UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título a obtener:

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

Análisis Cinético del secado de la biomasa del Pigüe (*Piptocoma discolor*) para Fines Industriales en la Provincia de Pastaza.

AUTORA

Diandra Vanessa Andi Estrada

DIRECTOR

Ing. Juan Elías González Rivera MSc.

PUYO - ECUADOR

2018

DECLARACION DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS

Yo, Andi Estrada Diandra Vanessa, declaro que las actividades efectuadas para la elaboración y culminación del presente proyecto de investigación, con el tema "Análisis Cinético del secado de la biomasa del Pigüe *(Piptocoma discolor*) para Fines Industriales en la Provincia de Pastaza." se fundamentó en la búsqueda de información fidedigna responsabilizándome en forma legal y académica como la autora del presente trabajo previo a la obtención del título como Ingeniero Agroindustrial.

Andi Estrada Diandra Vanessa

CI. 1500843733

CERTIFICACIÒN

El Director de Tesis certifica que el egresado ha realizado el Proyecto de Investigación y Desarrollo previo a la obtención del título.

Ing. Juan Elías González Rivera MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El Tribunal de sustentación del Proyecto de Investigación y Desarrollo aprueba el proyecto de investigación **"Análisis Cinético del secado de la biomasa del Pigüe *(Piptocoma discolor*) para Fines Industriales en la Provincia de Pastaza"**

Dr. Reinier Abreu Naranjo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Yasiel Arteaga
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MSc. Franklin Villafuerte
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, quien ha sido mi guía y cuidado durante esta etapa.

A mi madre por ser el sostén e impulso del hogar, por enseñarme a nos desfallecer ante las adversidades, a mi padre por su dedicación, firmeza y apoyo.

A mis hermanas por ser mis cómplices en todo momento, a Luis, John y Gael por ser el motor de lucha.

A Mario Arturo, por ser mi ángel y protector durante mi caminar.

A los docentes y amigos por ser el refuerzo y sustento.

A la Universidad por permitirme crecer junto a ella.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, Mario Arturo y mi familia.

Las mejores experiencias fueron materializadas y visualizadas por ellos.

El presente trabajo está dedicado para

Mi Madre María Estrada quien ha sido la mentora de este logro

A mi Padre Arturo Andi quien

Siempre demostró mediante los hechos, su apoyo su apoyo incondicional y por brindarme apoyo incondicional.

A mis hermanas y sobrinos por ayudarme a ser posible finalizar esta etapa.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la cinética de secado en los residuos de biomasa de Pigue, a fin de ser utilizados como fuente energética en la industria. La toma de muestra se realizó en cinco aserraderos de producción de pallets de Pigue en Puyo y Mera. El diseño del experimento empleado fue un DCA con arreglo factorial 3x3x3, los factores fueron: Temperatura de secado (T) a 120, 150 y 180 ^{o}C. Tiempo de secado (t) de 0, 60 y 120 min., Tamaño de cuartón promedio: longitud (L) del primer cuartón de 30±1,2mm; ancho 29±0,8mm y espesor de 31±1,1mm.; segundo cuartón de longitud de 50,5±0,3mm; ancho 49±1,6mm y espesor de 49±1,3mm., y el tercer cuartón de 80,4±1,5mm; ancho 81±2,1mm y espesor de 81±2,3mm. Se realizó un Análisis de Varianza, prueba de Duncan para la comparación de medias, con $p \leq 0,05$. La humedad inicial de los cuartones de Pigue oscila entre 71 a 73% lo cual refleja la naturaleza heterogénea y compleja del material utilizado debido a factores, entre ellos la humedad relativa de la zona. La mayor cantidad de agua eliminada se obtuvo con el tratamiento C1 a 180 ^{0}C en un tiempo de 120 minutos con un valor de 45.57%, seguido del tratamiento C1 a 150 ^{0}C que obtuvo un valor de 40.57% y finalmente a 120 ^{0}C que logró una eliminación de agua de 30.65, los valores demuestran que el tamaño ideal para el secado corresponde al cuartón C1 a partir de 150 0C durante 120 minutos.

Palabras Clave: Pigue, Cinética de secado, cuartones.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the drying kinetics in the biomass residues of Pigue, in order to be used as an energy source in the industry. The sampling was carried out in five sawmill production of Pigue pallets in Puyo and Mera. The design of the experiment used was a DCA with factorial arrangement 3x3x3, the factors were: Drying temperature (T) at 120, 150 and 180 oC. Drying time (t) of 0, 60 and 120 min., Average quart size: length (L) of the first quart of 30 ± 1.2mm; width 29 ± 0.8mm and thickness of 31 ± 1.1mm.; second quarter of 50.5 ± 0.3mm length; width 49 ± 1.6mm and thickness of 49 ± 1.3mm., and the third quarter of 80.4 ± 1.5mm; width 81 ± 2.1mm and thickness of 81 ± 2.3mm. An Analysis of Variance, Duncan test was performed for the comparison of means, with $p \leq 0.05$. The initial humidity of the Pigue quarters ranges from 71 to 73%, which reflects the heterogeneous and complex nature of the material used due to factors, including the relative humidity of the area. The highest amount of water removed was obtained with treatment C1 to 180 ^{0}C in a time of 120 minutes with a value of 45.57%, followed by treatment C1 to 150 ^{0}C that obtained a value of 40.57% and finally at 120 ^{0}C that achieved elimination of water of 30.65%, the values show that the ideal size for drying corresponds to room C1 from 150 ^{0}C for 120 minutes.

Keywords: Pigue, drying kinetics, quarts.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I

……**¡Error! Marcador no definido.**

I.

INTRODUCCIÓN……**¡Error! Marcador no definido.**

a. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ……2

OBJETIVOS ……2

Objetivo General ……2

Objetivos Específicos ……2

CAPÍTULO II ……4

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA ……4

2.1.1BIOMASA ……4

2.1.2 Estructura química y componentes principales de la biomasa ……4

2.1.3 Estructura química de la biomasa ……6

2.2.1 *PIPTOCOMA DISCOLOR* (PIGÜE)……7

2.2.2 Explotación del Pigüe……9

2.3.1 INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE SECADO……10

2.3.2 secado artificial de la madera……11

2.3.2 cinética del secado y su relación con la temperatura……11

CAPÍTULO III ……12

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ……12

3.1 Localización ……12

3.2. Tipo de investigación……12

CAPÍTULO IV ……17

RESULTADOS Y DISCUSIÓN ……17

4.1 ANALISIS DE LA HUMEDAD INICIAL……17

4.2 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA, TAMAÑO DE CUARTÓN Y TIEMPO DE SECADO DEL PIGUE ……18

4.3 ANALISIS DE LOS TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DE LA INTERACCION DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE SECADO Y TAMAÑO DE CUARTÓN ……20

CAPITULO V……24

5.1. CONCLUSIONES ……24

5.2 RECOMENDACIONES ……25

CAPITULO VI ……26

BIBLIOGRAFÍA ……26

CAPITULO VII ……28

ANEXOS ……28

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio del Ambiente, en el año 2016, el sector forestal fue considerado como un sector prioritario para las inversiones y uno de los que ofrece mayor potencial de crecimiento y desarrollo en el país. Si se consideran todos los bienes y servicios ambientales, el aporte del bosque supera los $600 millones/año, por lo que, su contribución al PIB es aproximadamente del 3,2 % (Benites, 2016).

Para que la industria forestal y maderera ecuatoriana logre un mejor desarrollo, es necesario que el aprovechamiento de la manera sea de forma integral, optimizando el rendimiento de los recursos maderables, a través de procesos productivos que permitan utilizar el mayor porcentaje posible de la madera cosechada del bosque.

Tradicionalmente, en el sector maderero se aprovechan solamente las trozas provenientes del mástil principal hasta una altura comercial aproximada de 15 m, lo cual implica la pérdida de un volumen considerable de madera que incluye trozas de altura superior, copa y ramas (Aguirre et al., 2004).

Se conoce que, los residuos producidos por el procesamiento primario en las industrias madereras no son aprovechados, lo que ha generado un volumen considerable de subproductos de material lignocelulósico, esto posiblemente debido a la existencia de recursos forestales abundantes y falta de políticas de aprovechamiento integral de los subproductos generados en el procesamiento forestal industrial. Sin embargo, estos subproductos pueden ser utilizados en la fabricación de otros productos de ingeniería con múltiples aplicaciones.

En la zona rural de la Amazonía ecuatoriana, la población local produce y comercializa muchos tipos de madera destinados a diversos usos, que van desde materiales de construcción permanente a materiales de embalaje para envíos (CEPAL, 2011).

El pigüe es una madera suave y de rápido crecimiento que se utiliza en la elaboración de parihuelas (pallets) y cajas para el transporte de fruta desde las zonas rurales de producción a los mercados locales y regionales (Romero et al., 2011) por tal razón, el pigüe al ser una de las especies más explotadas en los aserraderos, se ha convertido en un subproducto no utilizado.

Este subproducto provoca reducción del espacio disponible en los centros de elaboración de la madera y con ello la movilidad necesaria para la producción; generan y acumulan polvo en el aire, que conlleva otro mal, el de la emisión de Dióxido de carbono a la Atmósfera, y perjudican la salud de los trabajadores y de los habitantes de zonas cercanas a los aserraderos, a la vez que suponen otros problemas ambientales por incendios (Erazo et al., 2014).

Actualmente se generan nuevas alternativas para promover el desarrollo de la industria maderera con la innovación de productos de ingeniería en diferentes aplicaciones. Según Álvarez, et al.; (2012) existen diversos antecedentes bibliográficos referidos al uso exitoso de residuos provenientes de la industria forestal y maderera como la elaboración de tableros aglomerados de partículas.

Gaitán et al., (2016), mencionan que las propiedades de un tablero están determinadas por los siguientes factores: tipo, tamaño, distribución y orientación de las partículas, así como también el tipo y la calidad del proceso y sobre todo el contenido de humedad que debe contener la materia prima y tratamiento post-manufactura del tablero.

La presente investigación tiene como objetivo determinar las condiciones óptimas del proceso de secado del pigüe, para fines industriales en la provincia de Pastaza, mediante la selección de las combinaciones adecuadas de tiempo de secado, tamaños de cuartones y temperatura de secado.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La determinación de la cinética de secado de los subproductos del Pigue permitirá obtener una materia prima energética para la provincia de Pastaza, y así optimizar la industrialización del Pigue para su aprovechamiento integral?

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la cinética del secado de la biomasa del Pigüe para fines industriales en la Provincia de Pastaza.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener las curvas de secado experimentales para el Pigue a diferentes temperaturas
- Determinar los mejores parámetros de secado de Pigue en función de la determinación de humedad y tiempo de secado

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 BIOMASA

La biomasa es toda la materia orgánica que se puede convertir en energía. En base a esta definición se entiende que se puede obtener biomasa energética partir de las plantas, árboles, desechos de animales, agricultura, aserraderos y residuos urbanos, etc**.**

Una de las directivas de la Unión Europea destinada al tema de las energías renovables define a la biomasa como: "fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias y forestales, así como de los residuos industriales y municipales" (Matute, 2007)**.**

2.1.2 Estructura química y componentes principales de la biomasa

La estructura química y los principales componentes de la madera es un biopolímero tridimensional cuya composición química general está formada por compuestos esenciales primarios: holocelulosas (celulosa y hemicelulosa) y la lignina y compuestos extraños o secundarios: extractos (en agua, solventes, volatilizados en vapor) y no extraíbles (compuesto inorgánicos, proteínas y sustancias pépticas). (Pettersen, 1984).

Los recursos vegetales poseen celulosa que es un polisacárido de formula $(C6H10O5)n$ con peso molecular en rango de 300 – 500, es una biomolécula orgánica más abundante. La celulosa está formada por celobiosa, es blanca, inodora e insípida (Pettersen, 1984) y forma parte del tejido y del sostén de las plantas. La célula vegetal joven contiene aproximadamente el 40% de celulosa, la madera un 50% mientras que el ejemplo puro de celulosa es el algodón con más del 90% (Brett, C. T. 2000).

Otro polisacárido es la hemicelulosa son carbohidratos no celulósicos de bajo peso molecular y ayudan en los procesos de refinación de las fibras debido a que sus moléculas son reactivas y se hidratan rápidamente **(**Pettersen, 1984**)** con fórmula general $(C_5H_5O_4)_n$ que forma parte de las paredes de las diferentes células del tejido vegetal, las superficie de las fibras de celulosa esta constituye de estructuras alcalinas. Su composición varía entre especies en soluciones alcalinas. Entre las especies leñosas y herbáceas, el componente más representativo es el *xilan* entre el 10% y 30 % del peso seco en las especies maderables duras y blandas respectivamente (Brett, C. T. 2000).

Tabla 1 Composición estructural de algunas biomasas para combustibles (% Base seca).

Biomasa	**Hemicelulosa**	**Celulosa**	**Lignina**
Residuo Forestal	35,7	24,5	24,5
Madera de abedul	25.1	35.7	19.3
Madera de aliso	23.5	32.3	24.8
Madera de pino	17.7	42.1	25
Bambú	17.6	39.5	25.2
Madera de eucalipto	13.2	43	25.3
Madera de leucanea	15	4.8	26.9

Fuente:(Brett, C. T. 2000)

En general, la madera en base a su peso, está compuesta de 20 – 40% de lignina, 30-50% de celulosa, 9-28% de pentosanas y 0,2-20% de extractivos, presentándose deferencias cuantitativas entre coníferas y latifoliadas. Diversos estudios reportan información general sobre propiedades químicas de la madera y algunas posibilidades de aplicación de su transformación química. (Rutiaga et al., 2010), en un análisis químico en albura y duramen de *P.pseudostrobus,* encontró un contenido de extraíbles totales de 13,2% en duramen y 4,4% en albura;

polisacáridos 67,2%en duramen, 67% en albura; lignina 27,6% en duramen y 26% en albura; cenizas 0,08% en duramen y 16%en albura.

La lignina es un polímero natural y se caracteriza por su aroma (no carbohidrato) que presenta un elevado peso molecular, resultado de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos cuya unidades estructurales se derivan del fenilpropano; subproducto de los pulpeos químicos de la madera y se utiliza a nivel industrial. Los extractos son compuestos solubles en diferentes solventes por ejemplo en alcoholbenceno se solubilizan ceras, grasas y resina; en agua fría, taninos, gomas, azucares, materiales colorantes y en agua caliente los almidones. Pueden clasificarse en ácidos volátiles, aceites esenciales, ácidos resinosos y polifenoles. Entre los contenidos inorgánicos de la madera esta los cristales y la sílice, los cristales son depositados en su gran mayoría de sales de calcio, que encuentra en las células parenquemáticas. El sílice es un material que asemeja al diamante por su dureza y estas le conocen como cenizas, se ha informado para coníferas y para latifoliadas varian entre 0,1 y 1,0% (Avila, 2012).

2.1.3 Estructura química de la biomasa

La biomasa procedente de los subproductos forestales que está compuesto por su estructura de por hemicelulosa, celulosa y lignina demostradas en pequeñas cantidades de extractos. Las concentraciones relativas (expresadas en % en peso) estas varían en función de la especie y se distribuyen en 15-30%, 40–60%, y 10-30%, respectivamente. La fracción extraíble es aquella que no forma parte de la estructura de la pared celular madera y está compuesta por terpenos, ácidos grasos y fenoles insaponificables y puede varía dependiendo de biomasa entre 2 -8 % en peso. **(**Urien Pinedo, 2013**).**

La hemicelulosa (figura 1) es una cadena lineal con numerosas ramificaciones formada por varias unidades de azucares diferentes, D-xilosa, L-arabinosa, D-glucosa, Dgalactosa, D-manosa, ácido glucurónico, que unen en diferentes proporciones y al azar en una estructura amorfa (Urien Pinedo, 2013).

La celulosa, al contrario de la hemicelulosa, está constituida por estructuras cristalinas (altamente ordenadas) y amorfas (desordenadas). Entre ellas no existen fronteras bien definidas. La celulosa es un hompolisacárido lineal, sin ramificaciones, formado por hasta 15.000 unidades

de B-D (+) glucosa en forma piranosónica unidas entre sí por un enlace beta β-1,4.Las cadenas lineales se colocan de forma antiparalela y ordenada formado micro fibrillas que favorecen la formación de enlaces y puentes de hidrógeno tanto extra moleculares como intermoleculares que dan un mayor rigidez y estabilidad térmica a la molécula de celulosa que a la hemicelulosa. (Urien Pinedo, 2013)

La lignina es una molécula polifenólica, física y químicamente heterogénea, amorfa y formada y completamente por anillos aromáticos ramificados a partir de la polimerización y de deshidrogenación de monómetros de fenilpropanoides, coniferílico, sinapílico y alcoholes cumarínicos. La base estructural de la lignina es el fenil-propano, teniendo enlazado el anillo bencénico un número variable de grupos hidroxilícos y metoxílicos formando radicales químicos biuen definidos. Estos radicales libres son, en el caso de gimnosperas, principalmente, es guaiacilpropano (metoxi-3-hidroxi-4-fenil propano) y en el caso de las angiospermas el siringol-propano (dimetoxi-3,5-hidroxi-4-fenil propano). Esta heterogeneidad, otorga a la molécula de lignina una gran estabilidad térmica (Xu, E, 2009**).**

2.2.1 PIPTOCOMA DISCOLOR (Pigüe)

La industria maderera nació en el Ecuador hace aproximadamente cuatro décadas, debido a la demanda existente, así en ecuador existen alrededor de 3.6 millones de tierras disponibles para la repoblación forestal, lo cual indica el alto potencial de producción.

Por su situación geográfica y diversidad de climas, Ecuador es un paraíso forestal, con disponibilidad de tierras aptas y ubicación estratégica en relación a mercados demandantes. (MAGAP, 2014**).**

Según Merino (2011) el *Piptocoma discolor* pertenece a la familia Asterácea, considerada una especie pionera por su forma natural de crecimiento en los claros del bosque. Es un árbol de madera blanda y crecimiento rápido que puede alcanzar una altura máxima de 30 m.; el diámetro del tronco es de aproximadamente 60 cm., de forma cilíndrica y presenta ramificaciones por

encima del tercio inferior, crece en suelos limosos y arcillosos de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica.

La mayor densidad de los árboles de *Piptocoma discolor* se presenta en el bosque secundario del cantón y provincia Pastaza, donde comprende un radio de 25 a 30 km. Pastaza se encuentra desde los 500 hasta los 1500 m.s.n.m y la temperatura media es de 20ºC (Merino, 2011). La dispersión de semillas se realizada por el viento, gracias a las escamas florales típicas de la familia Asteraceae, existe naturalmente en los sistemas de rotación de cultivos (Erazo et al., 2014).

Esta especie presenta un promedio del 95 % de germinación y en estudios previos realizados la sobrevivencia de las plántulas de esta especie, al ser trasplantadas, muestra una supervivencia de 95,8 % y a los 2.5 años su altura es de 3,21 m., y el diámetro de 7,2 cm. (Hernández et al., 2015)

El Pigüe está distribuido por toda la región amazónica formando extensos bosques secundarios, encontrándose con una densidad mayor en la Provincia de Pastaza. La mejor zona para el Pigüe está comprendida en un área de radio de 25 a 30 Km. Se encuentra desde los 500 hasta los 1500 m.s.n.m en estado natural de desarrollo. Sin embargo, su mayor producción está entre los 900 y 1000 m.s.n.m y a temperatura media de 20 ºC. (Erazo, 2014)



Figura1. Distribución natural del Pigüe en la región amazónica centro-sudamericana (Erazo, 2014)

2.2.2 EXPLOTACIÓN DEL PIGÜE

El Pigüe es una especie del bosque nativo de la Amazonia. Su aprovechamiento se localiza en 8 provincias, principalmente en Pastaza, Morona Santiago, Napo y Zamora Chinchipe. Su explotación es autorizada mediante la emisión de formularios (11043), que son parte de programas (83) a nivel nacional, con 132’948.35 m^3 aprovechados con un incremento del 14% en relación al pasado año. El volumen de producción de la madera de los bosques nativos, estudios realizados por el Ministerio de Ambiente del Ecuador MAE, como podemos observar representa el 31,18% es de Pigüe (*Piptocoma discolor*) especie pionera en la provincia de Pastaza, para uso industrial en el proceso. (Merino 2011)

El aprovechamiento del Pigüe se realiza mediante la comercialización en troza destinada a los aserraderos; donde es aprovechado por procesos de transformación primaria destinada fundamentalmente a la construcción; también es comercializada en forma de latilla o tablilla para cajonería como envase y transporte de fruta. Otro de sus usos es en la elaboración de panela y como combustible. (Naciones Unidas, 2014)

2.3.1 INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE SECADO

El secado es una operación unitaria de transferencia de masa, mediante la cual se elimina la húmedad de un sólido o un material casi sólido. Puede o no establecerse una fase previa al secado, la eliminación del agua mediante la acción mecánica de filtros-prensa o centrífugas, reduciéndose por vía térmica la humedad. (Alcivar, 2016)

Esta última fase es propiamente la operación de secado, en ella se somete el producto húmedo a la acción del calor, evaporándose el líquido. Al secar un sólido en el seno de una masa de aire seco tiene lugar simultáneamente transferencia de masa y transmisión de calor. El agua contenida en el sólido se desplaza hacia la interface y posteriormente al seno del gas. El gradiente de temperatura entre el aire y el sólido provoca la transmisión de calor. (Alcivar, 2016)

El secado se puede llevar a cabo de dos formas de acuerdo a la forma de conducirlo:

Secado por lotes o discontinuo: Generalmente es un proceso en semi-lotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone al calor con o sin circulación de aire, en el cual se evapora la humedad en función del tiempo.

Secado continuo: Tanto la sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo. Generalmente son operaciones por contacto continuo entre el gas y la sustancia que se seca, y la humedad se elimina en función de la longitud del secador. (Alcivar, 2016)

Secaderos de bandejas: El sólido se deposita en capas de poca profundidad, que pueden o no tener aire caliente que circula por la superficie o a través del sólido. (Alcivar, 2016)

Secaderos rotatorios: El sólido desciende a lo largo de un cilindro rotatorio inclinado, secándose por acción del aire caliente que circula en contracorriente. (Alcivar, 2016)

Secaderos de evaporación súbita o atomizadores: En este tipo de secadero la suspensión de sólido, en forma de gotas, se pone en contacto brusco con aire caliente a elevada temperatura, en un dispositivo de ciclón. El agua del sólido se vaporiza bruscamente obteniéndose un sólido de elevada porosidad. (Alcivar, 2016)

2.3.2 SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA.

El proceso se realiza dentro de un horno en el cual se puede controlar temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. Durante un proceso típico de secado la temperatura puede variar entre 45 y 90°C. Los hornos de secado utilizan diversas fuentes térmicas, siendo las más comunes el vapor de agua, quemadores, calentadores eléctricos entre otros. La madera aserrada en forma de tablas, se apila horizontalmente utilizando listones separadores especiales del tamaño adecuado. El secado se realiza siguiendo un programa previamente establecido, con etapas climáticas progresivamente más secas y cálidas.

Las variables que permiten modelar el proceso de secado son las siguientes: Velocidad del aire. La velocidad del aire es elemento de control de la rapidez de evaporación del agua durante el

proceso de secado de la madera. La ventilación o circulación de aire fresco a través de una pila de madera y la expulsión de humedad, son condiciones necesarias para asegurar la remoción del exceso de vapor dentro de un horno y así mantener las condiciones deseadas. La velocidad del aire dentro de una pila tiene como funciones transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en la madera facilitando así su evaporación y transportar la humedad saliente de la madera. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad de secado. Una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una corriente laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa limite entré la madera y el aire.

2.3.2 CINETICA DEL SECADO Y SU RELACION CON LA TEMPERATURA.

Existe una relación estrecha entre la temperatura y el secado, debido a los mecanismos de transferencia de masa y calor presentes, en el secado convencional e industrial, en la cual se describen las ecuaciones de transporte de masa y calor, mostrando perfiles de humedad y temperatura para la especie nativa y sometida a diversos tipos de secado. (Silvina, 2008)

En el estudio denominado Cinética del Secado convencional y bajo vacío del Pino Radiata en el cual se analiza la humedad y su evolución durante el secado convencional basándose en el cálculo de un coeficiente global de secado. (Ananias, 2005)

Siendo:

CHR: Contenido de Humedad Reducido

CH: Contenido de Humedad

CHE: Contenido de Humedad en equilibrio con el Ambiente

CHC: Contenido de Humedad Critico

$$CHR = \frac{CH - CHE}{CHC - CHE} \qquad (1)$$

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en la provincia de Pastaza. Para la toma de muestra se seleccionó cinco aserraderos de producción de pallets de Pigue en Puyo y Mera.

A continuación, se procedió al astillado de la madera en tamaño y densidad adecuados, para realizar el diseño de experimentos destinado al secado en el horno industrial con sistema de temperatura controlada con +/-5, ubicado en el laboratorio de Agroindustrias, perteneciente a la Universidad Estatal Amazónica UEA, localizada en la Provincia de Pastaza. Km 2½, vía Napo (paso lateral).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se orientó a una investigación cuantitativa experimental, debido a que se analizó un conjunto de variables sujetos a experimentación como la temperatura, tiempo de secado y tamaño de cuartón de Pigue sobre el contenido de humedad de las muestras

3.2.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación es de tipo EMPIRICO EXPERIMENTAL ANALITICO, el cual nos permitió desarrollar confiablemente los datos y a su vez validar la posibilidad de solucionar el problema científico de la investigación.

3.2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo investigativo se basó en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial AxBxC con tres repeticiones cada uno. Se tomaron muestras de diferentes zonas del área de aserrado ubicado en el Cantón Puyo y Mera y así se procedió al respectivo transporte para los diferentes tratamientos.

Selección y preparación de las muestras

Para determinar el contenido de humedad promedio de la madera, las muestras de pigue se seleccionaron al azar del subproducto de madera fresca del aserradero, se cortaron en cuartones

de diferentes dimensiones con el fin de utilizarlas en los experimentos de secado. Las dimensiones de los cuartones estuvieron sujetas a las dimensiones del soporte del horno de secado y la estufa donde fueron colocadas. Las muestras frescas de madera fueron se cubrieron con plástico impermeable para su traslado al laboratorio, en donde fueron marcadas y almacenadas a 4 °C, para evitar su degradación y pérdida de humedad.

Determinación del contenido de humedad inicial en la madera

Se determinó el contenido de humedad de los cuartones de madera, utilizando el método gravimétrico regido por la norma DIN-52183, este método consistió en introducir las muestras en un horno a 105 ° C, aproximadamente por 30 horas o hasta obtener un peso constante (DIN, 1977). El contenido de humedad se determinó con la siguiente formula:

$$CH = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Cinéticas de secado para la muestra de madera.

Por cada corrida experimental se introdujeron los cuartones frescos en el interior del horno, estas fueron escogidas al azar de las muestras antes marcadas. Los cuartones fueron cortados en dimensiones diferentes para la introducción al horno cuando las condiciones de temperatura, flujo de aire y humedad relativa alcanzaron un valor constante. Los datos del proceso se registraron en los tiempos seleccionados y temperatura en cada experimento se determinó el porcentaje de humedad alcanzado.

Las características de las astillas fueron las siguientes:

Factor A1: longitud promedio 30 mm con un coeficiente de variación (CV) de ± 1,2, ancho promedio 29 mm con un CV de ± 0,8 y espesor promedio de 31 mm con un CV de ± 1,1.

Factor A2: longitud promedio 50,5 mm con un coeficiente de variación (CV) de ± 0,3, ancho promedio 49 mm con un CV de ± 1,6 y espesor promedio de 49 mm con un CV de ± 1,3.

Factor A3: longitud promedio 80,4 mm con un coeficiente de variación (CV) de ± 1,5, ancho promedio 81 mm con un CV de ±2,1 y espesor promedio de 81 mm con un CV de ± 2,3.

Las mediciones se realizaron con un calibrador digital marca Vernier.

Las muestras fueron secadas al horno de acuerdo a los siguientes factores:

- B1: 120 ^{o}C
- B2: 150 ^{o}C
- B3: 180 ^{o}C

El tiempo de secado se llevó a cabo en tres tiempos

- C1:0 min
- C2: 60 min
- C3: 120 min

T: temperatura de secado

C: tamaño de cuartones

t: tiempo de secado

3.2.3 MEDICIONES EXPERIMENTALES

Determinación de humedad

Según Arroyo et al., (2014), la humedad representa una variable muy importante en la biomasa, pues está relacionada con el contenido de agua que posee una muestra en función de su peso. Para ser determinada, se toma en cuenta en base seca o en base húmeda, siendo así CHx la humedad en base húmeda y CHu la humedad en base seca; las fórmulas para su cálculo son:

$$CH_u(\%) = \frac{Ph - Po}{Po} \qquad (1)$$

$$CH_x(\%) = \frac{Ph - Po}{Ph} \qquad (2)$$

Donde CH (%) es el tanto por ciento de humedad, Ph es el peso húmedo de la muestra y Po representa el peso de la muestra después de ser secado en la estufa.

Para la determinación de humedad, se tomaron muestras de los 5 aserraderos, se seleccionó la muestra al azar, las muestras fueron llevadas al laboratorio agroindustrial para el proceso corte en cuartones de tamaño variado (3, 5 y 8 cm aproximadamente)

3.2.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 2. Diseño del Experimento

Factor A TEMPERATURA	Factor B CUARTON	Factor C TIEMPO	Tratamientos
120 ºC	3 5 8	0	T1C1t1 T1C1t2 T1C1t3
		60	T1C2t1 T1C2t2 T1C2t3
		120	T1C3t1 T1C3t2 T1C3t3
150 ºC	3 5 8	0	T2C1t1 T2C1t2 T2C1t3
		60	T2C2t1 T2C2t2 T2C2t3
		120	T2C3t1 T2C3t2 T2C3t3
180 ºC	3 5 8	0	T3C1t1 T3C1t2 T3C1t3
		60	T3C2t1 T3C2t2 T3C2t3
		120	T3C3t1 T3C3t2 T3C3t3

El tamaño de la Unidad experimental fue de 2 Kg. Cada tratamiento se realizó por triplicado, con un total de 81 observaciones

Mediciones experimentales

Los análisis cinéticos del sistema de secado de la biomasa del Pigüe, fueron ejecutados en el laboratorio de la Universidad Estatal Amazónica.

Parámetros Físicos

- Determinación de humedad

3.2.5. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA), prueba de Duncan para la comparación de medias, con $p \leq 0,05$ y se empleó el paquete estadístico SPSS versión para Windows 2017

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del secado de los cuartones de Pigue en horno de aire caliente, a diferentes condiciones de temperatura, manteniendo la velocidad del aire constante en todos los experimentos y no controlando la humedad relativa del secado.

4.1 ANALISIS DE LA HUMEDAD INICIAL

Utilizando la metodología descrita anteriormente, se determinó el contenido de humedad de los cuartones de madera de Pigue, las cuales mostraron una variación en el contenido de humedad inicial como se observa en la Figura 2.

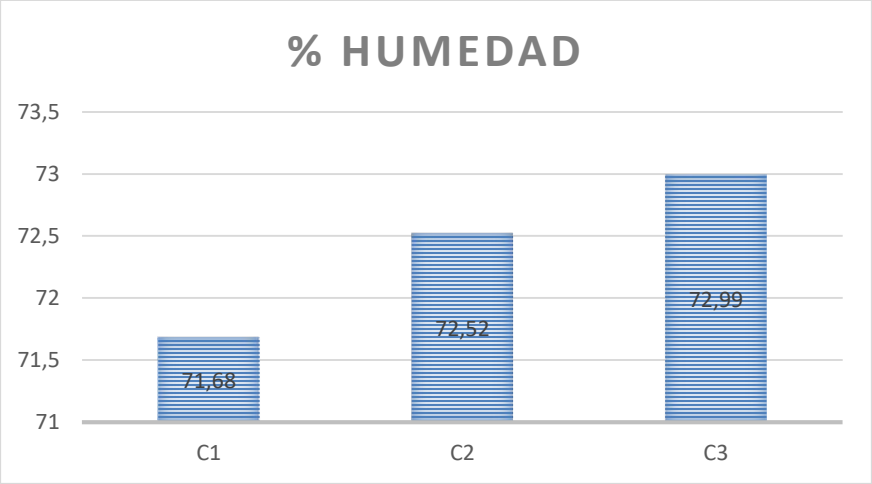


Figura 2. Determinación de la humedad inicial de las muestras analizadas

Se puede observar que el porcentaje de humedad experimental se encuentra en un rango de 71 a 73% lo cual refleja la naturaleza heterogénea y compleja del material utilizado, este comportamiento puede presentarse debido a muchos factores, entre ellos la humedad relativa, densidad de la muestra, lugar de muestreo y otras causas (Martí, V. 2011).

Manuel & Castillo (2015) reportaron valores de humedad de Pigue de 60,16% inferiores a los determinados en la presente investigación.

La humedad en la madera es muy importante puesto que podría ser un vehículo de crecimiento para hongos y patógenos, además se consideraría con características limitadas como material de construcción para exteriores, así como la biomasa con una humedad al 50 % presenta una desventaja en comparación con los combustibles derivados del petróleo; la madera presenta una baja densidad 8 GJ/t (Muñoz et al., 2014).

El porcentaje de humedad que contiene la biomasa residual, de las cuatro muestras de madera, es un factor indispensable para el aprovechamiento energético. De igual manera, el contenido de humedad inferior al 50 %, por muestra, se toma como referencia en base seca; por lo tanto, los resultados obtenidos no son idóneos para su uso energético por lo que es necesario un tratamiento térmico (Arroyo & Reina, 2016).

4.2 EFECTO DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA, TAMAÑO DE CUARTÓN Y TIEMPO DE SECADO DEL PIGUE

Para calcular las cinéticas de secado, se determinó el contenido de humedad a 120ºC y en tiempos de secado de 0, 60 y 120 min en cada muestra. La siguiente figura (Fig 3) muestra las cinéticas de contenido de humedad en las muestras de pigue a diferentes condiciones de temperatura del aire y tiempo.

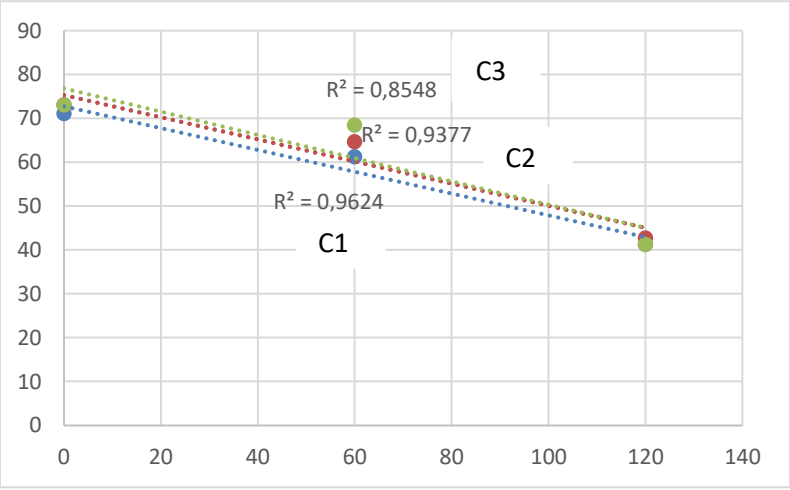


Figura 3. Determinación de humedad en función del tiempo y temperatura de secado a 120^0C

El C1 muestra un modelo de regresión mayor con un 96,24% de la varianza mientras que el C3 obtuvo el meno coeficiente con 85,48% de variabilidad lo que se pudiera interpretar que el contenido de humedad está directamente relacionado con el tamaño de la muestra.

La duración de la cinética de secado fue aproximadamente de 120 minutos, y el contenido final para todas las cinéticas fue en promedio 41,73 %. Se obtuvo una eliminación de agua de aproximadamente 30,65 % a una temperatura de 120^0C.

Con respecto a la determinación de humedad a 150^0C se puede observar el comportamiento en la figura 4.

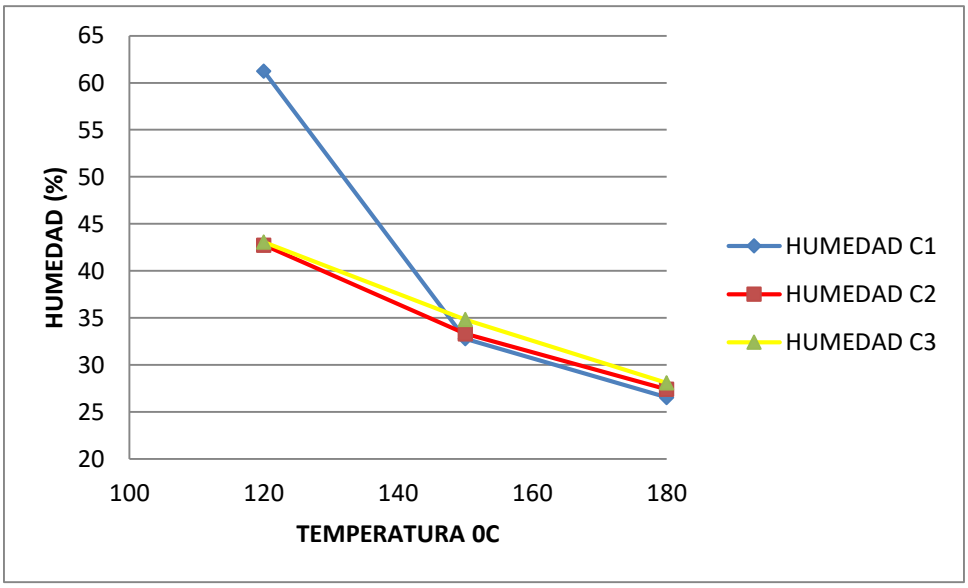


Figura 4. Determinación de humedad en función del tiempo y temperatura de secado a 150^0C

A partir de los 150^oC, los tratamientos de cuartones C1, C2 y C3, alcanzaron valores de humedad muy cercanas durante los 120 min con un promedio de humedad final de 31.54%. la pérdida de humedad a esta temperatura fue de 40,57%.

A temperatura de 180 ^{0}C el comportamiento en cuanto a la eliminación de humedad se puede observar en la figura 5.

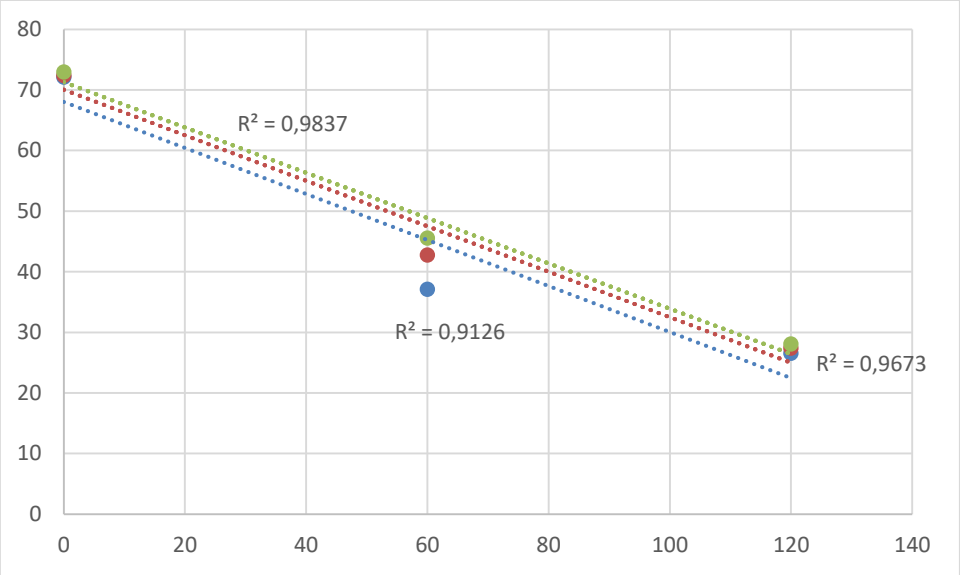


Figura 5. Determinación de humedad en función del tiempo y temperatura de secado a 180^{0}C

A partir de los 180°C, los tratamientos de cuartones C1, C2 y C3, alcanzaron valores de humedad muy cercanas a partir de 60 a 120 min con un promedio de humedad final de 27,34 %. la pérdida de humedad a esta temperatura fue de 45,57%. Esto demuestra que a mayor temperatura mayor será la pérdida de agua.

4.3 ANALISIS DE LOS TRATAMIENTOS EN FUNCIÓN DE LA INTERACCION DE LA TEMPERATURA, TIEMPO DE SECADO Y TAMAÑO DE CUARTÓN

Los tratamientos T3C1T3, T3C2T3, T3C3T3 fueron los que presentaron los valores más bajos de humedad (Tabla 3). Al analizar los resultados se evidencia que existió diferencias significativas entre los tratamientos (P<0,0001)

Con respecto a la influencia que presenta el tamaño de cuartones a una temperatura de 180 ^{0}C, a los 120 min, se obtuvo un valor de humedad de 26,53%, para el Cuartón C1., seguido de los cuartones de C2 y C3 cm, con valores de 27,40 y 28,09 % de humedad respectivamente, sin encontrase diferencias significativas entre ellos.

Tabla 3. Efecto de la interacción de la temperatura, tiempo de secado y tamaño de cuartón en el contenido de humedad

TRATAMIENTOS	HUMEDAD (%)	E.E±	P(0,05)
T3C1T3	26,53a	0,26	<0,0001
T3C2T3	27,40b	0,15	<0,0001
T3C3T3	28,09b	0,18	<0,0001
T2C1T3	33,78c	0,23	<0,0001
T2C2T3	33,31c	0,21	<0,0001
T2C3T3	34,83d	0,15	<0,0001
T3C1T2	37,11e	0,06	<0,0001
T3C2T2	42,73f	0,26	<0,0001
T1C2T3	42,74f	0,21	<0,0001
T1C3T3	43,06f	0,26	<0,0001
T1C1T3	41,23f	0,16	<0,0001
T3C3T2	45,53g	0,26	<0,0001
T2C2T2	52,53h	0,16	<0,0001
T2C1T2	52,87h	0,13	<0,0001
T2C3T2	54,68i	0,18	<0,0001
T1C1T2	61,25j	0,26	<0,0001
T1C2T2	64,67k	0,12	<0,0001
T1C3T2	68,49l	0,14	<0,0001
T3C3T1	72,06m	0,14	<0,0001
T1C2T1	73,06m	0,26	<0,0001
T1C1T1	71,06m	0,26	<0,0001
T3C2T1	72,40m	0,22	<0,0001
T2C2T1	72,1m	0,26	<0,0001
T2C1T1	71,86m	0,21	<0,0001
T2C3T1	72,96m	0,26	<0,0001
T3C1T1	72,12m	0,25	<0,0001
T1C3T1	73,04m	0,26	<0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05); E.E±: Error estándar

La figura 6, se muestra el comportamiento de la humedad en función de la temperatura y el tiempo de secado.

A 120 ^{o}C la pérdida de humedad promedio fue de 9,1% para los cuartones C1 y C2 a los 60 min., mientras que, para C3 la pérdida de humedad fue de 4,55%.

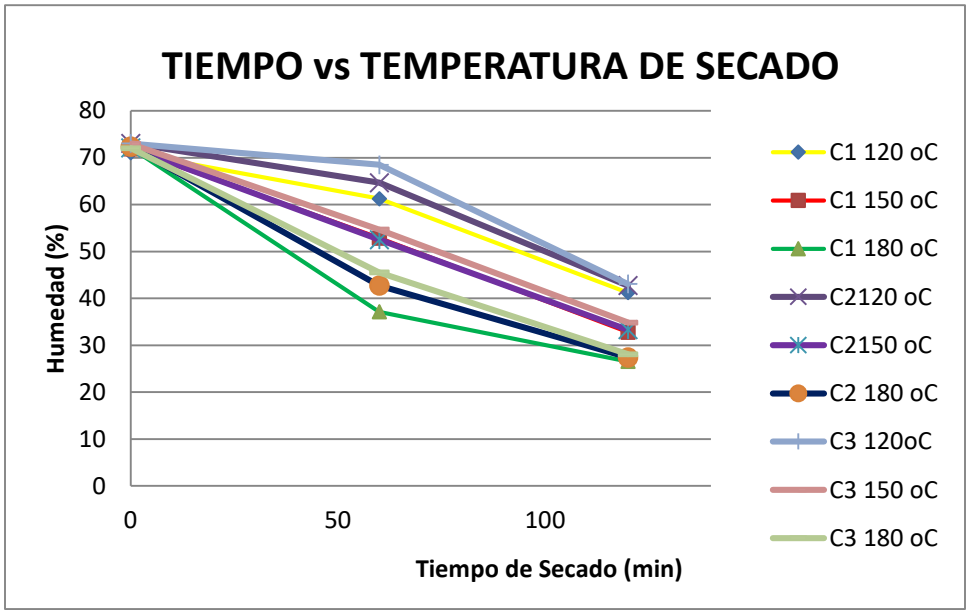


Figura 6. Comportamiento de la humedad en función de la temperatura y el tiempo de secado.

En lo que respecta al secado a 150 ºC, se obtuvo una pérdida de humedad promedio de 18,94% para C1, C2 y C3. A 180 ºC, la pérdida de humedad para el C1 fue de 35%, para C2 de 29,67% y C3 de 26,53%

Al analizar los porcentajes de humedad perdida en cada tratamiento por efecto de la temperatura, de 60 a 120 min se obtuvieron los siguientes resultados. La pérdida de humedad a los 120 ºC fue en promedio de 20,98% para C1 y C2, mientras que para C3 fue de 25,43%

Para 150 ºC se obtuvo un promedio por pérdida de humedad de 19,72 para los tratamientos C1, C2 y C3; mientras que en 180 ºC la pérdida fue de 10,58% para C1, 15,33% para C2 y 17,44% para C3, lo que se evidencia que a los 60 minutos de secado se obtuvo una mayor pérdida a los 150ºC que a 120 min.

Calderón & Bobadilla (2012) menciona que la madera tiene un comportamiento determinado por su red capilar, con cambios notables de forma y volumen. Cuando pierde agua o humedad

se contrae un 0,8(%) en dirección axial o de las fibras, del 1 al 7,8(%) en dirección radial, y del 5 al 11,5(%) en sentido tangencial.

Esto indica que la mayor pérdida de humedad estará influenciada por la forma de la madera, para el presente estudio se observó que a 180 ºC en el C3 se obtuvo valores por pérdida de 17,44%.

El pigue es una madera liviana o medianamente dura y su porcentaje de humedad varia de 10 a 60% (Merino, 2011).

Smith & Bracho (2011) determinó porcentajes de humedad de biomasa a 105ºC durante 24 horas en partículas de 0,5 a 1 cm, obteniendo valores de 10 a 15 % los mismos que fueron empleados en la elaboración de tableros aglomerados.

Bombino et al., (2013) menciona que: El secado es una operación básica que consiste en reducir la humedad de un producto cualquiera, de forma que el producto final presenta unas características muy diferentes a las de la inicial. El secado de biomasa para su utilización posterior, aunque es una técnica altamente desarrollada, origina consumos de energía considerables que habrá que tratar de minimizar, es por eso que la importancia de buscar temperaturas óptimas de secado serán una buena opción.

García et al., (2016) indican que: El secado de la biomasa, es un proceso que es prácticamente obligatorio para la mayoría de los casos en los que la biomasa tenga un contenido de humedad medianamente elevado (más de un 30%). Para llevar a cabo un peletizado exitoso, la materia prima debe presentar contenidos de humedad en un rango no superior a un 8 o un 12%.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La humedad de la madera durante el secado de la masa forestal del Pigue (*piptocoma discolor)* tiene un descenso de peso que varía conforme a la temperatura aplicada en cada tratamiento y esta oscila en un intervalo de 25 a 17 % de pérdidas por humedad a partir de los 60 minutos de secado.
- El tratamiento que obtuvo la mayor pérdida de humedad fue el cuartón C1 a 180 ^{o}C durante 120 min (T3C1T3); sin embargo, para 150 ^{o}C se obtuvo un promedio por pérdida de humedad de 19,72% para los tratamientos C1, C2 y C3; mientras que en 180 ^{o}C la pérdida fue de 10,58% para C1, 15,33% para C2 y 17,44% para C3, a los 60 minutos de secado, lo que se obtuvo mayor pérdida que a 120 min.
- Para el proceso de molienda con los resulados obtenidos se pueden emplear cuartones de 8 cm a 150 ^{o}C de temperatura de secado en un tiempo mínimo de 60 min.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se analice la humedad en tamaños de cuartones superiores a los empleados en la presente investigación, con el fin de disminuir el tiempo empleado a la molienda
- Realizar estudios orientados a la determinación de la modelación matemática de la cinética de secado
- Socializar la presente investigación con los artesanos que emplean el pigue en la elaboración de empaques para frutas con la finalidad de orientar a una nueva alternativa de aprovechamiento integral de la madera

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFIA

Aguirre S., C.A., J.R. Valdez L., G. Ángeles P., H.M. De los Santos P. y A.I. Aguirre S. (2011). Mapeo de índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos SPOT HRG: Regresión y k-nn. Agrociencia 45(1):105-119.

Álvarez Castillo A., García Hernández E., Domínguez Domínguez M., Granados Baeza J., Aguirre Cruz A., Carmona García R., Morales Cepeda A., Herrera Franco P., Licea Claveríe A., Mendoza Martínez A., (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. Revista Iberoamericana de polímeros, 13, 141-145.

Alcivar, U. (2016). Influencia de los tipos de secado. *Scielo*, 187-196.

Ananias, R. (2005). Estudio de la Cinetica convencional y bajo vacio de pino radiata. *Maderas ciencia y tecnologia*.

Arroyo, J. (2014). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Mérida, VE, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. 197 p

Arroyo, J. S., & Reina, W. S. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor, Ingenius N.° 16, (julio-diciembre). pp. 20-29. ISSN: 1390-650X

Ávila C., L. (2012). Fundamentos de Química de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo – Morevalladolid. Morelia. 113 p

Benítez, D. M. (10 de septiembre de 2016). Industrialización sustitutiva de importaciones (Modelo ISI). Quito, Pichincha.

Bombino Matos EF, Roca Alarcón GA, Marín MJE. (2013) Modelación del secado neumático vortiginoso del bagazo de la caña de azúcar Ingeniería Mecánica.;16(3):194-201.

Brett, C. T. (2000). “Cellulose microfibrils in plants: Biosynthesis, deposition and integration into the cell wall,” Int. Rev. Cytol. 199, 161-199.

Calderón Arias, L.; Bobadilla, I. (2012). Estudio sobre la influencia del contenido de humedad de la madera en ensayos no destructivos para Pinus nigra Arn, Pinus radiata D.Don. y Pinus sylvestris L. Universidad Politecnica de Madrid. E.U.I.T. Forestal.

CEPAL, 2011. Estadísticas de América Latina y el Caribe. [En línea] Disponible en: http://websie.eclac.cl/infest/ ajax/cepalstat.asp?carpeta=estadisticas [Último acceso: 31 Agosto 2011].

DIN 52182. 1977. Determinación del Contenido de Humedad de la Madera

Erazo, G. (2014). El uso de pigüe (Piptocoma discolor) por los pequeños. *CIFOR*.

Erazo, G.; Izurieta, J.; Cronkleton, A. y Putzel, L. (2014). El uso del pigue (Piptocoma discolor) por los pequeños productores de Napo, Ecuador. Brief. 26: 1-5. DOI: 10.17528/cifor/004424.

Gaitán, Alexander; Fonthal, Gerardo y Ariza-Calderon, Hernando. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de Pennisetum purpureum schum, Philodendron longirrhizum y Musa acuminata. Rev Cie Téc Agr [online]. 25(1): 5-11.

García, C.A., M.L. Vaca y G.F. Talero. (2013). Aprovechamiento de biomasa peletizada en el sector ladrillero en Bogotá-Colombia: análisis energético y ambiental, doi:10.4067/S0718-07642013000300013, Inf. Tecnológica, 24(3), 115-120

HERNÁNDEZ BENALCÁZAR, H., GAGNON, D. y DAVIDSON, R., 2015. Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales de la Amazonía ecuatoriana de estados sucesionales diferentes. Quito: UCE [en línea], pp. 1- 7. [Consulta: 30 agosto 2018]. ISSN 1390 - 8928. Disponible en: http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25 000/5149.

MAGAP. (2014). INDUSTRIA MADERERA EN EL ECUADOR. 1-2.

Manuel, E., & Castillo, U. (2015). Determinación del Poder Calorífico de 20 especies forestales de Amazonía Peruana. Forestal del Perú, 12, 1-20. Obtenido de http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art8.pdf

Martí, V. (2011). Quantificatión of the resiual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean almond groves. *Renewable Energy 36 (2011) 621-626*, 7.

Matute, R. (2007). Diseño de un sistema de secado artificial de madera automático: Capacidad (20 m^3). *Nota Cientifica*, 1.

Merino, J. C. (2011). Estudio economico de dos formas de aprovechamiento forestal.

Muñoz-Muñoz, D., Pantoja-Matta, J., & Cuatin-Guarin, M. (2014). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustibles y biorefinería. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroinudstrial Vol 12 No.2 (10-19)*, 10.

Naciones Unidas. (2014). sobre el Medioambiente y Desarrollo, Energía de la Biomasa y la residuos sólidos. (pág. Cap 18). Naciones Unidades.

Pettersen, R.C. 1984. The chemical composition of wood. In: R.M. Rowell, ed. The chemistry of solid wood. ACS Advances in Chemistry Series No. 207, American Chemical Society. Washington D.C., EUA. p:57-126.

Romero, M., Velasteguí, D. y Robles, M. (2011). Informe técnico descripción de las cadenas productivas de madera en el Ecuador. Ministerio del Ambiente: Quito, Ecuador.

Rutiaga Q., J.G., F.E. Pedraza Bucio y P. López Albarrán. (2010). Componentes químicos principales de la madera de Dalbergia granadillo Pittier y de Platymiscium lasiocarpum Sandw. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(2):179-186

Sadoth, S. T. (2009). Modelacion Matematica del secado convencional de la madera. *Madera y Bosques versión impresa ISSN 1405-0471, 15*(1), 75-89.

Silvina, M. (2008). Cinetica de la tansferencia de masa. *Scielo*.

Smith, S. y Bracho, Y. (2011). Aprovechamiento de la biomasa residual seca, una alternativa para la generación local de energía eléctrica en Venezuela. Revista Forestal Latinoamericana, 26(1), 25-42.

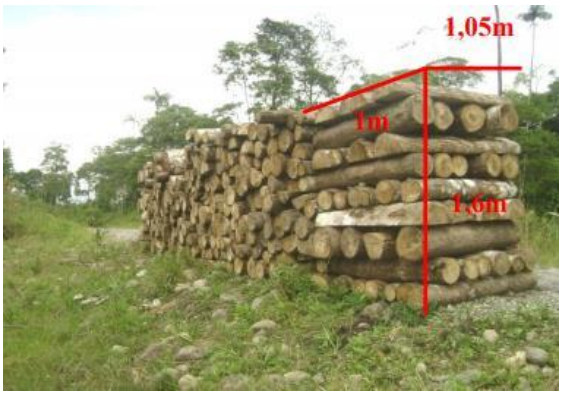
Urien Pinedo, A. (2013). Obtención De Biocarbones Y Biocombustibles Mediante Pirólisis De Biomasa Residual. Masterado. Universidad Nacional de Educación a Distancia Facultad de Ciencias Departamento de Ciencias Analíticas

Xu, E. (2009). Chemical Mechanical Pulping Of Eucalyptus - Latest Development & Comparison. In: 4th International colloquium on Eucalyptus pulp. Concepción, Chile.

ANEXOS



Árbol de Pigue cortado



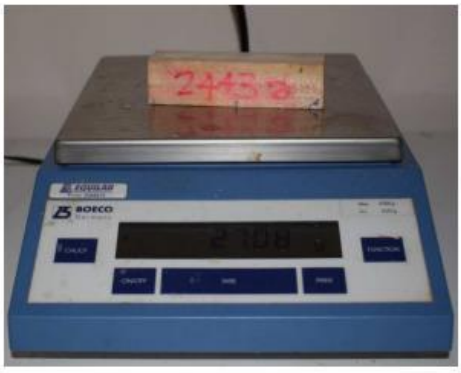
Almacenamiento Pigue



Obtención de palets de Pigue



Corte de cuartones de Pigue





Pesado y Secado de cuartones de Pigue