

## **1 INTRODUCCIÓN.**

Los procesos relacionados con el crecimiento y desarrollo del árbol dependen del movimiento del agua desde las raíces hasta las hojas, donde se producen los “alimentos” para este y su transporte a las zonas de crecimiento. El agua es el medio de transporte y su presencia en grandes cantidades dentro del árbol, el cual es una condición natural, esencial para su vida. (JUNAC, 2006).

Cuando hablamos de secado de la madera nos estamos refiriendo a la relación entre madera y la humedad, que es sin duda uno de los aspectos mas importantes de la tecnología de la madera para evitar perdida y problemas de calidad, por tanto la madera debe secarse en forma controlada.

El estudio tecnológico de las relaciones entre el agua y la madera, es seguramente el más importante de todos los que dependen de este material, dado que, afecta a la mayoría de los procesos de transformación de la madera, están influenciadas por el contenido de humedad de la madera.(JUNAC,2006)

Pero es conocida la variabilidad de comportamiento que presentan las distintas especies de madera durante el secado e incluso esta variabilidad puede observarse entre la misma especie, produciéndose defectos al contraerse dimensionalmente.

Así, la humedad de la madera influye de forma determinante en la concepción de procesos tales como el aserrado, desenrollo, el cepillado, el encolado, el barnizado, etc. respecto del comportamiento, la humedad es un factor determinante en su durabilidad., en su resistencia, peso y sobre todo en sus dimensiones. (Santiago Vignotel, 2000)

## 1.2. JUSTIFICACIÓN.

Uno de los principales problemas que enfrenta la industria regional de la madera es el uso de la madera con un contenido de humedad apropiado que generalmente debe ser inferior al 15 o 18%, este problema se presenta desde la fabricación y durante la vida de servicio del producto, estos contenidos de humedad pueden ser alcanzados con márgenes adecuados de rentabilidad mediante el proceso de secado al aire libre. (Taboada, 2007).

Las apreciaciones iniciales acerca de las ventajas de este método de secado al aire libre ponen en manifiesto, precisamente su poca dependencia de los combustibles tradicionales, tanto en abastecimiento como en precio, lo que redunda en una mejora en la competitividad del producto secado por el bajo costo de la energía solar, debiéndose agregar, también que desde el punto de vista ecológico este tipo de secado constituye una respuesta a problemas de contaminación ambiental. (Taboada 2007).

La madera posee una serie de propiedades que la convierten en materia prima de excelente calidad para la fabricación de ciertos productos ya que se desconoce de información documentada excepto sobre morfología y relocalización: mientras que el secado al aire libre de la especie Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia Radlk*) no han sido estudiadas, por eso mismo nos motiva a realizar el estudio del secado de la madera de esta especie con fines de conseguir usos probables.

### **1.3 HIPÓTESIS**

El secado de madera usando el método de secado al aire libre bajo cubierta será óptimo para obtener madera seca y de buena calidad en un menor tiempo y a un bajo costo de inversión de esta especie.

### **1.4 OBJETIVOS.**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar el tiempo óptimo de secado al aire libre de madera aserrada de la especie Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia Radlk*) usando el método de encastillado horizontal bajo cubierta en la ciudad de Tarija.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ❖ Determinar el tiempo de secado al aire libre bajo cubierta de la especie Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia Radlk*).
- ❖ Determinar el peso específico, anhidro, densidad básica, el gradiente de humedad, gradiente de secado y humedad de equilibrio higroscópica de la madera del Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia Radlk*).
- ❖ Identificar los tipos de deformaciones que se presenta durante el tiempo de secado al aire libre.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1 Características de la madera.

La madera es el conjunto de tejidos que forman el tronco, las raíces y las ramas de los árboles, excluida la corteza.

- Es un material no homogéneo y con comportamiento anisótropo compuesto por fibras vegetales (celulosa).
- Tiene una baja densidad y una baja conductividad térmica, buen comportamiento acústico y mecánico.
- Fácil de trabajar y conformar por corte y labra. Por otra parte, es combustible, de volumen inestable (higroscópica) y atacable por insectos y ataques orgánicos (putrefacción)

#### 2.1.1 Partes del tronco.

La **corteza** o **ritidoma** es la capa más externa de tallos y de raíces de planta leñosas, como los árboles. Cubre y protege la madera y consiste de tres capas, el felógeno, el floema, y el cambium vascular. Puede alcanzar cerca del 10 - 15 % del peso total del árbol.

El **cambium** es la capa microscópica constituida por células vivas y de paredes muy delgadas, que se localizan entre la corteza y el xilema. A través del proceso de división celular, el cambium produce madera hacia la parte interna del árbol y corteza hacia la parte externa, aumentando así el diámetro del tronco.

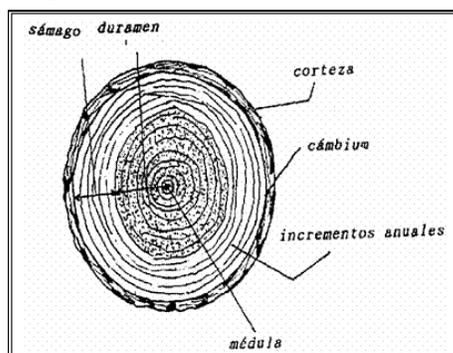
*El sámag* o *jane*, parte viva de la madera generalmente de color claro, está situada entre el cambium y el duramen. Su contenido de humedad es mayor que el del duramen pero, seca más rápidamente que éste.

**El duramen o madera de corazón**, es la parte interna del tronco conformada por tejido muerto. Por lo general, esta madera es más oscura que la albura y su delimitación no siempre está bien definida.

**La médula**, es el núcleo central de un tronco. La madera cercana a la médula tiende a secar con más defectos que el resto del leño. (Cruz. 2004).

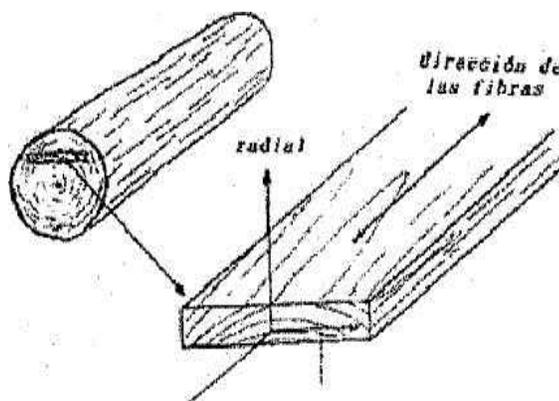
**Anillos de crecimiento**, son capas concéntricas de engrosamiento diametral, visibles en muchas especies, formadas por acción del cambium.

**Fig. N° 1: Partes del tronco.**



**2.1.2 Cortes de la madera.** Los cortes en un tronco pueden ser de cuatro tipos (ver Fig. n° 2)

**Cortes de la madera.**



**Fig. N° 2**

---

Fuente: (USDA Forest Service 1995)

**Corte transversal** o sea de dirección perpendicular al eje del tronco, se produce, por ejemplo, al voltear un árbol o seccionar un tronco.

**Corte tangencial** cuando se realiza tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol. Es el corte en el que mejor se aprecia el veteado o figura de la madera.

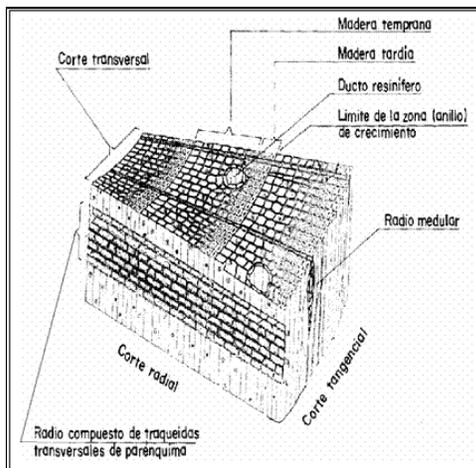
**Corte radial** cuando tiene dirección paralela a los radios. Es el corte más estable de la madera ante cambios de humedad del material.

**Corte oblicuo** cuando se realiza de manera intermedia entre el corte tangencial y el corte radial. (Vizcarra, 1998).

**2.1.3 Estructura anatómica de la madera.** La madera es un material biológico de origen vegetal. Cuando forma parte del tronco de los árboles, sirve para transportar el agua y las sustancias nutritivas del suelo hacia las hojas, da soporte a las ramas que sostienen la copa y fija las sustancias de reserva almacenando los productos transformados por las hojas.

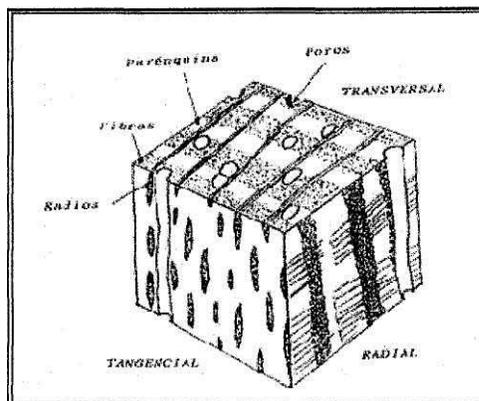
Todas estas funciones determinan la naturaleza de la madera, caracterizada por su porosidad y elevada resistencia en relación con su peso, propiedades éstas que la hacen categóricamente diferente a los otros materiales de construcción conocidos lo que origina que sus propiedades se manifiesten en diferente magnitud según las direcciones de corte.(PADT REFORT.1982).

**Fig. N° 3: Estructura anatómica de una madera blanda.**



**2.1.4 Tejidos principales de la madera.** Realizando un corte en la madera y observándolo con lupa o microscopio, se puede apreciar los siguientes tejidos básicos.

*Fig. N°4: Tejidos principales de la madera*



**Poros**, se denomina así al corte transversal de los vasos. Son de diferente tamaño y pueden estar o no agrupados.

**Parénquima**, es un tejido de reserva que puede ser de dos tipos: longitudinal, un tejido blando y claro, y los radios que se dirigen al centro del tronco. Constituyen zonas de fallas donde se originan las grietas y rajaduras de la madera, durante el secado.

**Fibras**, tejido que cumple la función de sostén del árbol; sus extremos son ahusados y el interior es hueco. Las paredes son de grosor variable, según la densidad de la madera. (Vizcarra, 1998).

## **2.1.5 Características físico-mecánicas.**

### **2.1.5.1 Contenido de humedad.**

La determinación del contenido de humedad en la madera se hace considerando sólo los valores del agua libre y de saturación o higroscópica. Es decir que, en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando al secarla en estufa a  $101 \pm 2$  grados centígrados alcanza su peso constante.

El contenido de humedad (*CH*) se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno o anhidra. Su valor numérico se expresa en porcentaje.

**2.1.5.2 Porosidad.** Se denomina así al corte transversal de los vasos. Son de diferente tamaño y pueden estar o no agrupados.

**2.1.5.3 Densidad y peso específico.** La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando esta en el estado verde, el volumen disminuye cuando el *CH* es menor que el punto de saturación de las fibras (*PSF*) y vuelve a ser constante cuando se ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una muestra de madera.

La densidad verde (*DV*) la relación que existe entre el peso verde (*PV*) y el volumen verde (*VV*).

La densidad seca al aire (*DSA*) la relación que existe entre el peso seco al aire (*PSA*) y el volumen seco al aire (*VSA*).

La densidad anhidra (*DA*) es la relación entre el peso seco al horno o peso anhidro (*PSH*) y el volumen seco al horno (*VSH*). (PADT REFORT.1982).

La densidad básica (*DB*) es la relación entre el peso seco al horno o peso anhidro (*PSH*) y el volumen verde (*VV*). Es el menor de los cuatro.

La densidad básica es la que se usa con ventaja ya que las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada.

El peso específico (*Pe*) es la relación entre el peso de la madera, a un determinado *CH*, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera.

Considerando que el agua tiene densidad igual a  $1\text{gr/cm}^3$  puede decirse que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua igualan a su peso específico. (PADT REFORT.1982).

**2.1.5.4. Resistencia mecánica. Fibras**, tejido que cumple la función de sostén del árbol; sus extremos son ahusados y el interior es hueco. Las paredes son de grosor variable, según la densidad de la madera. (Vizcarra, 1998).

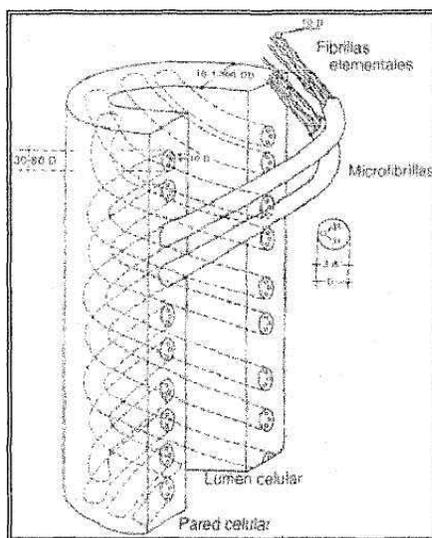
## 2.1.6 Agua en la madera.

### 2.1.6.1 Higroscopicidad de la madera.

Es la capacidad que tienen ciertos materiales de absorber humedad de la atmósfera que le rodea y de retenerla en forma del agua líquida o vapor de agua.

La madera contienen huecos en el lumen celular, entre las micro fibrillas y entre las fibrillas elementales todos ellos susceptibles de ser ocupados de agua.

**Fig. N°5: Esquema de los componentes de la pared celular.**



El hueco del lumen es relativamente tan grande, que su fuerza capilar no es suficiente como para captar agua de la atmósfera, llenándose solo de agua, cuando la madera se

sumerge en ella.

Por el contrario, los huecos entre las micro fibrillas y las fibrillas elementales son tan pequeños que originan fuerzas de Van der Waals, capilares y de adhesión superficial suficientes como para captar agua de la atmósfera que le rodea. Como, por otra parte, la atmósfera tiene una fuerza desecante, dependiente de la temperatura, humedad relativa y presión a la que se encuentra, es también capaz de captar agua en la pared celular de la madera. Dependiendo de la fuerza de uno u otro, la madera capta o cede agua. Esta propiedad de los cuerpos de establecer intercambio de humedad con el medio ambiente se denomina higroscopicidad. (Santiago Vignote, et al, 2000).

## **2.2. Tipos de agua en la madera.**

**2.2.1 Agua libre.** Es la que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares, dándole a la madera la condición de verde. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros

Al iniciarse el secado, el agua libre se va perdiendo fácilmente por evaporación, ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que ya no contiene más agua de este tipo. En este punto, la madera estará en lo que se denomina "punto o zona de saturación de las fibras" (PSF), que corresponde a un contenido de humedad entre el 21 y 32% (SIAU, 1984 Citado por JUNAC, 1989).

**2.2.2 Agua de inhibición.** Es el agua que se encuentra en las paredes celulares; también es llamada agua de ligación. Existe la teoría de que el agua higroscópica está constituida por hidrogeniones fijados principalmente a los grupos hidroxilo de la celulosa y hemicelulosa y en menor proporción a los grupos hidroxilo de la lignina.

Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continúa secándose, la pérdida de humedad ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera

circundante.

Para la mayoría de las especies, el "equilibrio higroscópico" está entre el 12 y 18% de contenido de humedad, dependiendo del lugar donde se realiza el secado. La madera secada al aire libre sólo puede alcanzar estos valores de humedad de equilibrio. Para obtener contenidos de humedad menores, debe acudir al secado artificial para eliminar el resto del agua de saturación o higroscópica.

**2.2.3 Agua de constitución.** Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera. (JUNAC, 1989).

**2.3. Movimiento del agua en la madera.** Para poder interpretar los fenómenos producidos durante el secado y aplicar las conclusiones, es importante destacar el movimiento del agua en el interior de la madera y sus consecuencias en el compartimiento del leño.

El movimiento del agua se efectúa según principios bien establecidos, entre los que se mencionan a los siguientes por su incidencia en el proceso de secado.

- a) La humedad circula desde la zona más húmeda hacia las zonas más secas, perpendicularmente a las superficies de igual grado de humedad.
- b) La circulación del agua es máxima en el sentido axial, algo menor en el radial y mínimo en tangencial.
- c) La velocidad de la circulación disminuye al aumentar el peso específico y las diferencias anotadas en el punto anterior tienden a desaparecer para las maderas con densidades elevadas.
- d) Cuanto más bajo es el contenido de humedad de una madera menor será el coeficiente de circulación para desplazar una cantidad dada de agua; es decir, que una madera con 15 % de humedad tardara más en llegar al 10% que una madera con el

30% para descender al 25% (TINTO C. 1997).

Durante este proceso de secado, el agua en la madera se mueve desde el centro o parte más húmeda hacia la superficie o parte más seca de la madera, a través de varios tipos de conductos, siendo las principales las cavidades celulares, las punteaduras los radios medulares, los espacios intercelulares de las paredes celulares y las perforaciones, esto en un esfuerzo por alcanzar un equilibrio con las condiciones climáticas del medio circundante.

**2.3.1 Gradiente de humedad de la madera.** Al ser el secado un fenómeno superficial, hace que se produzca un diferencial de humedades (gradiente) entre exterior más seco y el interior, que determina la aparición de tensiones que pueden ser causas de fendas. (Vignote, et al, 2000).

A estas tensiones producidas por el gradiente de humedad, se unen las tensiones que supone la diferente merma de la madera según diferentes direcciones, que puede ser origen de fendas y alabeos de las piezas.

El principio del secado se basa en sacar el agua de la madera a la misma velocidad a la que circula el agua del interior al exterior, de forma que el gradiente de humedad producido entre el interior y el exterior sea muy pequeño y no cause los defectos anteriormente aludidos. (Vignote, et al, 2000).

**2.3.2 Determinación del contenido de humedad de la madera.** La determinación del contenido de humedad en la madera se hace considerando sólo los valores del agua libre y de saturación o higroscópica. Es decir que, en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando al secarla en estufa a  $101 \pm 2$  grados centígrados alcanza su peso constante.

El contenido de humedad (*CH*) se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno o anhidra.

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Dónde:

CH=contenido de humedad en %

Ph= peso verde o húmedo de la probeta

Ps= peso seco al horno o anhidro de la probeta

## **2.4 Bases del secado de la madera.**

**2.4.1 Bases físicas del secado de la madera.** Tanto en el secado en estufa como en el secado al aire, el agua es removida de la superficie de la madera por evaporación. La velocidad de evaporación es controlada por la temperatura, la humedad del ambiente y la velocidad del aire que pasa a través de la pila de secado. Para entender la mecánica del proceso de secado es por lo tanto necesario familiarizarse con las leyes de evaporación y sus relaciones con los parámetros de control. (JUNAC, 1989).

**2.4.2 Temperatura.** La temperatura es un factor de aceleración de la evaporación ya que, cuanto más elevada sea la temperatura del ambiente que rodea la madera, más intensa será la evaporación puesto que el aire podrá absorber más humedad.

Hacia el interior de la pieza de madera, la temperatura condiciona también la velocidad del movimiento del agua, aumentando el coeficiente de circulación con un incremento de la temperatura. Así, a 80° C la velocidad del movimiento del agua al interior de la madera es aproximadamente cinco veces mayor que a 25° C.

Como puede verse, la temperatura juega un papel muy importante durante el proceso de secado de la madera. Es importante también tener en cuenta que la temperatura, conjuntamente con la humedad relativa, son los elementos que determinan el clima dentro de una secadora y el equilibrio del contenido de humedad de la madera.

El control de la temperatura constituye, para muchas especies, el factor de mayor peso durante el desarrollo del proceso de secado. Así por ejemplo, para maderas

livianas (ordinarias), la temperatura máxima admisible alcanza los 70 a 90 °C para una calidad de secado excelente; para una calidad media a regular la temperatura máxima puede subir hasta 120° C Para maderas semipesados a pesadas, el rango de temperatura máxima es de 60 a 80° C. Para madera verde y recién aserrada, con un contenido de humedad mayor que 30%, debe secarse a temperaturas más bajas para evitar defectos como colapso de células, grietas internas, rajaduras, etc. (JUNAC, 1989).

**2.4.3 Humedad del aire.** La humedad relativa del aire influye o afecta directamente la humedad de la madera. Si la humedad relativa aumenta, entonces aumenta la humedad de la madera e inversamente, la humedad de la madera disminuye cuando la humedad relativa del aire disminuye. Esta aseveración se cumple cuando se mantiene la temperatura constante y cuando los procesos se llevan a cabo en un sistema cerrado. (JUNAC, 1989).

**2.4.4 Humedad de Equilibrio Higroscópico.** Se denomina Humedad de Equilibrio Higroscópico HEH la humedad de la madera a la que se equilibran la fuerza desecante de ésta con la de la atmósfera. También se puede definir como el porcentaje de humedad que alcanzaría una madera a lo largo del tiempo, sometida a unas ciertas condiciones de humedad y temperatura del medio ambiente. (Santiago Vignote, et al, 2000).

Como el aire cambia de condiciones climáticas constantemente, este punto de equilibrio (HEH), también cambia constantemente, tomando agua la madera cuando disminuye la fuerza desecante del aire o cediendo agua la madera cuando aumenta la fuerza desecante del aire.

Como los cambios climáticos del aire se suceden continuamente, del día a la noche, según las *estaciones*, hace que la humedad de la madera también cambie continuamente, si bien en valores muy pequeños.

Kollmann, comprobó que la HEH es casi constante para todas las maderas,

elaborando un gráfico, para determinar este valor.

Según este gráfico, la HEH máxima que puede tener una madera, cuando se la expone a un ambiente saturado de humedad es del 30%. Esta es la humedad que satura todos los huecos existentes entre las fibrillas elementales, entre las microfibrillas y entre las fibras que componen la pared celular. A este punto de humedad se le denomina punto de saturación de la fibra (PSF), que como se ha indicado corresponde a un 30% de humedad de la madera. (Santiago Vignote, et al, 2000).

Para que la madera adquiriera *más* humedad que la correspondiente al PSF, es necesario sumergirla en agua y llenar los espacios existentes en el lumen celular.

**2.4.5 Velocidad del aire.** La circulación del aire es otro de los elementos de control de la velocidad de evaporación del agua durante el proceso de secado de la madera. La ventilación o circulación del aire fresco a través del apilado de madera y la expulsión de la humedad, son condiciones necesarias para asegurar la remoción del exceso de humedad dentro de un horno y así mantener las condiciones de humedad relativa deseada.

La velocidad del aire dentro de una pila tiene como funciones principales, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en la madera facilitando así su evaporación y, transportar la humedad saliente de la madera.(JUNAC, 1989).

**2.4.6 Proceso del secado de la madera.** Las leyes que regulan el proceso de secado de la madera son de naturaleza diferente, dependiendo si el contenido de humedad está por encima o por debajo del punto de saturación de las fibras.

Por encima de este punto, la velocidad de secado, bajo condiciones estables de temperatura y humedad relativa del aire, permanece y el movimiento del agua libre líquida es causado por fuerzas capilares, durante la evaporación del agua libre no se producen tensiones dentro de la madera y solamente se modifica la distribución del contenido de humedad hacia el interior de la pieza. (JUNAC, 1989).

Cuando el secado ya ha avanzado a contenidos de humedad por debajo de punto de saturación (zona higroscópica), la permeabilidad de la estructura microscópica y submicroscópica de la madera entra a jugar un papel importante en el proceso de remoción del agua.

En este rango higroscópico, el agua retenida en la madera por fuerzas de naturaleza molecular y/o eléctrica se mueve por difusión a través de las paredes celulares, debido al gradiente de humedad que se crea entre las paredes de las células vecinas.

Finalmente, la curva tiende hacia un valor límite que no es otro que la humedad de equilibrio de la madera correspondiente a las condiciones climáticas establecidas.

**2.4.7 Gradiente de secado.** El gradiente de secado es una medida del potencial de secado de la madera. De la magnitud de este gradiente depende la forma y progreso del secado. Gradientes demasiado elevados producen un secamiento muy rápido de las capas superficiales de la madera, con el consecuente riesgo de formación de tensiones internas, grietas, deformaciones y aún endurecimiento. Al contrario un gradiente de secado excesivamente pequeño prolonga el tiempo de secado, aumentando sus costos. (JUNAC, 1989).

**2.4.8 Importancia del secado de la madera.** Se ha comprobado, que la madera al secarse mejora sus propiedades tecnológicas, por eso es que prácticamente todas las maderas reciben un acondicionamiento físico antes de su empleo. La eliminación del agua obedece a diversos propósitos, algunos de los cuales, son indispensables para conseguir la buena calidad de los productos acabados.

La irracionalidad actual de no secar la madera aserrada se manifiesta claramente en las enormes pérdidas económicas.

Cualquiera que sea el método empleado para secar la madera, debe tenerse en cuenta, que en este proceso se producen cambios que pueden originar anomalías capaces de cambiar radicalmente el principio básico de la técnica del secado, el cual no sólo

se limita a secar la madera, sino que considera fundamental el hecho de que no se produzcan defectos que desvaloricen a la madera, además de tener en cuenta la rapidez y economía del secado.

**2.4.9 Resistencia a deterioro por agentes biológicos.** Entre los agentes biológicos que atacan a la madera húmeda, se destacan los insectos y hongos. Aunque el secado ofrece sólo una protección muy limitada de la madera contra el deterioro por insectos, hay que señalar la posibilidad y así necesidad de reducir el riesgo mediante el secado.

Para formarse una idea acerca del deterioro causado por hongos, sea en forma de pudriciones o sólo manchas que no destruyen, pero que desvalorizan la madera aserrada, basta inspeccionar los patios de aserraderos o depósitos de madera.

Al no apilar debidamente la madera aserrada, dejándola votada en el suelo, se crean las condiciones ideales para el ataque y desarrollo de hongos. Aunque hasta ahora no se han analizado detalladamente las pérdidas efectivas originadas por hongos. (Horst Schrewe).

**2.4.10 Mejoramiento de las propiedades mecánicas.** Por debajo del punto de saturación de las fibras mejoran considerablemente las propiedades mecánicas de la madera como, por ejemplo, la flexión, compresión o dureza, convirtiendo la madera en un excelente material de construcción.

**2.4.11 Otras ventajas.** Aparte de las razones antes resumidas, que muestran la necesidad absoluta de secar la madera aserrada, es digno mencionar algunas ventajas adicionales que son las siguientes:

❖ **Secado al aire libre.**

El secado al aire libre se lleva a cabo exponiendo la madera aserrada a la atmósfera de un patio, cancha o yarda, como suele denominarse a las áreas destinadas al secado. El secado al aire libre es la forma más sencilla y, en muchos casos, la más barata para

secar la madera aserrada, el objetivo principal es, igual como en el caso del secado artificial, secar la madera aserrada en el tiempo más corto posible y con un mínimo de defectos.

Obviamente, puede secarse la madera aserrada al aire libre sólo hasta la humedad de equilibrio higroscópico, dada por las condiciones atmosféricas que imperan en el patio de secado. Este hecho representa a menudo un factor decisivo para la adquisición de un horno de secado, sobre todo, en caso del secado de madera aserrada destinada a un lugar con una humedad de equilibrio menor que la del lugar de origen. No obstante esta limitación y las desventajas que resultan del prolongado tiempo de secado y así del capital inmovilizado, el secado al aire libre es, en muchos casos, más económico que el secado artificial, principalmente debido a los altos precios de adquisición de un moderno secador. Cabe destacar que sólo un estudio comparativo de costos puede determinar en cada caso si es económicamente más ventajoso secar la madera en una u otra forma. (Schrewe, 1983)

#### ❖ **Patios de secado**

Por conveniencia, especialmente de transporte, los patios de secado natural se ubican generalmente cerca de los aserraderos o en inmediaciones de las fábricas que utilizan la madera como materia prima. Desafortunadamente, rigen la localización de los patios de secado al aire libre. A pesar de lo anterior, es conveniente exponer a continuación las características que debe tener un patio para que pueda cumplirse en forma eficiente el secado natural de las maderas.

Las condiciones requeridas para un patio de secado óptimo son las siguientes:

Un patio eficiente debe, ante todo, tener un drenaje y adecuada ventilación, una amplitud y topografía tales que permitan el tráfico vehicular y las operaciones mecánicas o manuales de apilado.

Emplazamiento próximo al centro de transformación (aserradero), con diseño de

caminos de acceso suficientes a la capacidad y facilidad de movilización de los volúmenes de secado.

Caminos principales, de 5 a 6 metros de ancho, ripiados o de cemento, perpendiculares a los vientos dominantes, para corta fuego y circulación. Caminos secundarios, de 0.5 a 1.5 metros de ancho, para permitir la circulación del aire entre las pilas de madera. Localización sistemática de puntos de agua.

Se debe efectuar una adecuada limpieza del patio, lo cual implica que no exista vegetación ni madera u otra materia orgánica en descomposición que pueda ser agente de infestación o de infección de organismos de deterioro de la madera a secar.

#### ❖ **Circulación del aire.**

La circulación del aire es otro de los elementos de control de la velocidad de evaporación del agua durante el proceso de secado de la madera. La ventilación o circulación del aire fresco a través de un apila de madera y la expulsión de la humedad, son condiciones necesarias para asegurar la remoción del exceso de humedad dentro de un horno y así mantener las condiciones de humedad relativa deseada. La velocidad del aire dentro de una pila tiene como funciones principales, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en la madera facilitando así su evaporación y, transportar la humedad saliente de la madera. (JUNAC, 1989).

#### ❖ **Apilamiento**

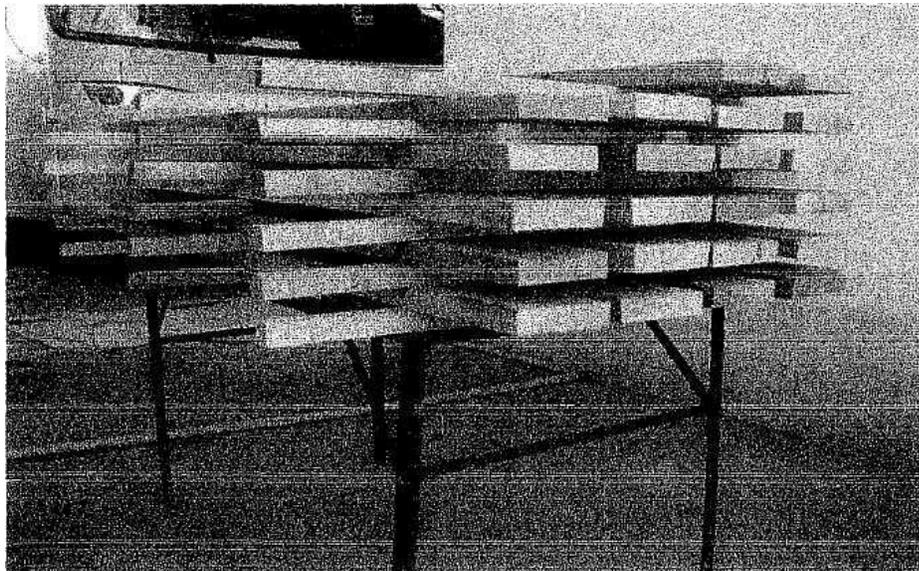
Consiste en formar pisos horizontales con las tablas que se van a secar, colocadas una al lado de la otra. Dichos pisos se separan verticalmente con listones (separadores) hasta constituir una pila de la altura y ancho deseados. La longitud de apilado esta dada por el largo de las piezas que lo forman. La madera aserrada dispuesta en esta forma queda casi totalmente expuesta a la acción del viento. En este apilado el aire circula horizontalmente a través de los espacios que los separadores dejan entre piso

y piso. (Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas).

***Para un correcto apilado horizontal de la madera, se debe tener en cuenta los siguientes elementos principales.***

Bases o cimientos	Protectores Laterales
Listones separadores (ripas)	Ancho de las pilas
Elementos de protección de las pilas	Altura
Cubiertas o techos	Orientación de las pilas

Figura N° 6 Apilado *horizontal de las tablas de secado.*



#### ❖ **Almacenamiento de la madera seca**

Se almacenan en pilas sin separadores hasta el momento de su uso. Si el estacionamiento es por un lapso menor de 30 días en cuarto cerrado se espera que haya poco cambio en el nivel de humedad de la carga.

El contenido de humedad de la carga seca puede variar de nivel, si el almacenamiento es por varios meses y en lugares que no tengan las condiciones para mantener constante la humedad de equilibrio de la madera. En sitios muy secos, la madera tendera a disminuir su contenido de humedad y en lugares de mayor humedad relativa, no se podrá impedir el aumento del nivel de agua en las piezas.

La madera de exportación tanto aserrada (tablas), como semielaborada (puerta sin barniz, chapa y láminas), se embarca para exportación cubierta de polietileno y dentro de contenedores para evitar la acción de ambientes muy húmedos o muy secos, que pudieran afectar al material (guía práctica para el secado de maderas-Silverio Vizcarra 1998).

## **2.5 Variables del secado al aire libre.**

**2.5.1 Temperatura.** Durante las etapas iniciales de secado hay una temperatura subcrítica que no debe sobre pasarse. La madera con pared fina como el eucalipto, palo barroso, sufrirán colapso, cuando las temperaturas de secado sean demasiado altas. Por lo tanto es necesario que la temperatura se encuentre relativamente baja mientras la madera está sujeta a presión capilar del agua, es decir en las etapas iniciales del secado, la temperatura debe ser subcritica para evitar el colapso. En las etapas intermedias ya no hay peligro de fendas superficiales como en las iniciales. Por eso en las etapas intermedias es necesario mantener una temperatura crítica.

En la etapa final del secado al aire libre la madera ya puede soportar una temperatura más alta, pero por encima de 20% de contenido de humedad, la madera es aun débil y vulnerable a altas temperaturas, luego una norma de seguridad para evitar el Apanalamiento es no aumentar demasiado la temperatura en la etapa final. Cuando no exista peligro de Apanalamiento es aconsejable temperaturas superiores.

<b>Un secado practico consiste en mantener</b>
1.- Una temperatura inicial subcritica.
2.- Una temperatura intermedia critica.
3.- Una temperatura final alta.

**-Humedad relativa inicial** para evitar las fendas de superficie, es necesario mantener una humedad relativa inicial alta.

**-Humedad relativa después de la inversión de tensiones** después de que las tensiones en la superficie, han cambiado de tracción a compresión, pueden *ser* usados valores de humedad relativa muy bajos sin peligro de agrietamiento.

Entre medio de estos valores de depreciación del bulbo húmedo se debe realizar gradualmente, así aconsejan., para resinosas los cambios de depresión del bulbo entre 8,50 °C y 19,50 °C deben de hacerse gradualmente de 3°C cada vez. **Depreciaciones Térmicas del bulbo húmedo** de 22°C, o más no deben hacerse hasta que el porcentaje de humedad no alcance un promedio del 15%.

No se deben traspasar las temperaturas y las depreciaciones del bulbo húmedo marcadas en los programas de secado, cuando utilicen grandes cantidades comerciales de madera valiosa.

## **2.6 Defectos en el secado de la madera**

**2.6.1 Causas de los defectos del secado.** Los defectos del secado pueden ser causados por contracción, por ataque de hongos, por acción química o por ataque de insectos. La contracción es la causa de los defectos como endurecimiento, colapso celular, grietas, rajaduras y torceduras. El ataque de hongos ocasiona la mancha azul en la albura, así como también la pudrición y el moho. Las reacciones químicas que se presentan durante el secado ocasionan oxidaciones que se manifiestan en cambios de

color en las superficies de la pieza de madera. El ataque de insectos provoca agujeros y perforaciones y en casos especiales también manchas. (JUNAC. 1989)

**2.6.2 Defectos originados por el secado.** La humedad de la madera, no esta uniformemente repartida, es máxima en el centro y mínima en las capas externas. Esto origina en la madera que se seca, que la humedad circule del centro hacia la periferia, con una velocidad que es función de la diferencia del CH entre las dos zonas.

En una pieza de madera el secado comienza una vez que su CH baja del punto de saturación de las fibras empieza a contraerse, la contracción, sin embargo, no alcanza a manifestarse en toda su magnitud debido a la restricción impuesta por la madera, todavía húmeda, del interior. En estas circunstancias, las capas exteriores de la madera se estabilizan en una dimensión mayor que las que le correspondería si pudiesen contraerse libremente, quedando en estado de tracción. A su vez tratan de reducir el interior a una menor dimensión, pero como éste todavía no empieza a contraerse, queda en estado de compresión.

Al continuar el proceso de secado, las capas inferiores empiezan a secar bajo el PSF y se contraen, pero en magnitud inferior a lo normal pues se lo impiden las capas exteriores estabilizadas a un estado de dilatación forzada. De esta manera, se produce inversión de tensiones quedando el centro de la pieza en estado de tracción y el exterior en estado de compresión.

La situación antes descrita, combinada con el tipo de corte que tiene la madera y los diferentes coeficientes de contracción que tiene producen alabeos, colapso y cuando las tensiones exceden cierto límite se producen rajaduras y grietas. (PADT REFORT.1982).

**Palabras claves:**

**Defecto.-** cualquier irregularidad o imperfección de la madera, que afecta las

propiedades físico-mecánicas y/o químicas, determinando generalmente una limitación en su uso o aplicaciones.

**Grieta.-** separación de la fibra de la madera que no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada o dos puntos opuestos de la superficie de una madera de sección transversal aproximadamente circular.

**Rajadura.-** es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje longitudinal de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma o dos puntos opuestos de una madera redonda.

**Endurecimiento superficial.-** Es el *estado* de tensiones en una pieza caracterizado por compresión en las capas externas y tensión en la parte interna, como resultado de inadecuadas condiciones de secado.

**Arqueadora o combado.-** Es el alabeo de la cara en la dirección longitudinal

**Encorvadura.-**Es el alabeo de los cantos en sentido longitudinal a las fibras

**Abarquillado (Acanaladura).-** Es el alabeo de sus caras en la dirección transversal a las fibras.

**Torcedura.-** Es el alabeo simultáneo en las direcciones longitudinal y transversal

**Alabeo.-** Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos.

**Colapso.-** Es la reducción de dimensiones de la madera que ocurre durante el proceso de secado por encima del PSF y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. A menudo se observa como un corrugado de la superficie.

**Albura.-** Incluida (inclusa). Anomalía que se manifiesta por la presencia en el duramen de zonas que presentan el color y otras propiedades de la albura.

**Grano.-** Se refiere a la dirección, tamaño, arreglo, apariencia o calidad de las fibras

de la madera.

**Grano.-** (fibra, hebra) inclinado. Desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera con respecto al eje longitudinal de un fuste o de un canto de una pieza.

**Grano Entrecruzado.-** Es la disposición del grano debido a un crecimiento de las fibras en forma espiral con respecto al eje del árbol, alternándose la dirección del espiral en capas de diverso espesor.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.

Descripción taxonómica de *Diatenopteryx sorbifolia* Radlk.:

<b>Reino:</b>	Vegetal
<b>Phyllum:</b>	Telemophytae
<b>División:</b>	Tracheophytae
<b>Sub División:</b>	Anthophyta
<b>Clase:</b>	Angiospermae
<b>Sub Clase:</b>	Dicotyledoneae
<b>Grado evolutivo:</b>	Archichlamideae
<b>Grupo de órdenes:</b>	Corolinos
<b>Orden:</b>	Sapindales
<b>Familia:</b>	Sapindaceae
<b>Género y sp:</b>	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.
<b>Nombre común:</b>	Suiquillo

#### 3.2 Descripción dendrológica.

3.2.1 **Árbol.** Inerme, polígamo-monoico de 10-25 m. de altura



**Fotografías (Nº1):** Especie arbórea *Diatenopteryx sorbifolia* “suiquillo” en bosque húmedo de la comunidad Fuerte Viejo, Caraparí.

Fuste cilíndrico, largo y recto, la base con raíces generalmente tablares o tabulares poco pronunciadas (foto N°1), alcanza hasta 80 cm de diámetro; corteza externa delgada de apariencia lisa levemente fisurada, ritidoma de consistencia coriácea de color castaño-grisáceo, se desprende en placas irregulares; la corteza interna es fibrosa de color blanco amarillento que se oxida rápidamente obteniendo un color rojizo con olor suave agradable al sentido, de sabor amargo–picante, segrega savia, escaso e incoloro, (Ver foto N°. 2).



Foto  
húm

Presenta ramificación simpodial (foto N°3), la copa tiene una forma alargada irregular y densa, de follaje persistente (foto N°4)



Foto N° 3 Ramificación

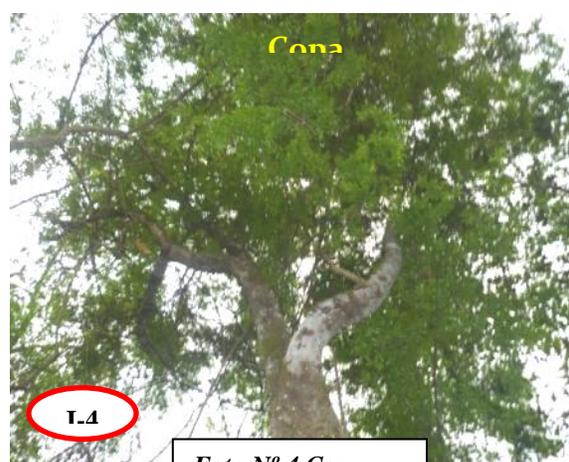


Foto N° 4 Copa

**Fotografías (5-6):** Ramificación y copa de la especie *Diatenopteryx sorbifolia* Radlk. "suiquillo" en bosque húmedo de la E.E.R.C.

**3.2.2 Fruto.** Disámara, pubescente cuando joven, cuando llega a la madurez es glabra y castaña (ver foto N 5); bialado, formado por dos alas extendidas de 2,5-3 cm de largo por 8-12 mm de ancho cada ala contiene una semilla ubicada en el extremo de unión de ambas alas.



Foto N° 5 Frutos

**3.2.3 Semillas.** Son dos, de forma oblonga (foto n°6), comprimidas lateralmente, de 7-8 mm de largo por 3,5-4 mm de ancho.



Foto N° 6 Semillas

**3.2.4 Usos.** Tanto para leña como maderable en construcción civil, carpintería de cajas, carrocerías, implementos agrícolas, pisos, parquet, vigas, durmientes, revestimientos, chapas, cabos de herramientas (López, J.A; Little, E; Ritz, G; Rombold, J; Hahn, W. 1987).

En las comunidades aledañas a la zona de estudio, su madera es utilizada para encofrados, cercas, como leña, cuyas utilidades le da cierta importancia económica a esta especie.

**3.2.5 Distribución Geográfica.** Es una especie nativa de las selvas tropicales, cuya distribución es alta e irregular, se desarrolla en bosque submontano semideciduo entre los 700-900 m.s.n.m., de suelo húmedo y fértil. En Tarija, provincia Gran Chaco, Caraparí se encuentra gran cantidad de estos ejemplares (Killen, T.; García, E. y Beck, S.; 1993).

En el bosque húmedo de la comunidad fuerte Viejo está distribuida desde la ladera inferior hasta la ladera superior, cuya altitud oscila de 970-1120 m.s.n.m., (Acosta, 2004).

Participa del estrato arborescente superior formado por arboles que sobrepasan los 20 m de altura, de temperamento ecológico “esciófita parcial”.

### **3.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

**3.3.1 Ubicación.** La comunidad Fuerte Viejo se localiza al este del departamento de Tarija, en la provincia Gran Chaco Segunda Sección Caraparí, localizada aproximadamente a 6 Km. de la ciudad de Caraparí. Entre otras características de importancia se tiene una altitud que oscila entre los 800 a 1000 msnm.

Unos de los aspectos que sobresalen es que la comunidad colinda con la reserva natural “Parque Aguarague”, donde los bosques no se encuentran explotados y se conserva su estado natural.

**3.3.2 Accesibilidad.** De acuerdo a información de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), por Caraparí pasa la red fundamental que une al Gran Chaco con la ciudad de Tarija; la carretera nacional sirve de conexión con la República Argentina considerada como una carretera internacional, la cual cuenta con un sector asfaltado y la mayor parte de tierra (Camino de primer orden), desde la ciudad de Caraparí se puede ingresar a la zona de estudio por un camino de segundo y tercer orden, que en la época de lluvia se dificulta la transitabilidad por el descuido de su mantenimiento.

**3.3.3 Geología.** Según el mapa geológico de Tarija (ZONISIG, 2001), el área de estudio pertenece a los periodos Cretácico, Terciario y Cuaternario. La litología dominante esta compuesta por limonitas, arcillitas, areniscas, calizas y otras. El departamento de Tarija presenta tres tipos tectónicos de plegamientos bien definidos que corresponde a las provincias fisiográficas de la Cordillera Oriental, el Subandino y la llanura Chaco Beniana, correspondiendo el área de estudio en este caso a la provincia fisiográfica del Subandino. El plegamiento y fallamiento en las formaciones geológicas son menos complejos en el Subandino.

**3.3.4 Geomorfología.** Según el estudio realizado por el ZONISIG (1999-2001); La provincia fisiográfica del Subandino está constituida por un conjunto de paisajes dominados por serranías, colinas y valles. Las serranías y colinas del Subandino están orientadas en el sentido Norte-Sur, conformados por anticlinales estrechos y valles sinclinales más amplios, donde se instalan los ríos más importantes, originando valles con llanuras aluviales de pequeña y mediana amplitud.

Las serranías presentan formas alargadas por cientos de kilómetros y paralelas entre sí, constituidas por rocas más resistentes y homogéneas, en tanto que los valles sinclinales se hallan constituidos por rocas menos resistentes y más blandas.

**3.3.5 Fisiografía.** Las formaciones presentes en el área son los paisajes de llanuras aluviales, coluviales y las serranías del sub-andino.

- El paisaje aluvial presenta formas, como las terrazas de formación incipiente

ubicadas en las cercanías de los ríos con pendientes cortas y planas (1%) con alturas sobre el nivel del río de 0,70 metros. Las terrazas bajas de 1,50 a 2,50 m.

- Existen pequeñas áreas que presentan características de cauces abandonados, con sedimentos arenosos y con piedras en la superficie.

- El paisaje de serranías se caracteriza por presentar un relieve bastante accidentado, las pendientes inferiores presentan mejores características edáficas que el resto de la unidad, con gradientes de 4 a 8%. (Cortez et al, 1999).

**3.3.6 Suelo.** Según el estudio realizado por (ZONISIG, 1999), los suelos del área de estudio son superficiales a profundos de 30 á 150 cm. Excesivamente drenado a moderadamente bien drenado, materia orgánica superficial en estado de descomposición débil, con presencia de pocos fragmentos en un porcentaje del 2% de formas sub- redondeados, meteorizados de areniscas, limonitas y lutitas. La textura de estos suelos pertenece al grupo medio como: franco, franco arcillo y franco arenoso, la conductividad eléctrica es muy baja, con pH de moderado a fuertemente ácido.

#### **3.4 Características Meteorológicas.**

**3.4.1 Clima.** De acuerdo con el mapa ecológico de Bolivia del área de estudio se encuentra en una zona transicional del bosque húmedo templado, así mismo se tiene una precipitación promedio de 2000 mm/año en el área de estudio.

**3.4.2 Hidrología.** La comunidad Fuerte Viejo, perteneciente a la segunda sección de Caraparí forma parte del gran Sistema hidrográfico de la cuenca de La Plata, la que a su vez tiene como parte de ella a cuenca del río Caraparí.

#### **3.5 Características Bióticas.**

**3.5.1 Vegetación.** Según el informe técnico presentado por el departamento de fitotecnia (2004), pertenecientes a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, el levantamiento florístico preliminar del área de estudio, presenta una vegetación

compuesta por árboles que están en el orden de los 15 a 20 m. de altura y una cobertura aproximada del 40 al 60 %, las especies que los integran en una mayoría corresponden a los sempervirentes (siempre verdes), y se encuentran algunas especies deciduas por la estación del año, especialmente en el dosel superior como los géneros: *Tabebuia*, *Cedrela*, *Myroxylon*, *Tipuana*, y otros, en alturas de relieve mayores a los 800 msnm.

De este análisis podemos deducir que la vegetación existente en la comunidad Fuerte Viejo corresponde a: Bosque denso siempre verde semidecíduo submontano. Presenta los siguientes estratos de vegetación:

**3.5.2 Estrato arbóreo.** Se registran 32 especies arbóreas mayores a 10 cm. de DAP, pertenecientes a 20 familias botánicas. Las especies con mayor número de individuos por hectárea es el chal-chal y *Nectandra sp.* Siendo las más frecuentes en todos los sitios de evaluación. Por otro lado se tiene un total de 468 individuos por hectárea. La vegetación a los 970 msnm. Se caracteriza por ser un bosque ralo de ladera inferior escarpada, con una densidad de 320 individuos por hectárea.

**Cuadro N°1: Estrato Arbóreo**

Familia	Especie	Nombre común	Nº Ind./HA
Lauraceae	<i>Cinnamomum porphyria</i> - (Kosterm.)	Laurel	67
Sapotaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.)Arrab.ex.Steudel	Aguay	10
Myrsinaceae	<i>Rapanea sp.</i>	Yuruma	3
Solanaceae	<i>Solanun riparium Pers</i>	Tabaquillo blanco	17
Sapindaceae	<i>Cupanea vernalis Cambess</i>	Condorillo	27
	<i>Diatenopteryx sorbifolia Radlkofer</i>	Suiquillo	17
	<i>Allophylus edulis</i> (Camb.) Radlk	Chal-chal	73
Rosaceae	<i>Prunas tucumanensis Lillo</i>	Duraznillo	7
Mirtaceae	<i>Eugenia sp.</i>	Guayabo	33
	<i>Eugenia uniflora L.</i>	Arrayán	3
	<i>Bleparocalyx gigantea L.</i>	Barroso	3
Polygonaceae	<i>Ruprechtia laxiflora L.</i>	Membrillo	13
	<i>Coccoloba tiliaceae Lindau</i>	Mandor	3
Flacourtiaceae	<i>Xilosma pubescens</i>	Amarillo	10
Nictaginaceae	<i>Bougainvillea sp.</i>	Huancar	10
Tiliaceae	<i>Heliocarpus papayanensis</i>	Cascarilla	13

Euphorbiaceae	<i>Croton densiflorus</i>	Tabaquillo rosado	17
Boraginaceae	<i>Patagonula americana</i>	Lanza blanca	23
	<i>Cordia trichotoma</i>	Afata	17
	<i>Saccellium lanceolatum</i>	Lanza monteña	3
Rutaceae	<i>Fagara coco</i>	Sauco	10
Bignoniaceae	<i>Tabebuia impefiginosa</i>	Lapacho rosado	17
	<i>Tabebuia heteropoda</i>	Lapacho amarillo	7
Proteaceae	<i>Roupala cataractarum</i>		3
Juglandaceae	<i>Juglans australis</i>	Nogal	3
Meliaceae	<i>Cedrela sp.</i>	Cedrillo	3
Anacardiaceae	<i>Astronium urundeuva</i>	Urundel	3
Leg. Mimosoidea	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Cebil	27
	<i>Inga edulis - Martius</i>	Pacay	13
Leg. Papilionoidea	<i>Lonchocarpus lilloí - (Hassl.) Burk.</i>	Quina blanca	3
	<i>Tipuana tipu - (Benth.) O.Kuntze</i>	Tipa	7
	<i>Myroxylon peruiferum - L.f.</i>	Quina colorada	3
TOTAL			468

Fuente: Dirección de medio ambiente de la sub gobernación de Caraparí, 2008.

**3.5.3 Estrato arbustivo.** Se encuentra disperso en la parte inferior del bosque, obteniendo un 22% de cobertura y una densidad de 2.343 individuos por hectárea como promedio general. Integrado en su mayoría *Psychotria carthagansensis*; con 1.714 individuos por hectárea. Esta especie esta distribuida en áreas tropicales y subtropicales en casi todo el mundo (Cabrera, 1993). La densidad y cobertura de las especies presentes demostraron ser descendentes de acuerdo al piso altitudinal. En la parte mas baja de evaluación a los 970 msnm, existen 3200 individuos por hectárea y un 36.6% de cobertura, a los 1000 msnm, hay 2200 individuos por hectárea con una cobertura de 15,1%.

#### **Cuadro N°2: Estrato Arbustivo**

Familia	Especie	Nº Ind./ha
Solanaceae	<i>Solanum trichoneurom</i>	457
Rubiaceae	<i>Psychotria carthagansensis</i>	1714
Acanthaceae	<i>Aphelandra sp.</i>	57
Urticaceae	<i>Urera sp.</i>	57
Piperaceae	<i>Piper sp.</i>	57
TOTAL		2342

Fuente: Dirección de medio ambiente de la sub gobernación de Caraparí, 2008.

**3.5.4 Estrato herbáceo.** La cobertura de este estrato es del 10.3%, y una densidad de 84167 individuos por hectárea integrados por la familia Gramineae, Acantáceas y Asplenidiaceae, destacándose *Oplismenus hirtellus*. Con 24167 individuos por hectárea siendo muy consumido por el ganado bovino, de aspecto postrado y tallos tenues que les hace accesibles al pastoreo de los animales, su habitat es en regiones boscosas, a la sombra, también se encuentra en este hábitat en todos los lugares sombríos del bosque, sempervirente. La cobertura y densidad de las especies tienen un ascenso en cuanto a los pisos altitudinales a 970 msnm existe 26666 individuos por hectárea y 4% de cobertura a 1000 msnm existen 97500 individuos por hectárea y 12.2% de cobertura.

**Cuadro N°3: Estrato Herbáceo**

Familia	Especie	N° Ind./ha
Aspleniaceae	<i>Asplenium sp.</i>	15833
Acanthaceae	<i>Ruellia sp.</i>	9167
	<i>Dicliptera sp.</i>	1667
Maranthaceae	<i>Maranta sp.</i>	2500
Gramineae	<i>Ichnantus</i>	10833
	<i>Oplismenus hirtellus</i>	24167
acanthaceae	<i>Justicia goudotti</i>	20000
TOTAL		84167

Fuente: Direccion de medio ambiente de la sub gobernación de Caraparí, 2008.

### 3.6 Aspectos socioeconómicos.

**3.6.1 Uso actual de la tierra.** En general, el uso dominante es la agricultura y ganadería, seguido del aprovechamiento y uso forestal, plantaciones forestales.

Gran parte de la comunidad de Fuerte Viejo de la segunda sección de Caraparí, está cubierto por bosques explotados en distintos grados de intensidad, localmente se observan cultivos agrícolas (maíz, papa, frutales como cítricos), también se dedican a la ganadería, la cual tiene un manejo tradicional, entre los animales domésticos más importantes tenemos: caballos, vacas, cerdos, aves de corral etc.

### **3.7 MATERIALES.**

Para la realización del presente trabajo se utilizó los siguientes materiales:

#### **3.7.1 Fase de gabinete:**

- ❖ Material de escritorio
- ❖ Computadora
- ❖ Calculadora

#### **3.7.2 Fase de campo:**

- ❖ Flexómetro
- ❖ Brújula
- ❖ GPS
- ❖ Brochas
- ❖ Planilla de campo
- ❖ Cámara fotográfica
- ❖ Marcadores

#### **3.7.3 Material biológico:**

- ❖ Troza de suiquillo

#### **3.7.4 Fase de aserradero:**

- ❖ Sierra sin fin
- ❖ Sierra circular

- ❖ Cepilladora
- ❖ Flexometro
- ❖ Planilla de registro
- ❖ Escuadra
- ❖ Lápiz cámara fotográfica

### **3.7.5 Fase de laboratorio:**

- ❖ Balanza con 30 Kg de capacidad
- ❖ Balanza 0.01 gr. de precisión
- ❖ Xilohigrómetro
- ❖ Estufa eléctrica
- ❖ Escuadra y reglas
- ❖ Muestras de Suiquillo
- ❖ Clavos y martillo

#### 4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

El trabajo de investigación se realizó en base a las normas COPANT MADERAS (Comisión Panamericana de Normas Técnicas).

**Cuadro N<sup>o</sup>4: Normas Para Determinar Los Ensayos**

NORMAS	TEMAS
COPANT 458	Selección y colección de muestras.
COPANT 460	Método de determinación del Contenido de Humedad.
COPANT 744	Método de determinación de extracción de clavos.
COPANT	Para determinar el secado de madera al aire libre bajo cubierta.

##### *Selección y Colección de las Muestras.*

De acuerdo con las normas COPANT 458 recomienda el sistema al azar, de manera que todos los componentes (zona, sub zona, árbol, etc.) tengan la posibilidad de ser elegidos. Este sistema al azar comprende las siguientes etapas:

- ❖ Definición de la población
- ❖ Selección de la zona
- ❖ Selección de los árboles
- ❖ Selección de las trozas
- ❖ Obtención de las tablas
- ❖ Obtención de las probetas
- ❖ Codificación de las probetas

**4.1 Definición de la Población.** Para realizar la determinación del secado al aire libre de la especie *suiquillo* se estableció las características de cada individuo, dentro de la población como la edad, especie y diámetro a la altura del pecho, etc.

**4.1.1 Selección de la Zona.** Se tomó en cuenta la representatividad de la especie en cuanto a sanidad y calidad de los individuos. La zona se dividió en tres bloques y cada bloque en tres parcelas.

**4.1.2 Selección de árboles.** Se seleccionó 5 árboles de las tres parcelas elegidos al azar, comprendiendo de la siguiente manera: (Parcela I=2 árboles; Parcela II=2 árboles; Parcela III=1 árbol), de los cuales se ha obtenido un total de 20 tablas, tomando en cuenta la sanidad, un buen fuste y el diámetro mínimo de corta.

**4.1.3 Selección de las Trozas.** Se realizó el apeo, desramado y se dividió el árbol en secciones iguales, los cuales han sido marcados con pintura desde la parte inferior a la superior de la troza, para poder identificarlos rápidamente. Se eligió las trozas por sorteo, anotando todos los datos de cada troza en planillas.

**4.1.4 Obtención de las tablas.** Una vez en el aserradero se procedió a cortar las trozas para la obtención de las tablas de 2.5\*10\*120 cm. De dimensión, de las cuales se eligieran las mejores tablas tomando en cuenta que se hallen libres de defectos, para obtener las probetas que se utilizó en el estudio del secado de la madera.

**4.1.5 Obtención de probetas.** Se tomó en cuenta la codificación de cada tabla, se procedió a elegir 4 tablas por cada árbol, de las cuales 4 tablas se destinaron al ensayo del secado, se procedió al sellado de los extremos de cada tabla para evitar la pérdida rápida de humedad la que puede producir grieta y rajaduras en la superficie.

**4.1.6 Codificación de las probetas.** Las 4 tablas restantes fueron utilizadas para la preparación de probetas más pequeñas, codificadas para su posterior identificación, se utilizó las probetas para la determinación del contenido de humedad.

**4.1.7 Método de apilado.** Con la obtención de las tablas para el secado, se procedió al control del peso de cada tabla codificada, que fue anotado en la planilla de registro, posteriormente se procedió a su apilado, en instalaciones del (Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales). Se empleó el apilado horizontal por ser el sistema más común para secar la madera.

**4.1.8 Listones o ripas.** Son esenciales para el éxito de secado, están hechos de madera seca y libre de rajaduras y torceduras, la longitud depende del ancho del apilado, en cambio el ancho y el espesor varía de acuerdo al tipo de madera,

**4.2 Disposición, espaciamiento y alineación de los separadores.** La correcta ubicación de los separadores evita las diferentes anomalías que se pueda ocasionar en la madera por el secado, como ser rajaduras, alabeos, abarquillamiento, torceduras y curvaturas de las tablas en la parte inferior y superior de la pila.

**4.2.1 Base del apilado.** Se colocó sobre una base de hierro sobre piso de hormigón a 50cm del suelo, esto para facilitar la evacuación del aire húmedo que desciende a través de la pila.

**4.2.2 Largueros.** Se apoyaron sobre los pilares, su longitud está determinada por la longitud máxima de las piezas a secar.

**4.2.3 Cubierta o techo.** Se ubicó en el interior del tinglado de la autoclave, de impregnación de la madera para evitar la acción directa del sol y de la lluvia sobre el apilado, así se evitó que se produzcan deformaciones y defectos en las tablas. Su efectividad depende de su capacidad de recubrimiento.

**4.2.4 Disposición de las piezas de madera a secar.** Las tablas se colocaron paralelas a los largueros sobre los travesaños y separadas a 1/5 del ancho de las tablas.

**4.2.5 Orientación de la pila.** La orientación que se le dio al apilado, ha sido en función de darle mayor circulación del aire y protección del sol para evitar rajaduras.

**4.3 Procedimiento para el control de secado.** Para la determinación del contenido de humedad inicial de las galletas de control, me basé en las recomendaciones especificadas en la NORMA COPANT MADERAS- R - 460.

Para que los resultados sean exactos recomienda tomar en cuenta lo siguiente.

- Se debe realizar la eliminación de todas las partículas adheridas a las probetas como ser aserrín o polvo antes de realizar el control del pesado de las mismas.
- La humedad de la madera se calculó como un porcentaje del peso del agua que contiene, respecto del peso del material seco, con la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

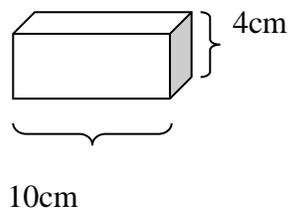
*Dónde:*

*Ph = Peso de la madera húmeda o peso inicial*

*Ps = Peso la madera seca o anhidra*

*CH = Contenido de humedad.*

Cada galleta obtenida ha sido codificada y pesada (peso inicial), luego se procedió a introducir a la estufa del Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se aplicó el calentamiento gradualmente, hasta alcanzar una temperatura entre  $101 \pm 2^\circ\text{C}$ . Durante un tiempo de 24 hrs. Procediendo luego a retirar las muestras de la especie suiquillo de la estufa, se dejó enfriar en un desecador y se pesó cada una, se repitió el procedimiento hasta conseguir un peso constante que representa el peso anhidro de cada probeta



**4.3.1 Registro de datos del secado al aire.** La toma de datos se realizó cada 5 días, donde se evaluó el secado de cada tabla, se pesó las tablas hasta que alcancen un peso constante.

**4.3.2 Distribución de la humedad en la madera.** El diagrama se efectuó con los contenidos de humedad en la superficie de ambas caras de las probetas a 6 mm, 12.5mm, 18 mm, de profundidad de las probetas del secado al aire libre, que ha obtenido con el xilohigrómetro, estos datos han sido generados en un eje de coordenadas.

Estos parámetros se calcularon con las siguientes fórmulas:

- **Densidad básica.**

$$Db = \frac{Po}{Pv}$$

Donde:

*Db* = Densidad básica (gr/cm<sup>3</sup>).

*Po* = Peso anhidro.

*Pv* = Peso verde.

- **Gradiente de secado.**

$$GS = \frac{CH.actual}{HEH}$$

Donde:

*GS* = Gradiente de secado (%).

*CH actual* = Contenido de humedad actual.

*HEH* = Humedad de equilibrio higroscópico

- **Gradiente de humedad.**

$$GH = H_1 - H_2$$

Donde:

*GH* = Gradiente de humedad.

*H<sub>1</sub>* = Humedad en el centro de la tabla.

*H<sub>2</sub>* = Humedad en la superficie de la tabla.

- **Agua evaporable.**

$$H_2O.Evaporable = \frac{CH.actual - HEH}{CH.verde - HEH}$$

*Dónde:*

*CH actual = Contenido de humedad actual (%).*

*CH verde = Contenido de humedad verde.*

*HEH = Humedad de equilibrio higroscópico*

**4.4 Análisis estadístico de los datos obtenidos.** Para el análisis de datos se utilizó el paquete computacional estadístico Microsoft Office Excel. Se trabajó con el número total de probetas por ensayo, 20 probetas para el secado al aire libre. Se calculó las siguientes variables:

- **Media aritmética.**

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

- **Desviación estándar.**

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

- **Varianza.**

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}$$

- **Coficiente de variación.**

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

- **Error estándar.**

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

- **Límites de confianza.**

$$\bar{X} \pm S_{\bar{x}} * t$$

*También se graficó con los datos obtenidos la curva teórica de secado, distribución de la humedad en el espesor y porcentaje de defectos.*

**4.5 Evaluación de defectos.** Finalizado el tiempo de secado al aire libre, se procedió a la evaluación de defectos producidos durante el tiempo de secado, las rajaduras, grietas, alabeos han sido medidas en todas las tablas, se clasificó de acuerdo a la tolerancia permisible en la "Clasificación visual por defectos para madera estructural" (PADT-REFORT, 1982) que se indica a continuación:

**Cuadro N°5 Clasificación visual por defectos para madera.**

<b>TIPO DE DEFECTO</b>	<b>TOLERANCIA PERMITIDA</b>
Arqueadura	Permitida a 1.5 cm. por cada 120 cm. de longitud.
Encorvadura	Permitida a 0.5 cm. por cada 120 cm. de longitud.
Torcedura	Permitida solamente cuando este defecto se presente en forma muy leve y en una sola arista. Se permitirá 0.5 cm. de alabeo para una pieza de 120 cm. de longitud.
Grieta	Permitida moderadamente y con una profundidad no mayor a 2 mm.
Rajadura	Permitida sólo en uno de los extremos de la pieza y de longitud no mayor al ancho o cara de la pieza.

## 5 RESULTADOS.

Realizada la tabulación de datos obtenidos en el ensayo de secado al aire libre bajo cubierta y, hecho el análisis estadístico correspondiente a cada ensayo, se obtiene los siguientes resultados:

**5.1 Contenido de humedad inicial.** Los resultados obtenidos a partir de las probetas de control de humedad representan los contenidos de humedad inicial de cada tabla así como también del resto de las probetas expuestas al secado, y se muestran en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°6 Cálculo del contenido de humedad inicial.**

TABLA	PROBETA	Ph (gr)	Po (gr)	CH (%)	CH TABLA
1	G1	121,26	75,72	60,14	56,88
	G2	100,83	65,64	53,61	
2	G1	112,5	69,62	61,59	61,00
	G2	119,07	74,23	60,41	
3	G1	121,17	68,96	75,71	72,77
	G2	115,07	67,76	69,82	
4	G1	110,76	70,98	56,04	68,15
	G2	106,98	59,35	80,25	
5	G1	100,48	68,01	47,74	48,76
	G2	100,09	66,83	49,77	

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} * 100$$

Donde:

Ph = Peso húmedo.

CH = Contenido de humedad.

Po = Peso seco

**Ejemplo:** CH=  $\frac{121.26 - 75.72}{75.72} \times 100 = 60.14 \%$

$$75.72$$

**5.2 Cálculo de la densidad básica y peso específico anhidro.** La densidad básica calculada para la especie Suiquillo es de 0,62 gr/cm<sup>3</sup> y un peso específico de 0,72 gr/cm<sup>3</sup> como se indica a continuación:

**Cuadro N° 7 Determinación de la densidad básica y el peso específico.**

PROB.	Pv (gr)	Vv (cm <sup>3</sup> )	Po (gr)	Vo (cm <sup>3</sup> )	Db (gr/cm <sup>3</sup> )	Pe (gr/cm <sup>3</sup> )
G1	121,26	121,59	75,72	92,4	0,62	0,82
G2	100,83	102,33	65,64	87,76	0,65	0,75
G1	112,5	108,3	69,62	93,49	0,62	0,74
G2	119,07	136,19	74,23	113,33	0,62	0,65
G1	121,17	111,78	68,96	90,13	0,57	0,77
G2	115,07	110,97	67,76	92,68	0,59	0,73
G1	110,76	123,38	70,98	104,03	0,64	0,68
G2	106,98	108,78	59,35	100,56	0,55	0,59
G1	100,48	112,26	68,01	97,2	0,68	0,70
G2	100,09	101,4	66,83	90,82	0,67	0,74
SUMATORIA					6,22	7,17
$\bar{X}$					0,62	0,72
S					0,75	0,80
$S^2$					0,56	0,65
CV					120,33	112,03
$S_{\bar{X}}$					0,24	0,25

$$Db = \frac{Po}{Pv}$$

$$Pe = \frac{Po}{Vo}$$

Donde:  
*Db* = Densidad básica.  
*Po* = Peso anhidro.  
*Pv* = Peso verde

Donde:  
*Pe* = Peso específico anhidro.  
*Po* = Peso anhidro  
*Vo* = Volumen anhidro.

**Ejemplo:**

$$Db = \frac{75.72}{121.26} = 0.62 \text{ gr/cm}^3$$

$$Pe = \frac{75.72}{92.4} = 0.82 \text{ gr/cm}^3$$

**5.3 Análisis estadístico.** Las probetas para el ensayo de secado realizado al aire libre de la especie Suiquillo contenían una humedad del 121,11 % al momento de iniciar el proceso de secado, la temperatura media ambiente del inicio del proceso ha sido de 24.0° C y la humedad relativa media del 66 %. Los registros de control de peso de las

tablas se las realizaron cada 5 días durante 65 días, momento en el cual se estableció un equilibrio higroscópico entre el contenido de humedad de la madera y la humedad relativa del ambiente. Las tablas finalizaron con un contenido de humedad del 15,62 %, se estableció una varianza de 0,35 y una desviación estándar de 0,59 y un coeficiente de variación de 3,78.

Los límites de confianza del contenido de humedad final con una seguridad de 0.05 va desde 5,89 a 0.54 % y, con una seguridad de 0.01 el valor se encuentra entre 8,07 a 0.74 % de contenido de humedad. (Ver cuadro N<sup>o</sup>8).

Cuadro N°8. Análisis estadístico para el secado al aire

Árbol	N° Probeta	25/09/2012	01/10/2012	06/10/2012	11/10/2012	16/10/2012	22/10/2012	27/10/2012	01/11/2012	06/11/2012	12/11/2012	17/11/2012	22/11/2012	27/11/2012	03/12/2012	
1	1A	120,17	85,34	55,11	48,21	39,33	31,45	27,50	24,87	22,25	19,94	18,30	17,32	16,00	16,33	
	1B	117,75	85,12	54,75	48,61	38,28	31,17	27,94	24,71	22,77	19,86	18,57	17,28	16,31	16,63	
	1C	120,51	84,98	55,09	49,11	39,15	30,84	27,19	25,20	21,88	19,89	17,89	16,23	15,57	15,90	
	1D	121,38	86,46	54,94	48,49	38,66	29,85	26,46	23,41	21,03	19,00	16,96	15,61	14,93	14,93	
2	2A	126,12	88,32	55,81	48,74	38,50	30,73	25,78	23,66	20,48	18,36	16,59	15,89	15,18	15,18	
	2B	120,79	84,55	54,35	46,97	38,25	30,19	26,50	23,48	20,80	18,11	16,77	15,77	15,09	15,43	
	2C	139,79	98,23	60,66	52,67	41,48	32,29	27,09	24,29	20,70	17,90	15,90	15,10	14,70	15,10	
	2D	118,36	82,57	53,35	46,12	37,59	29,70	26,09	23,14	20,51	18,21	16,57	14,93	14,27	14,60	
3	3A	113,66	80,32	50,21	43,09	34,67	27,22	23,02	20,10	18,16	17,19	16,22	15,89	15,57	15,57	
	3B	114,74	84,02	53,62	46,69	37,77	29,84	25,87	23,23	20,59	18,27	16,62	15,63	14,97	14,97	
	3C	117,84	83,62	52,68	47,09	38,21	29,65	26,36	23,40	21,09	18,79	17,15	16,16	15,50	15,50	
	3D	121,97	86,10	54,97	47,87	39,07	30,61	26,55	23,51	21,14	18,77	17,42	16,74	16,40	16,40	
4	4A	133,20	94,95	59,68	51,88	41,85	32,94	28,48	25,51	22,54	19,94	18,09	17,34	16,60	16,60	
	4B	116,00	82,77	52,80	45,95	37,16	29,99	25,43	22,82	20,22	17,94	16,31	15,33	15,00	15,33	
	4C	116,35	83,12	53,47	45,97	37,50	30,01	25,77	23,49	20,56	18,60	17,30	16,32	15,67	15,67	
	4D	119,06	84,49	53,90	46,92	37,95	32,63	25,98	23,32	20,66	18,34	16,67	16,01	15,68	16,01	
5	5A	119,47	84,08	53,06	45,98	37,55	28,79	24,74	22,04	19,35	18,00	16,99	15,97	15,30	15,30	
	5B	126,34	88,49	55,70	47,77	38,40	31,19	25,42	23,62	19,65	17,13	16,05	15,33	14,97	15,33	
	5C	121,90	86,93	55,33	48,27	39,19	30,45	27,09	24,40	21,37	19,36	18,01	17,00	16,33	16,33	
	5D	116,73	84,14	52,52	46,33	37,53	29,71	25,80	23,19	20,58	18,30	16,35	15,70	15,37	15,37	
DÍAS		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	
Sumatoria		2422	1718,59	1092,00	952,74	768,07	609,24	525,07	471,39	416,32	371,90	340,72	321,54	309,41	312,48	
Media $\bar{X}$		121,11	85,93	54,60	47,64	38,40	30,46	26,25	23,57	20,82	18,60	17,04	16,08	15,47	15,62	
Mediana		119,82	84,77	54,36	47,42	38,27	30,19	26,23	23,49	20,68	18,35	16,72	15,93	15,44	15,47	
Varianza $S^2$		39,52	17,28	5,46	4,44	2,27	1,70	1,41	1,38	1,15	0,73	0,61	0,53	0,38	0,35	
Desv. Estand. S		6,29	4,16	2,34	2,11	1,51	1,30	1,19	1,17	1,07	0,85	0,78	0,73	0,62	0,59	
Error Estand. $S_{\bar{X}}$		1,41	0,93	0,52	0,47	0,34	0,29	0,27	0,26	0,24	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	
Coef. Variación CV		5,19	4,84	4,28	4,42	3,92	4,29	4,53	4,98	5,15	4,58	4,61	4,53	4,00	3,78	
$\bar{X} \pm S_{\bar{X}} * t$		0,05	5,89	3,89	2,17	1,96	1,42	1,21	1,13	1,09	1,00	0,79	0,71	0,67	0,59	0,54
		0,01	8,07	5,32	2,97	2,69	1,94	1,66	1,54	1,49	1,37	1,09	0,97	0,92	0,80	0,74

Fuente: Elaboración propia

Formulas: Varianza; desviación estándar; Error estándar; Coeficiente de variación;

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{n} \quad s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad CV = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

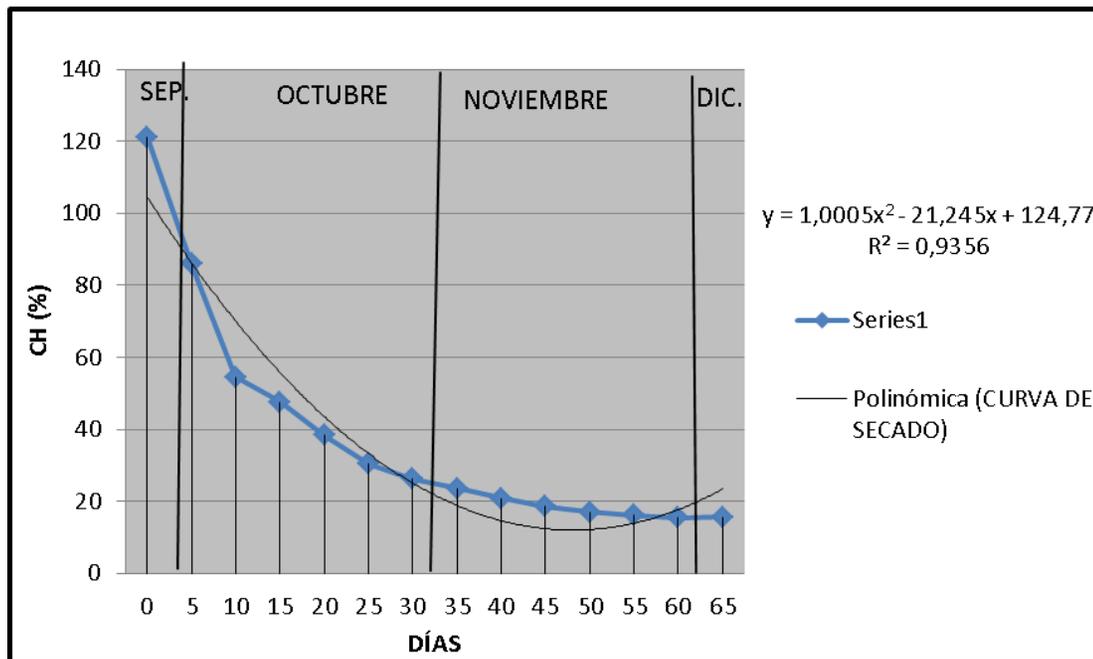
Contenido de humedad; Peso anhidro

$$CH = \frac{Ph - Po}{Po} * 100 \quad Po = \frac{\text{Peso final}}{\frac{CH}{100} + 1}$$

**Ejemplo:**  $Po = \frac{1770}{16.33 + 1} = 1521.53 \text{ gr/cm}^3$  ;  $CH = \frac{3350 - 1521.53}{1521.53} * 100 = 120.17$

Los gráficos muestran el comportamiento de la madera de Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia.Radlk*) durante el proceso de secado, ante las condiciones ambientales expuestas en el ensayo.

**Gráfico N° 1 Comportamiento de la curva teórica de secado al aire libre.**

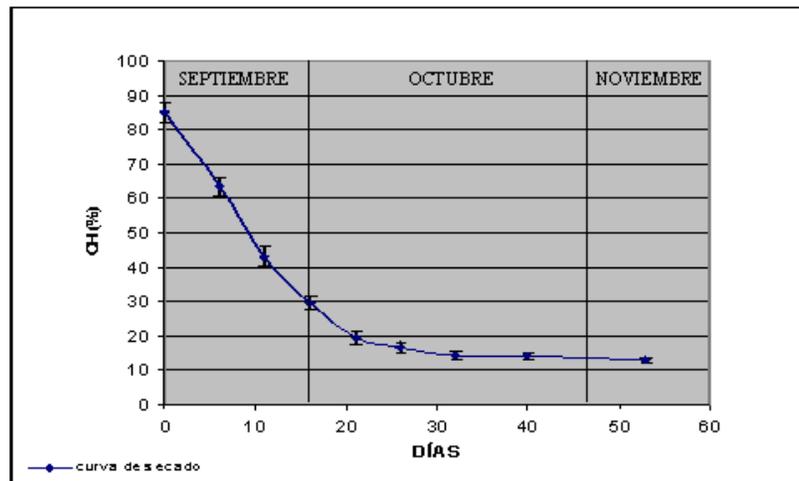


**Series 1: CURVA DEL SECADO**

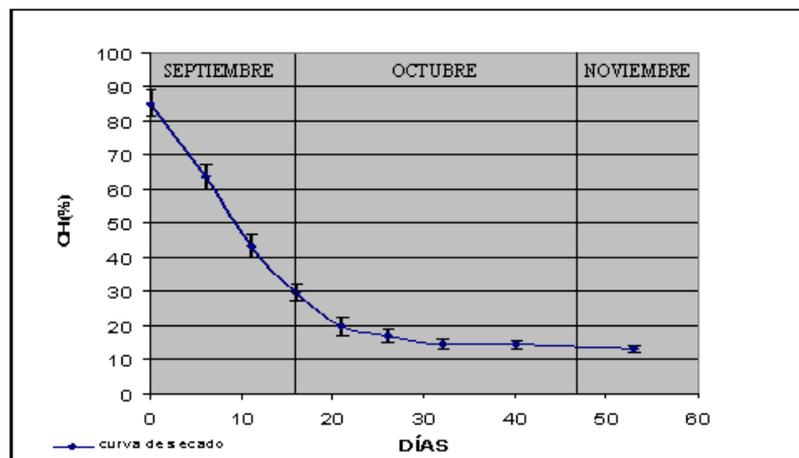
En los primeros 20 días de secado se presentó una rápida pérdida de humedad, (hasta un 55%) en el secado al aire libre, llegando cerca del punto de saturación de las fibras

(PSF) de ahí en adelante continúa una curva donde el ritmo de secado se tornó mucho más lento, próximamente alcanza un punto de equilibrio con el medio ambiente, y la curva tiende a adquirir los valores de la humedad de equilibrio higroscópico.

*Gráfico N° 2 Límites de confianza al 95 % para el secado al aire libre.*



*Gráfico N° 3 Límites de confianza al 99 % para el secado al aire libre.*



**5.4 Condiciones ambientales.** Las probetas secadas al aire libre se encuentran expuestas a las condiciones atmosféricas del lugar. La velocidad media de los vientos para el mes de Septiembre fue de 6.6 Km/Hr, para Octubre 7.0 Km/Hr y para Noviembre una velocidad de 5.3 Km/Hr, con una dirección sur para los tres meses.

**Cuadro N°9. Contenido de humedad de control**

N° Árbol	N° Probeta	CHc 1	CHc 2	CHc 3	CHc 4	CHc 5	CHc 6	CHc 7	CHc 8	CHc 9	CHc 10	CHc 11	CHc 12	CHc 13
1	1A	85,34	55,11	48,21	39,33	31,45	27,50	24,87	22,25	19,94	18,30	17,32	16,00	16,33
	1B	85,12	54,75	48,61	38,28	31,17	27,94	24,71	22,77	19,86	18,57	17,28	16,31	16,63
	1C	84,98	55,09	49,11	39,15	30,84	27,19	25,20	21,88	19,89	17,89	16,23	15,57	15,90
	1D	86,46	54,94	48,49	38,66	29,85	26,46	23,41	21,03	19,00	16,96	15,61	14,93	14,93
2	2A	88,32	55,81	48,74	38,50	30,73	25,78	23,66	20,48	18,36	16,59	15,89	15,18	15,18
	2B	84,55	54,35	46,97	38,25	30,19	26,50	23,48	20,80	18,11	16,77	15,77	15,09	15,43
	2C	98,23	60,66	52,67	41,48	32,29	27,09	24,29	20,70	17,90	15,90	15,10	14,70	15,10
	2D	82,57	53,35	46,12	37,59	29,70	26,09	23,14	20,51	18,21	16,57	14,93	14,27	14,60
3	3A	80,32	50,21	43,09	34,67	27,22	23,02	20,10	18,16	17,19	16,22	15,89	15,57	15,57
	3B	84,02	53,62	46,69	37,77	29,84	25,87	23,23	20,59	18,27	16,62	15,63	14,97	14,97
	3C	83,62	52,68	47,09	38,21	29,65	26,36	23,40	21,09	18,79	17,15	16,16	15,50	15,50
	3D	86,10	54,97	47,87	39,07	30,61	26,55	23,51	21,14	18,77	17,42	16,74	16,40	16,40
4	4A	94,95	59,68	51,88	41,85	32,94	28,48	25,51	22,54	19,94	18,09	17,34	16,60	16,60
	4B	82,77	52,80	45,95	37,16	29,99	25,43	22,82	20,22	17,94	16,31	15,33	15,00	15,33
	4C	83,12	53,47	45,97	37,50	30,01	25,77	23,49	20,56	18,60	17,30	16,32	15,67	15,67
	4D	84,49	53,90	46,92	37,95	32,63	25,98	23,32	20,66	18,34	16,67	16,01	15,68	16,01
5	5A	84,08	53,06	45,98	37,55	28,79	24,74	22,04	19,35	18,00	16,99	15,97	15,30	15,30
	5B	88,49	55,70	47,77	38,40	31,19	25,42	23,62	19,65	17,13	16,05	15,33	14,97	15,33
	5C	86,93	55,33	48,27	39,19	30,45	27,09	24,40	21,37	19,36	18,01	17,00	16,33	16,33
	5D	84,14	52,52	46,33	37,53	29,71	25,80	23,19	20,58	18,30	16,35	15,70	15,37	15,37

**Fuente: Elaboración propia**

**Formula:** 
$$CH_c = \frac{P_c}{P_i}(CH_i + 100) - 100$$

**Ejercicio:** 
$$CH_c = \frac{2820}{3350}(120.17 + 100) - 100 = 85.34 \%$$

3350

El cuadro N° 10 presenta las temperaturas medias y máximas para cada mes de secado.

*Cuadro N°10 Resumen de temperaturas alcanzadas.*

	°T MEDIA (°C)	°T MAX. (°C)
PERÍODO	Ambiente	Ambiente
25-30 SEPT.	19,1	26,2
OCTUBRE	21,3	26,4
NOVIEMBRE	19,4	23,8
Todo el secado	19,93	25,47

**5.5 Distribución de la humedad en el espesor.** La distribución de la humedad en el espesor de la madera se ve representada en los cuadro N° 11. Las humedades se registraron con el xylohigrómetro en ambas caras de la probeta a 1/4, 1/2, 3/4, de profundidad con respecto al espesor. La humedad interna en la madera es variada, siendo en el centro de la tabla mucho mayor que en la superficie de la misma, esto es una característica muy común en aquellas maderas secadas al aire libre, ya que no se somete a las tablas a un proceso de homogeneizado y acondicionado durante la etapa final de secado; lo que normalmente se da en las cámaras de secado convencionales.

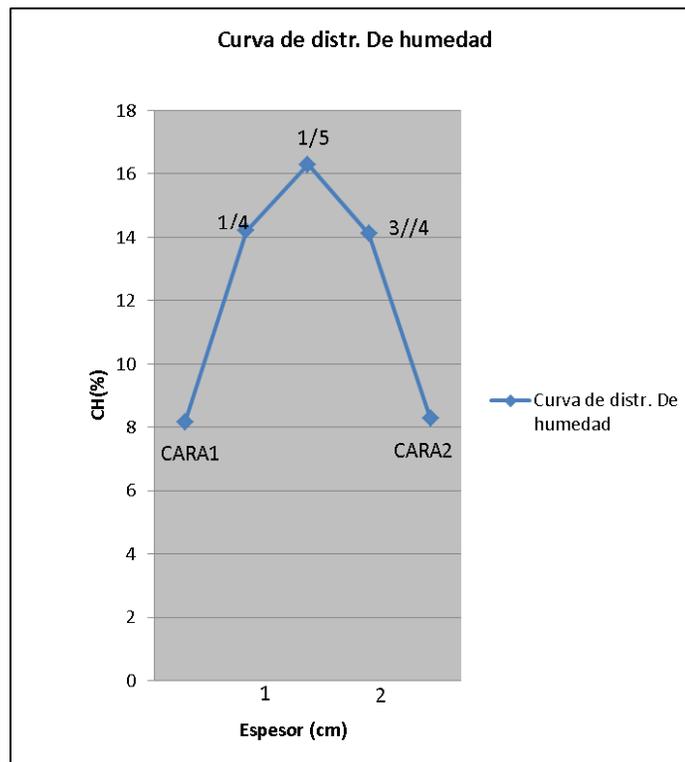
*Cuadro N° 11 Distribución de la humedad (%) en el espesor de la madera secada al aire libre.*

PROBETA	CARA I	1/4 ESP.	1/2 ESP.	3/4 ESP.	1/5 ESP.	CARA II
1A	8,16	15,03	16,05	14,95	12,5	9,05
1B	7,52	15,3	13,17	15,2	11,46	7,73
1C	7,55	12,57	15,23	12,47	11,2	7,57
1D	8,12	16,68	18,92	16,87	12,7	9,08
2A	7,9	13,95	15,16	13,6	11,6	7,73
2B	8,62	13,3	16,15	15,1	12,2	8,93
2C	8,33	17,33	16,38	16,1	12,7	8,13
2D	8,14	15,33	14,88	14,93	12,17	7,92
3A	8,51	13,36	16,67	13,25	12,4	7,83
3B	8,23	13,86	16,38	13,78	13,8	8,17
3C	7,85	14,57	15,28	14,23	13,03	8,93
3D	7,43	13,27	15,03	13,57	12,93	8,2

4A	8,32	12,78	16,75	13,05	14	7,95
4B	8,72	15,4	18,97	14,37	15,45	8,43
4C	8,36	13,2	17,13	12,3	12,73	8,27
4D	7,98	11,73	15,06	11,67	13,03	8,35
5A	8,42	16,53	18,85	16,68	15,95	8,02
5B	7,88	13,03	13,88	13,33	11,18	7,9
5C	8,15	12,37	18,3	11,88	14,5	8,5
5D	8,78	14,5	17,75	15,03	14,3	8,8
SUMA	162,97	284,09	325,99	282,36	259,83	165,49
MEDIA	8,15	14,20	16,30	14,12	12,99	8,27
VARIANZA	7,74	13,49	15,48	13,41	12,34	7,86
DESVIACI	2,78	3,67	3,94	3,66	3,51	2,80
ERROR	0,37	0,43	0,44	0,43	0,42	0,37
COEFI	34,14	25,86	24,14	25,94	27,04	33,88

Fuente: Elaboracion propia

**Gráfico N° 4 Distribución de la humedad en el espesor de la madera secada al aire libre**



La humedad en la superficie de la cara I fue de 8,15 % y en la cara II de 8,27%, en el centro de las tablas se encontró un valor de 16,30%, estos valores fueron calculados

con los datos obtenidos en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Finalmente se puede observar en el siguiente cuadro, una comparación de cómo quedaron los resultados para la humedad de equilibrio higroscópico, humedad a 1/5 del espesor de las piezas y la humedad promedio de todas las tablas; éste resultado es satisfactorio para el ensayo.

**Cuadro N° 12 Resultados finales obtenidos del contenido de humedad.**

Secado	HEH (%)	1/5 esp. (%)	CH actual
Aire libre	15.5	12,33	13.09

FUENTE: Elaboración propia

**5.6 Gradientes y agua evaporable.** Se obtuvo gradientes de humedad para el secado al aire libre de 7.70% que es la diferencia entre el centro de la tabla y la superficie y un gradiente de secado de 0.999 es decir un valor muy bajo, también se tiene un valor del agua evaporable igual a cero para el último día de secado, Lo que nos indica que no existe una salida de agua de las tablas al medio ambiente.

**Cuadro N° 13 Cálculo del agua evaporable, gradientes de humedad y secado para el secado al aire libre bajo cubierta**

PROB.	CH Verde	CH Actual	HEH	CH SUP	1/2 ESP.	GH	GS	H2O
1A	120,17	16,33	15,5	8,16	16,05	7,89	1,05	0,00793
1B	117,75	16,63	15,5	7,52	13,17	5,65	1,07	0,01105
1C	120,51	15,90	15,5	7,55	15,23	7,68	1,03	0,00381
1D	121,38	14,93	15,5	8,12	18,92	10,8	0,96	-0,00538
2A	126,12	15,18	15,5	7,9	15,16	7,26	0,98	-0,00289
2B	120,79	15,43	15,5	8,62	16,15	7,53	1,00	-0,00066
2C	139,79	15,10	15,5	8,33	16,38	8,05	0,97	-0,00322
2D	118,36	14,60	15,5	8,14	14,88	6,74	0,94	-0,00875
3A	113,66	15,57	15,5	8,51	16,67	8,16	1,00	0,00071
3B	114,74	14,97	15,5	8,23	16,38	8,15	0,97	-0,00534

3C	117,84	15,50	15,5	7,85	15,28	7,43	1,00	0,00000
3D	121,97	16,40	15,5	7,43	15,03	7,6	1,06	0,00845
4A	133,20	16,60	15,5	8,32	16,75	8,43	1,07	0,00935
4B	116,00	15,33	15,5	8,72	18,97	10,25	0,99	-0,00169
4C	116,35	15,67	15,5	8,36	17,13	8,77	1,01	0,00169
4D	119,06	16,01	15,5	7,98	15,06	7,08	1,03	0,00492
5A	119,47	15,30	15,5	8,42	18,85	10,43	0,99	-0,00192
5B	126,34	15,33	15,5	7,88	13,88	6	0,99	-0,00153
5C	121,90	16,33	15,5	8,15	18,3	10,15	1,05	0,00780
5D	116,73	15,37	15,5	8,78	17,75	8,97	0,99	-0,00128
SUMATORIA						163,02	20,16	0,02303
PROMEDIO						8,151	1,01	0,00115

Donde:

$GS$  = Gradiente de secado.

$CH$  actual = Contenido de humedad actual.

$HEH$  = Humedad de equilibrio higroscópico.

$$GS = \frac{CH. actual}{HEH}$$

Donde:

$GH$  = Gradiente de humedad.

$H_1$  = Humedad en el centro de la tabla.

$H_2$  = Humedad en la superficie de la tabla.

$$GH = H_1 - H_2$$

Donde:

$CH$  actual = Contenido de humedad actual.

$CH$  verde = Contenido de humedad verde.

$HEH$  = Humedad de equilibrio higroscópico.

$$H_2O.Evaporable = \frac{CH. actual - HEH}{CH.verde - HEH}$$

**5.7 Control de defectos.** Luego de finalizado el proceso de secado al aire libre, se observa los defectos presentes en cada probeta. Se muestra el porcentaje de tablas con defectos, que se producen a causa del secado.

Los defectos más comunes que se observaron fueron: arqueadura, encorvadura, grietas, torceduras y rajaduras, se puede apreciar que la arqueadura fue la que alcanzó mayor porcentaje, con un valor de 60.87% para el secado al aire libre. Pero así también, estos valores no están dentro de la tolerancia permitida según la “Clasificación visual por defectos para madera estructural” de la JUNAC 1982. De

ésta misma forma se considera a los otros defectos observados en cada probeta; sometiéndolo los resultados encontrados a las tolerancias permitidas.

**Cuadro N° 14 Defectos producidos por el secado**

TIPO DE DEFECTO	AIRE LIBRE	NO PERMITIDO
		AIRE LIBRE
ARQUEDURA	40,87%	10,64%
ENCORVADURA	30,43%	14,73%
GRIETA	0%	0%
TORCEDURA	13,04%	13,04%
RAJADURAS	30,43%	4,35%

FUENTE: Elaboración propia

Por otra parte es importante mencionar la orientación de corte que tenían las tablas para el ensayo.

**Cuadro N° 15 Orientación de las tablas.**

ORIENTACIÓN	AIRE LIBRE
Corte tangencial	43.48%
Corte radial	39.17%
Corte oblicuo	17.39%

## 6 DISCUSIÓN.

Se pudo comprobar que el tiempo de secado para la especie Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia.Radlk*) fue de 65 días llegando a obtener una humedad de 15,62%.

Sánchez (2005), realizó pruebas de secado al aire libre para la madera de *Eucalyptus grandis*, éste proceso duró 113 a 140 días para espesores de una pulgada, partió de 106% de contenido de humedad llegando 11.5%.

Otro estudio similar es el realizado por Cruz (1980) sobre secado natural de la especie *Phyllostylon rhamnoides*, duró entre 175 a 189 días, partió con un contenido de humedad de 61.36% y finalizó con 8.99%.

Analizando éstos resultados se puede decir que la especie Suiquillo es de fácil secado frente al eucalipto y el palo amarillo, ya que su tiempo de secado al aire libre fue mucho menor y tratándose de tablas del mismo espesor.

En cuanto se refiere a la distribución de la humedad en el espesor de las tablas, no es muy homogénea para las maderas secadas al aire libre.

Así mismo el gradiente de humedad es de 8.15% y el gradiente de secado es de 1.01.

Ahora bien con respecto a los defectos producidos en las tablas del ensayo. Los defectos encontrados en el secado al aire libre son de mayor cantidad de defectos y de mayor grado.

Referente a las condiciones ambientales reinantes, la humedad de equilibrio higroscópico tuvo un comportamiento más variable en el medio ambiente, ya que la humedad relativa es muy voluble e incide con mayor grado en el valor de la humedad de equilibrio.

## 7 CONCLUSIONES.

Una vez finalizado el ensayo de secado al aire libre, y con los resultados obtenidos correspondientes de cada una de las probetas, se puede concluir la investigación de la siguiente manera:

La especie Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia Radlk.*) de densidad básica de 0.62 gr/cm<sup>3</sup>, es una especie que requiere de un secado más lento, la duración de este proceso fue de 65 días aplicando un secado al aire libre bajo cubierta; se partió con una humedad de 121,11% llegando a un contenido de humedad en equilibrio con el medio ambiente de 15,62%.

- Los resultados de las tablas evaluadas luego del secado al aire libre bajo cubierta, fueron positivos en términos de contenido de humedad, pues se ha logrado secar la madera hasta el 15,62%, en un tiempo óptimo de 65 días.
- El secado al aire libre para la madera de la especie Suiquillo (*Diatenopteryx sorbifolia Radlk.*) fue óptimo porque el contenido de humedad alcanzado, corresponde al registrado a 1/5 del espesor de las tablas, como también con la humedad de equilibrio higroscópico calculada con la temperatura y humedad relativa del momento, existiendo una diferencia nada significativa entre los tres valores.
- El gradiente de humedad existente, es muy importante debido a que promueve la movilización del agua presente en las zonas internas por difusión, de modo que es conveniente para la realización del secado.
- La distribución de la humedad en el interior de la madera, al término del proceso de secado varía de acuerdo a la profundidad, siendo en el centro de la tabla más alta que en la superficie. Ésta característica es muy normal en los procesos de secado al aire libre, por lo que se obtuvo para éste ensayo un resultado de 16,30% de humedad en el centro, y en las superficies un valor promedio de 8.21%.

- En el secado al aire libre se observó que es muy frecuente los alabeos y rajaduras ya que los resultados nos muestran que sobrepasa el 10% del porcentaje de defectos no permisibles y de esta manera la encorvadura no entra en el rango de lo aceptable.
- Los costos de inversión para el secado al aire libre bajo cubierta son menores que los requeridos por los hornos de secado convencionales, es un buen método para el secado de maderas.

## **8 RECOMENDACIONES.**

- Se espera que este estudio sirva de base para futuros proyectos que conlleven a obtener modelos de secado al aire libre que permitan alcanzar una mayor eficiencia de la energía solar.
- Es oportuno aclarar que no resulta conveniente formar pilas con tablas de diferente grosor, ya que las piezas de mayor espesor tardan más en secarse.
- Para evitar la aparición de defectos en las piezas a secar se aconseja la colocación de contrapesos en la pila y un espaciamiento más corto de los rastreles, así se podrá evitar torceduras y arqueaduras.
- Si se realiza el secado al aire libre bajo cubierta es conveniente elegir una zona bien expuesta al viento, se evitará áreas próximas a corrientes de agua importantes.
- Los tinglados pueden asegurar una buena protección a la madera frente a la acción del sol y la lluvia; pero no siempre impedir que el material leñoso, retome humedad durante los períodos de elevada humedad relativa del aire.