.46	53.09	52.59		51.7533	2.9
90	Cachimbo		52.98	53.15	50.84	52.58	50.99	51.91		52.0750	2.31
Rtw			2.88	2.44	2.58	1.69	2.77	2.55	2.485		
91	Cachimbo	19	49.57	50.39	49.92	53.71	51.63	51.66	5.225	51.1467	4.14
92	Cachimbo		54.38	55.01	53.04	55.94	50.53	54.43		53.8883	5.41
93	Cachimbo		55.55	51.07	56.19	56.91	52.7	54.59		54.5017	5.84
94	Cachimbo		50.04	53.24	56.36	52.32	53.64	54.44		53.3400	6.32
95	Cachimbo		52.04	53.58	58.39	57.09	52.41	56.06		54.9283	6.35
Rtw			5.98	4.62	8.47	4.77	3.11	4.4	5.225		
96	Cachimbo	20	51.63	51.84	50.53	53.94	49.5	50.32	6.377	51.2933	4.44
97	Cachimbo		53.09	52.99	53.94	53.3	52.57	52.09		52.9967	1.85
98	Tornillo		55.65	55.17	54.87	55.58	49.76	47.57		53.1000	8.08
99	Tornillo		55.42	52.59	56.58	54.37	49.58	49.76		53.0500	7

100	Cachimbo		54.75	56.02	53.13	52.9	52.19	53.05		53.6733	3.83
Rtw			4.02	4.18	6.05	2.68	3.07	5.48	4.247		
VALORES PROMEDIOS									5.4758	54.1987	4.4159

ANEXO 5. BASE DE DATOS DE VARIACIÓN DE CORTE EN EL ASERRADERO A2

A2											
PIEZA	ESPECIE	SUB GRUPO	PUNTOS DE OBSERVACIÓN (mm)						Rts	DENTRO DE LA PIEZA	
			W1	W2	W3	W4	W5	W6		Xp	Rp
1	Huayruro	1	58.49	58.45	56.83	55.25	52.32	53.86	4.535	55.8667	6.17
2	Huayruro		59.23	58.79	58.2	50.14	55.81	56.79		56.4933	9.09
3	Cachimbo		57.02	58.03	55.59	56.02	55.55	54.85		56.1767	3.18
4	Cachimbo		56.11	55.12	54.39	54.53	53.66	53.72		54.5883	2.45
5	Cachimbo		56.55	56.04	54.33	54.54	57.49	59.22		56.3617	4.89
Rtw			3.12	3.67	3.87	5.88	5.17	5.5			
6	Cachimbo	2	55.66	56.16	53.37	53.23	53.06	53.55	2.745	54.1717	3.1
7	Cachimbo		53.03	54.01	54.75	55.74	52.69	52.11		53.7217	3.63
8	Cachimbo		55.55	55.83	54.09	53.64	53.14	53.58		54.3050	2.69
9	Cachimbo		53.16	53.01	54.32	53.11	54.08	54.53		53.7017	1.52
10	Cachimbo		55.23	55.26	55.69	56.29	54.4	55.59		55.4100	1.89
Rtw			2.63	3.15	2.32	3.18	1.71	3.48			
11	Cachimbo	3	54.04	53.71	54.72	54.23	55.27	54.96	11.515	54.4883	1.56
12	Cachimbo		54.61	54.83	55.18	56.11	59.93	58.84		56.5833	5.32
13	Cachimbo		46.09	47.52	47.52	47.03	45.95	45.65		46.6267	1.87
14	Cachimbo		57.92	54.37	57.18	57.87	56.65	57.22		56.8683	3.55
15	Cachimbo		56.9	57.11	56.38	55.55	53.66	55.31		55.8183	3.45
Rtw			11.83	9.59	9.66	10.84	13.98	13.19			
16	Cachimbo	4	57.12	56.11	56.9	55.5	53.98	56.11	6.707	55.9533	3.14
17	Cachimbo		52.55	52.86	53.28	53.12	56.38	53.85		53.6733	3.83
18	Cachimbo		51.8	56.86	53.21	51.78	52.81	53.36		53.3033	5.08
19	Cachimbo		53.41	53.87	50.27	52.34	46.86	47.48		50.7050	7.01
20	Cachimbo		55.03	53.26	55.1	57.92	54.81	54.34		55.0767	4.66
Rtw			5.32	4	6.63	6.14	9.52	8.63			
21	Cachimbo	5	45.03	47.41	52.17	50.4	55.62	55.01	5.278	50.9400	10.59
22	Cachimbo		51.99	51.35	53.26	53.53	54.06	53.81		53.0000	2.71
23	Cachimbo		52.61	52.64	54.11	53.93	53.81	54.19		53.5483	1.58
24	Cachimbo		52.48	51.03	52.31	53.02	50.89	52.67		52.0667	2.13
25	Cachimbo		54.2	54.58	55.54	54.66	52.15	52.04		53.8617	3.5
Rtw			9.17	7.17	3.37	4.26	4.73	2.97			
26	Cachimbo	6	51.4	52.03	51.84	51.84	55.71	53.02		52.6400	4.31
27	Cachimbo		52.06	52.44	54.22	53.51	54.04	54.25		53.4200	2.19
28	Cachimbo		52.14	52.51	54.15	54.76	54.23	56.07		53.9767	3.93

29	Cachimbo		49.15	49.15	51.35	51.27	53.61	53.56		51.3483	4.46
30	Cachimbo		55.56	55.9	54.57	54.43	51.84	51.98		54.0467	4.06
Rtw			6.41	6.75	3.22	3.49	3.87	4.09	4.638		
31	Cachimbo	7	59.29	59.11	60.21	59.33	52.18	58.49		58.1017	8.03
32	Cachimbo		52.87	53.23	53.77	53.03	55.47	54.93		53.8833	2.6
33	Cachimbo		59.58	52.72	50.83	49.4	50.44	50.7		52.2783	10.18
34	Cachimbo		50.79	51.55	49.05	50.52	49.96	50.43		50.3833	2.5
35	Cachimbo		53.3	53.13	54.1	53.89	50.52	50.62		52.5933	3.58
Rtw			8.79	7.56	11.16	9.93	5.51	8.06	8.502		
36	Cachimbo	8	50.18	52.56	51.09	54.72	54.96	57.26		53.4617	7.08
37	Cachimbo		59.33	59.2	55.23	56.81	56.07	51.2		56.3067	8.13
38	Cachimbo		52.96	53.23	53.81	53.29	50.32	50.87		52.4133	3.49
39	Cachimbo		58.45	57.95	56.9	57.04	56.71	55.41		57.0767	3.04
40	Cachimbo		55.25	54.36	52.66	49.81	52.18	51.09		52.5583	5.44
Rtw			9.15	6.64	5.81	7.23	6.39	6.39	6.935		
41	Cachimbo	9	47.35	47.2	47.95	49.77	47.15	50.93		48.3917	3.78
42	Cachimbo		53.03	53.35	54.34	56.72	53.23	54.19		54.1433	3.69
43	Cachimbo		58.95	59.62	58.35	54.23	54.13	54.05		56.5550	5.57
44	Cachimbo		52.41	51.97	53.86	53.68	49.33	48.69		51.6567	5.17
45	Cachimbo		55.8	53.63	55.12	54.12	54.17	56.09		54.8217	2.46
Rtw			11.6	12.42	10.4	6.95	7.02	7.4	9.298		
46	Cachimbo	10	56.11	52.33	53.55	55.23	54.89	56.26		54.7283	3.93
47	Cachimbo		59.48	52.36	57.75	52.32	52.72	52.39		54.5033	7.16
48	Cachimbo		50.7	57.11	57.16	57.02	56.17	56.23		55.7317	6.46
49	Cachimbo		54.53	53.89	56.52	56.25	52.39	51.07		54.1083	5.45
50	Cachimbo		52.18	51.85	52.39	53.11	54.28	54.24		53.0083	2.43
Rtw			8.78	5.26	5.36	4.7	3.78	5.19	5.512		
51	Cachimbo	11	51.65	51.59	51.39	51.17	50.82	51.21		51.3050	0.83
52	Cachimbo		48.07	48.14	51.32	50.87	52.12	52.47		50.4983	4.4
53	Cachimbo		49.32	49.21	56.16	56.73	53.53	53.99		53.1567	7.52
54	Cachimbo		54.81	54.19	56.72	57.03	54.27	53.82		55.1400	3.21
55	Cachimbo		50.66	49.18	51.16	50.25	49.43	50.25		50.1550	1.98
Rtw			6.74	6.05	5.56	6.78	4.84	3.74	5.618		
56	Cachimbo	12	54.87	55.76	52.28	52.21	49.84	50.22		52.5300	5.92
57	Cachimbo		60.38	57.42	58.27	57.29	57.6	56.24		57.8667	4.14
58	Cachimbo		57.4	57.14	54.12	50.97	54.33	53.76		54.6200	6.43
59	Cachimbo		52.64	53.27	53.9	53.51	56.54	51.61		53.5783	4.93
60	Cachimbo		52.52	52.15	53.58	54.09	56.32	55.88		54.0900	4.17
Rtw			7.86	5.27	5.99	6.32	7.76	6.02	6.537		
61	Cachimbo	13	52.84	53.41	54.99	54.73	52.45	51.52		53.3233	3.47
62	Cachimbo		52.25	52.63	54.3	54.9	51.43	52.59		53.0167	3.47

63	Cachimbo		52.41	52.34	53.63	51.3	50.99	54.48		52.5250	3.49
64	Cachimbo		51.01	54.54	54.44	51.02	52.53	53.1		52.7733	3.53
65	Cachimbo		51.2	50.63	53.94	53.16	51.46	52.86		52.2083	3.31
Rtw			1.83	3.91	1.36	3.88	1.54	2.96	2.580		
66	Cachimbo	14	49.07	48.4	50.47	51.17	55.55	55.85		51.7517	7.45
67	Cachimbo		53.26	58.64	52.72	50.91	53.88	52.99		53.7333	7.73
68	Cachimbo		48.01	58.6	54	52.78	52.93	53.18		53.2500	10.59
69	Cachimbo		54.45	52.43	54.64	54.35	53.62	54.69		54.0300	2.26
70	Cachimbo		53.03	53.53	55.05	54.9	55.15	51.12		53.7967	4.03
Rtw			6.44	10.24	4.58	3.99	2.62	4.73	5.433		
71	Cachimbo	15	45.53	46.57	51.75	52.16	53.58	54.41		50.6667	8.88
72	Cachimbo		48.91	59.56	52.92	52.53	54.02	55.23		53.8617	10.65
73	Cachimbo		50.27	50.11	53.74	55.8	55.64	55.43		53.4983	5.69
74	Cachimbo		52.97	53.13	55.1	55.56	53.73	53.83		54.0533	2.59
75	Cachimbo		50.64	50.41	53.15	54.22	53.14	53.62		52.5300	3.81
Rtw			7.44	12.99	3.35	3.64	2.5	1.81	5.288		
76	Huayruro	16	52.24	53.27	52.57	52.63	53.24	54.19		53.0233	1.95
77	Huayruro		51.33	51.92	53.49	55.3	53.83	54.47		53.3900	3.97
78	Huayruro		54.3	56.92	55.21	53.24	51.84	52.35		53.9767	5.08
79	Huayruro		51.12	56.52	50.19	55.8	50.05	49.34		52.1700	7.18
80	Huayruro		51.92	51.99	49.94	50.98	52.65	52.03		51.5850	2.71
Rtw			3.18	5	5.27	4.82	3.78	5.13	4.530		
81	Huayruro	17	57.63	57.44	57.98	57.62	56.04	56.19		57.1500	1.94
82	Huayruro		54.7	55.65	56.34	53.96	53.79	52.89		54.5550	3.45
83	Huayruro		58.75	56.82	54.85	58.09	57.38	57.56		57.2417	3.9
84	Huayruro		51.78	50.92	59.29	58.61	56.23	55.52		55.3917	8.37
85	Huayruro		57.54	58.14	58.43	58.37	54.84	57		57.3867	3.59
Rtw			6.97	7.22	4.44	4.65	3.59	4.67	5.257		
86	Huayruro	18	54.45	55.28	57.25	51.11	54.73	54.65		54.5783	6.14
87	Huayruro		57.41	57.37	53.27	52.04	56.73	56.61		55.5717	5.37
88	Huayruro		51.67	50.92	48.25	51.03	48.25	47.25		49.5617	4.42
89	Huayruro		50.88	51.57	54.44	53.89	52.21	53.19		52.6967	3.56
90	Huayruro		55.02	55.82	55.96	54.61	56.22	55.44		55.5117	1.61
Rtw			6.53	6.45	9	3.58	8.48	9.36	7.233		
91	Huayruro	19	51.57	52.43	50.98	50.27	50.81	47.28		50.5567	5.15
92	Huayruro		56.23	56.47	59.21	55.56	53.84	52.74		55.6750	6.47
93	Huayruro		59.92	56.56	56	56.08	54.02	53.89		56.0783	6.03
94	Huayruro		47.59	48.5	46.03	45.05	47.93	44.7		46.6333	3.8
95	Huayruro		55.39	53.35	53.59	54.62	58.15	60.2		55.8833	6.85
Rtw			12.33	8.06	13.18	11.03	10.22	15.5	11.720		
96	Huayruro	20	60.65	58.88	63.66	63.06	61.17	60.06		61.2467	4.78

97	Huayruro	56.64	54.24	58.72	58.74	55.15	55.38	56.4783	4.5	
98	Huayruro	59.84	56.86	55.71	57.56	60.89	58.04	58.1500	5.18	
99	Huayruro	55.43	54.7	57.4	56.59	54.68	54.81	55.6017	2.72	
100	Huayruro	54.21	55.81	55.81	55.78	55.03	55.46	55.3500	1.6	
Rtw		6.44	4.64	7.95	7.28	6.49	5.25	6.342		
VALORES PROMEDIOS								6.3102	53.8885	4.5251

ANEXO 6. BASE DE DATOS DE VARIACIÓN DE CORTE EN EL ASERRADERO A3

A3											
PIEZA	ESPECIE	SUB GRUPO	PUNTOS DE OBSERVACIÓN (mm)						Rts	DENTRO DE LA PIEZA	
			W1	W2	W3	W4	W5	W6		Xp	Rp
1	Tornillo	1	54.74	54.74	53.82	53.88	54.75	54.25	8.310	54.3633	0.93
2	Tornillo		51.09	50.94	58.63	59.2	55.37	57.17		55.4000	8.26
3	Tornillo		54.02	55.29	58.27	57.26	58.3	55.23		56.3950	4.28
4	Tornillo		54.45	54.96	54.35	55.91	54.55	54.29		54.7517	1.62
5	Tornillo		60.41	60.74	61.37	63.6	62.3	59.97		61.3983	3.63
Rtw			9.32	9.8	7.55	9.72	7.75	5.72			
6	Tornillo	2	53.09	53.09	53.67	53	53.61	53.02	6.463	53.2467	0.67
7	Tornillo		56.76	57.82	57.04	56.67	56.65	57.86		57.1333	1.21
8	Tornillo		58.49	59.63	61.55	59.53	51.32	51.18		56.9500	10.37
9	Tornillo		55.07	56.15	55.54	57.38	55.42	56.64		56.0333	2.31
10	Tornillo		53.69	53.59	53.25	59.25	53.61	53.81		54.5333	6
Rtw			5.4	6.54	8.3	6.53	5.33	6.68			
11	Tornillo	3	57.2	57.68	56.42	55.92	51.18	49.99	10.737	54.7317	7.69
12	Tornillo		49.76	50.15	51.55	52.52	50.58	50.31		50.8117	2.76
13	Tornillo		59.91	59.82	59.98	60.7	60.66	59.95		60.1700	0.88
14	Tornillo		57.83	58.78	60.78	61.19	59.28	59.79		59.6083	3.36
15	Tornillo		58.62	59.01	64.39	62.7	61.46	60.69		61.1450	5.77
Rtw			10.15	9.67	12.84	10.18	10.88	10.7			
16	Tornillo	4	56.92	56.97	57.84	55.08	54.56	55.13	5.643	56.0833	3.28
17	Tornillo		58.59	58.83	59.58	59.91	58.84	59.1		59.1417	1.32
18	Tornillo		59.64	62.37	60.31	62.17	60.57	61.96		61.1700	2.73
19	Tornillo		55.41	57.94	56.98	56.91	56.91	56.93		56.8467	2.53
20	Tornillo		58.88	58.01	56.01	56.22	56.49	56.05		56.9433	2.87
Rtw			4.23	5.4	4.3	7.09	6.01	6.83			
21	Copaiba	5	58.18	57.67	59.32	57.98	56.39	56.31	6.572	57.6417	3.01
22	Copaiba		60.25	59.01	58.55	59.36	59.68	59.77		59.4367	1.7
23	Copaiba		52.28	53.28	54.86	54.99	52.12	52		53.2550	2.99
24	Copaiba		53.26	55.44	53.29	55.11	52.73	53.49		53.8867	2.71
25	Copaiba		52.96	53.83	57.19	58.53	55.98	55.29		55.6300	5.57
Rtw			7.97	5.73	6.03	4.37	7.56	7.77			

26	Tornillo	6	55.53	55.01	57.26	58.04	53.03	53.57	7.633	55.4067	5.01
27	Tornillo		59.68	59.71	60.61	52.59	62.29	61.45		59.3883	9.7
28	Tornillo		59.16	59.47	56.4	57.44	52.7	55.15		56.7200	6.77
29	Tornillo		57.87	59.67	58.01	55.04	54.39	58.07		57.1750	5.28
30	Tornillo		61.57	61.98	63.5	60.81	61.7	61.43		61.8317	2.69
Rtw			6.04	6.97	7.1	8.22	9.59	7.88			
31	Tornillo	7	56.15	55.73	58.81	61.13	55.28	55.75	6.758	57.1417	5.85
32	Tornillo		58.24	58.45	56.72	55.49	57.8	56.88		57.2633	2.96
33	Tornillo		61.66	61.6	61.47	60.52	60.1	59.89		60.8733	1.77
34	Tornillo		56.31	56.35	54.69	55.93	56.75	55.12		55.8583	2.06
35	Tornillo		59.78	60.18	52.15	59.98	62.67	61.94		59.4500	10.52
Rtw			5.51	5.87	9.32	5.64	7.39	6.82			
36	Tornillo	8	58.86	58.94	55.7	55.6	57.22	57.61	7.242	57.3217	3.34
37	Tornillo		57.67	57.27	58.61	57.67	55.22	55.97		57.0683	3.39
38	Tornillo		55.31	55.36	59.66	55.66	55.19	56.21		56.2317	4.47
39	Tornillo		55.71	50.19	51.54	59.17	53.85	57.12		54.5967	8.98
40	Tornillo		60.81	59.89	61.28	60.17	61.88	61.88		60.9850	1.99
Rtw			5.5	9.7	9.74	4.57	8.03	5.91			
41	Tornillo	9	57.33	57.65	57.03	58.83	55.41	55.97	5.928	57.0367	3.42
42	Tornillo		53.67	54.34	51.12	52.56	55.7	56.75		54.0233	5.63
43	Tornillo		55.31	52.89	53.56	54.22	52.22	52.66		53.4767	3.09
44	Tornillo		55.71	55.52	55.72	53.63	55.59	54.69		55.1433	2.09
45	Tornillo		60.81	55.78	56.25	56.16	58.49	57.88		57.5617	5.03
Rtw			7.14	4.76	5.91	6.27	6.27	5.22			
46	Tornillo	10	59.11	59.71	57.15	57.33	54.57	56.76	5.158	57.4383	5.14
47	Tornillo		56.85	56.7	57.18	57.24	58.21	58.88		57.5100	2.18
48	Tornillo		61.03	61.13	57.6	56.45	59.6	59.26		59.1783	4.68
49	Tornillo		55.07	55.54	53.74	54.24	53.3	55.02		54.4850	2.24
50	Tornillo		57.21	57.43	52.19	57.69	56.35	56.11		56.1633	5.5
Rtw			5.96	5.59	5.41	3.45	6.3	4.24			
51	Tornillo	11	59.87	55.51	55.59	56.34	57.84	57.67	4.562	57.1367	4.36
52	Tornillo		54.12	54.25	55.25	54.92	56.4	56.28		55.2033	2.28
53	Tornillo		55.48	54.63	56.04	56.8	53.36	53.4		54.9517	3.44
54	Tornillo		56.92	53.13	51.72	52.24	52.5	52.65		53.1933	5.2
55	Tornillo		54.7	54.64	53.69	53.81	55.84	55.39		54.6783	2.15
Rtw			5.75	2.38	4.32	4.56	5.34	5.02			
56	Tornillo	12	53.93	54.07	56.29	56.27	50.53	60.64	7.633	55.2883	10.11
57	Tornillo		54.19	55.07	55.71	55.84	55.37	56.24		55.4033	2.05
58	Tornillo		55.83	55.01	57.91	57.63	56.12	55.47		56.3283	2.9
59	Tornillo		55.5	55.54	57.95	53.95	54.75	54.9		55.4317	4
60	Tornillo		53.95	54.18	61.85	60.92	60.15	60.41		58.5767	7.9

Rtw			1.9	1.47	6.14	6.97	9.62	5.74	5.307		
61	Tornillo	13	57.99	57.99	57.24	57.46	56.29	57.15	8.228	57.3533	1.7
62	Tornillo		51.47	50.85	60.91	60.41	60.48	61.06		57.5300	10.21
63	Tornillo		50.1	49.78	54.44	54.79	54.58	55.08		53.1283	5.3
64	Tornillo		54.66	53.77	53.82	53.59	51.43	50.75		53.0033	3.91
65	Tornillo		54.98	54.19	58.09	58.02	56.68	56.71		56.4450	3.9
Rtw			7.89	8.21	7.09	6.82	9.05	10.31	8.228		
66	Tornillo	14	55.24	57.4	62.3	62.77	56.18	56.13	6.417	58.3367	7.53
67	Tornillo		58.72	57.59	58.19	57.36	55.59	56.62		57.3450	3.13
68	Tornillo		54.9	55.03	59.49	59.47	51.72	52.75		55.5600	7.77
69	Tornillo		54.87	55.61	59.63	59.39	54.97	55.52		56.6650	4.76
70	Tornillo		61.47	60.4	61.17	59.07	61.85	59.63		60.5983	2.78
Rtw			6.6	5.37	4.11	5.41	10.13	6.88	6.417		
71	Tornillo	15	53.96	53.81	56.72	56.68	53.51	54.84	6.952	54.9200	3.21
72	Tornillo		61.56	60.24	56	56.74	61.3	61.06		59.4833	5.56
73	Tornillo		54.88	54.84	61.24	59.93	57.76	57.33		57.6633	6.4
74	Tornillo		56.52	55.07	53.36	54.21	57.42	56.86		55.5733	4.06
75	Tornillo		53.89	54.38	57.12	57.33	54.58	55.11		55.4017	3.44
Rtw			7.67	6.43	7.88	5.72	7.79	6.22	6.952		
76	Tornillo	16	56.92	55.76	54.83	53.24	55.08	53.78	3.612	54.9350	3.68
77	Tornillo		56.1	56.49	55.42	55.96	56.36	55.81		56.0233	1.07
78	Tornillo		54.84	58.93	52.24	52.51	53.84	53.13		54.2483	6.69
79	Tornillo		53.9	54.7	53.2	53.66	52.67	52.92		53.5083	2.03
80	Tornillo		53.54	53.85	54.56	54.36	55.29	54.56		54.3600	1.75
Rtw			3.38	5.08	3.18	3.45	3.69	2.89	3.612		
81	Tornillo	17	53.01	53.11	52.62	52.84	53.09	55.62	3.502	53.3817	3
82	Tornillo		55.33	54.98	55.8	55.39	57.54	57.18		56.0367	2.56
83	Tornillo		54.98	53.56	55.45	56.49	55.47	56.95		55.4833	3.39
84	Tornillo		53.12	52.82	55.45	56.85	55.67	56.03		54.9900	4.03
85	Tornillo		53.47	53.07	54.96	54.22	54.08	52.29		53.6817	2.67
Rtw			2.32	2.16	3.18	4.01	4.45	4.89	3.502		
86	Tornillo	18	58.82	59.31	58.72	58.63	56.11	56.12	4.382	57.9517	3.2
87	Tornillo		53.21	54.25	57.98	57.66	58.63	59.32		56.8417	6.11
88	Tornillo		53.41	53.67	58.16	55.63	58.91	56.83		56.1017	5.5
89	Tornillo		53.9	55.1	55.71	57.34	56.8	55.62		55.7450	3.44
90	Tornillo		54.77	51.25	55.89	56.74	56.05	55.57		55.0450	5.49
Rtw			5.61	8.06	3.01	3	2.86	3.75	4.382		
91	Tornillo	19	56.47	57.7	52.65	53.18	56.43	53.74	5.307	55.0283	5.05
92	Tornillo		50.79	59.12	54.08	55.37	54.52	53.88		54.6267	8.33
93	Tornillo		56.52	57.65	57.52	57.23	56.34	56.75		57.0017	1.31
94	Tornillo		58.34	58.32	57.78	56.98	55.98	56.74		57.3567	2.36

95	Tornillo		57.92	57.76	57.01	58	56.8	58.65		57.6900	1.85
Rtw			7.55	1.47	5.13	4.82	2.28	4.91	4.360		
96	Tornillo	20	56.49	56.44	58.33	59.03	58.03	56.78		57.5167	2.59
97	Tornillo		56.78	57.2	56.64	56.02	52.83	52.45		55.3200	4.75
98	Tornillo		57.22	57.16	57.95	58.41	59.09	59		58.1383	1.93
99	Tornillo		59.72	63.15	63.84	63.19	65.72	66.56		63.6967	6.84
100	Tornillo		52.87	51.84	55.59	54.7	55.61	54.07		54.1133	3.77
Rtw			6.85	11.31	8.25	8.49	12.89	14.11	10.317		
VALORES PROMEDIOS									6.4041	56.5006	4.1367

ANEXO 7. BASE DE DATOS DE PRUEBA DE PÉRDIDA POR CEPILLADO

N° Pieza	Cara	N° Pasadas	Puntos de medición			
			1	2	3	4
Pieza N° 1	Med. Inicial		20.42	20.28	19.07	19.5
	Cara 1	1° Pasd	19.47	19.51	18.77	19.42
		2° Pasd	18.5	18.55	18.69	18.94
	Cara 2	1° Pasd	18.42	18.5	17.8	18.04
		2° Pasd	18.15	18.26	16.87	17.22
		3° Pasd	17.5	17.68	16.03	16.4
Pieza N° 2	Med. Inicial		19.92	20.05	20.25	20.54
	Cara 1	1° Pasd	18.3	18.38	19.17	19.34
		2° Pasd	17.34	17.33	18.31	19.07
	Cara 2	1° Pasd	17.23	17.32	17.28	17.41
		2° Pasd	16.93	16.94	15.6	15.97
		3° Pasd	16.41	16.57	15.36	15.65
		4° Pasd	16.12	16.07	14.86	15.13
		5° Pasd	16.07	16.03	14.8	15.1
Pieza N° 3	Med. Inicial		20.48	19.9	21.27	20.7
	Cara 1	1° Pasd	19.9	19.51	20.48	20.37
		2° Pasd	19.83	18.89	19.56	19.66
	Cara 2	1° Pasd	18.39	18.8	18.62	18.06
		2° Pasd	18.1	18.38	18.16	17.76
Pieza N° 4	Med. Inicial		20.75	20.71	18.9	19.38
	Cara 1	1° Pasd	20.14	19.86	18.9	19.2
		2° Pasd	18.65	18.56	18.32	18.16
		3° Pasd	17.41	17.22	18.26	18.09
		4° Pasd	16.11	16.33	17.59	17.35
	Cara 2	1° Pasd	16.07	16.15	16.01	15.62
		2° Pasd	16.02	16.1	15.23	15.05
		3° Pasd	15.69	15.8	14.62	14.39

Pieza N° 5	Med. Inicial		21.17	21.27	21.47	21.4
	Cara 1	1° Pasd	20.77	20.21	21.47	21.27
		2° Pasd	19.62	19.37	20.34	20.52
		3° Pasd	18.66	18.15	19.33	19.64
	Cara 2	1° Pasd	18.58	17.94	18.19	18.22
		2° Pasd	17.76	17.77	16.9	16.95
Pieza N° 6	Med. Inicial		21.7	21.53	21.52	21.11
	Cara 1	1° Pasd	21.54	20.87	20.43	20.4
		2° Pasd	20.45	19.76	19.47	19.31
	Cara 2	1° Pasd	18.81	18.63	19.27	19.01
		2° Pasd	17.79	18.03	19.17	18.97
		3° Pasd	16.78	17.18	17.98	17.82
Pieza N° 7	Med. Inicial		21.15	20.66	20.68	20.49
	Cara 1	1° Pasd	19.71	19.94	19.58	20.06
		2° Pasd	18.79	19.17	18.72	19.31
	Cara 2	1° Pasd	17.85	17.75	16.69	16.71
		2° Pasd	16.6	16.83	15.75	15.78
		3° Pasd	15.9	16.16	14.85	14.93
Pieza N° 8	Med. Inicial		21.51	21.41	21.72	21.36
	Cara 1	1° Pasd	21.37	21.13	21.67	21.16
		2° Pasd	20.48	20.38	21.26	21.14
	Cara 2	1° Pasd	19.98	19.82	19.56	19.53
		2° Pasd	19.4	19.45	18.59	18.63
		3° Pasd	18.55	18.57	17.66	17.69
4° Pasd		17.63	17.67	16.92	16.83	
Pieza N° 9	Med. Inicial		19.91	19.53	21.04	20.7
	Cara 1	1° Pasd	18.66	18.41	19.28	19.47
		2° Pasd	18.12	17.76	18.33	18.35
	Cara 2	1° Pasd	18.05	17.71	17.36	17.39
		2° Pasd	17.28	17.09	16.24	16.23
		3° Pasd	16.59	16.52	15.47	15.43
Pieza N° 10	Med. Inicial		20.56	20.39	21.91	21.35
	Cara 1	1° Pasd	19.15	18.5	20.36	20.26
	Cara 2	1° Pasd	19.11	18.49	19.23	19.14
		2° Pasd	19.09	18.44	18.14	18.35
		3° Pasd	18.42	17.85	17.17	17.4
Pieza N° 11	Med. Inicial		20.75	20.3	21.19	21.18
	Cara 1	1° Pasd	19.49	19.34	19.61	20.16
	Cara 2	1° Pasd	18.55	18.57	18.47	18.14

		2° Pasd	17.42	17.35	16.64	16.43
Pieza N° 12	Med. Inicial		22.37	22.09	21.81	21.44
	Cara 1	1° Pasd	20.74	20.95	21.49	20.61
		2° Pasd	19.25	20.05	21.43	20.33
	Cara 2	1° Pasd	19.05	19.89	20.44	20.05
		2° Pasd	19	19.75	19.22	18.97
3° Pasd		18.59	19.05	18.47	18.13	
Pieza N° 13	Med. Inicial		20.23	20.37	19.92	19.56
	Cara 1	1° Pasd	19.28	19.17	19.71	19.46
		2° Pasd	18.52	18.22	18.67	18.65
		3° Pasd	18.11	17.98	18.41	18.38
	Cara 2	1° Pasd	17.78	17.7	17.04	16.93
2° Pasd		17.16	17.03	15.98	16.06	
Pieza N° 14	Med. Inicial		20.9	20.78	19.84	20.04
	Cara 1	1° Pasd	20.47	20.7	19.64	19.81
		2° Pasd	19.58	19.78	18.75	18.94
	Cara 2	1° Pasd	18.27	18.36	18.75	18.69
		2° Pasd	17.19	17.37	18.31	18.3
Pieza N° 15	Med. Inicial		20.93	21.33	20.2	20.7
	Cara 1	1° Pasd	20.93	21.12	19.73	20.7
		2° Pasd	19.66	20	18.67	19.23
	Cara 2	1° Pasd	18.14	18.6	18.54	19.13
		2° Pasd	17.52	17.48	18.07	18.06
Pieza N° 16	Med. Inicial		21.49	21.82	22.3	22.19
	Cara 1	1° Pasd	20.23	20.22	20.41	20.75
	Cara 2	1° Pasd	19.28	20.05	18.98	19.2
		2° Pasd	18.91	19.3	17.95	17.49
Pieza N° 17	Med. Inicial		20.36	20.92	20.59	20.61
	Cara 1	1° Pasd	18.81	19.39	18.79	18.94
		2° Pasd	17.91	18.53	17.82	18.27
	Cara 2	1° Pasd	17.22	17.44	16.99	17.05
Pieza N° 18	Med. Inicial		21.36	21.57	21.6	21.54
	Cara 1	1° Pasd	20.05	19.8	20.5	19.94
		2° Pasd	18.84	18.14	19.04	19.4
	Cara 2	1° Pasd	18.79	18.12	18.22	18.51
		2° Pasd	18.66	18.11	17.33	17.73
		3° Pasd	17.4	17.48	16	16.23
Pieza N° 19	Med. Inicial		20.76	21	21.61	21.94
	Cara 1	1° Pasd	19.5	19.64	21.3	21.12

		2° Pasd	18.42	18.29	19.62	19.92
	Cara 2	1° Pasd	18.24	18.16	18.33	18.24
		2° Pasd	17.75	17.47	17.37	16.83
Pieza N° 20	Med. Inicial		21.6	21.45	21.48	21.61
	Cara 1	1° Pasd	20.75	20.31	21.45	21.44
		2° Pasd	19.32	18.97	20.24	20.34
	Cara 2	1° Pasd	19.28	18.95	18.85	18.85
		2° Pasd	18.75	18.68	17.79	17.75
		3° Pasd	17.77	17.79	16.85	16.91