

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE
EQUILIBRIO DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* PARA LA
CONSTRUCCION DE LOS ISOTERMAS DE SORCION.**

PAULA ALEJANDRA BRICEÑO RONCANCIO



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

**DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE
EQUILIBRIO DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* PARA LA
CONSTRUCCION DE LOS ISOTERMAS DE SORCION.**

PAULA ALEJANDRA BRICEÑORONCANCIO

Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor disciplinar: Ingeniero Mateo Gutiérrez González
Asesor metodológico: Bibiana Carolina Gómez

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, ____/____/____

Agradezco a Dios por todas las bendiciones que he recibido en el transcurso de mi carrera y por permitirme terminar grandes logros en mi vida.

A mis padres Juan Calos Briceño y Martha Lucia Roncancio por todo el apoyo que he recibido durante toda mi vida y por darme la oportunidad del estudio, además de la formación que me dieron desde el hogar.

A SIndy Elizabeth Briceño y Sofia Valentina Briceño por estar a mi lado y respaldarme en cada decisión tomada.

A Juan Camilo Terreros y Brandon Stev Gonzalez por ser mi apoyo permanente en la universidad y en mi vida personal.

A los profesores de la Universidad la Gran Colombia, por sus enseñanzas y experiencia, en especial al Ingeniero Mateo Gutierrez, por darme la oportunidad y la confianza para desarrollar mi trabajo de grado, al igual que al profesor Alexander Padilla, Martin Viatela y Jose Luis Roza por el gran apoyo e la fase experimental de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

GENERALIDADES	7
INTRODUCCIÓN	8
TITULO DEL PROYECTO	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. ANTECEDENTES	14
5. MARCO REFERENCIAL	16
5.1 MARCO LEGAL	16
5.2. MARCO CONCEPTUAL	17
5.2.1 Guadua	17
5.2.2 secado se la guadua	19
5.2.3 Guadua en Colombia	19
5.2.4 Construcciones en guadua	21
5.2.5 Contenido de humedad	22
5.2.5.1 Contenido de humedad en la guadua	22
5.2.5.2 Contenido de humedad de equilibrio	22
5.2.6 Isotermas de sorción	23
6. DISEÑO METODOLÓGICO	25
6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	25
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	25

6.3 FASES	26
6.4 INSTRUMENTOS	26
6.4.1. Revisión	26
6.4.2. Tratamiento	27
6.4.3. Secado	27
6.4.4. Medición y peso	28
6.4.5. Identificación de probetas	30
7. RESULTADOS	33
7.1. EXPERIMENTOS	33
7.1.1. Primer experimento	33
7.1.2 Segundo Experimento	44
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
7.2.1. Primer experimento	53
7.2.2. Segundo experimento	56
8. CONCLUSIONES	60
9. RECOMENDACIONES	61
10. BIBLIOGRAFIA	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características de cada parte de la guadua *angustifolia kunt.*

Figura 2. Construcción en guadua.

Figura 3. ejemplo isoterma de sorcion.

Figura 4. Dimensiones para las probetas Ilustración.

Figura 5. Muestras al interior de la maquina.

Imagen 6. Estado de la maquina.

Imagen 7. Pesaje diario de probetas.

Figura 8. Maquina programada temperatura y humedad del segundo experimento.

Figura 9. Pesaje en el segundo experimento.

Figura 10. Comparación de resultados obtenidos con los resultados del isoterma de la madera.

Figura 11. Comparación de resultados obtenidos con los resultados del isoterma de la madera (2).

Figura 12. Coeficientes de modificación por contenido de humedad.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 fases del proyecto.

Tabla 2. Contenido de humedad del material según su aplicación .

Tabla 3 ejemplo de clasificación de probetas por cada punto de temperatura y humedad constante.

Tabla 4 intervalo de humedad y temperatura.

Tabla 5 marcación de probetas.

Tabla 6 registro de pesos.

Tabla 7. Peso seco de las muestras.

Tabla 8. Humedad de equilibrio de las muestras.

Tabla 9. Marcación de probetas 2.

Tabla 10. Pesos con (CHE) segundo experimento.

Tabla 11. Pesos seco segundo experimento.

Tabla 12. Humedad de equilibrio segundo experimento.

Tabla 13. Promedio por clasificación.

Tabla 14. (CHE) según la nsr 10 para las principales ciudades de Colombia.

Tabla 15. Promedio por clasificación segundo experimento.

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Progreso de pesos.

Grafica 2. Progreso de humedades de cada muestra.

Grafica 3. (CHE) cepa.

Grafica 4. (CHE) basa.

Grafica 5. (CHE) sobre basa.

Grafica 6. (CHE) de culmos con nudo en comparación de (CHE) de nudos sin nudo.

Grafica 7. (CHE) cepa.

Grafica 8. (CHE) basa.

Grafica 9. (CHE) sobre basa.

Grafica 10. (CHE) de culmos con nudo en comparación de (CHE) de nudos sin nudo

GENERALIDADES

Línea de investigación

Edificaciones y obras civiles con tecnología apropiada para el desarrollo de la infraestructura física, la reducción de la vulnerabilidad y mejoramiento de la calidad de vida.- edoc – ugc

Sub línea de investigación

La sub línea sobre la cual se va a enfocar esta investigación es en materiales de construcción, esta se refiere a todos los materiales que son necesarios para llevar a cabo un proyecto civil en la cual se realizan pruebas de laboratorio con el fin de identificar las condiciones de la guadua como elemento estructural.

Nombre del semillero:

Materiales y diseño estructural en guadua

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales no convencionales en la construcción ha tomado mucha fuerza en los últimos años, se ha pasado de utilizar concreto y acero, a buscar diferentes alternativas funcionales en el campo de la construcción. Uno de los materiales que ha sido materia de estudio es la guadua, específicamente la guadua *Angustifolia Kunth* en Colombia, ya que presenta propiedades físicas y mecánicas beneficiosas para la construcción de estructuras, tiene la gran ventaja de presentar un mínimo impacto ambiental, además de ser un elemento sostenible.

Pero por el hecho de que es relativamente nuevo el uso de este material, la información que se tiene de este no es tan amplia, esta desinformación puede provocar consideraciones equivocadas en el momento de realizar un diseño estructural.

En la norma sismo resistente colombiana del año 2010 se incluyó la guadua *angustifolia kunth* como elemento estructural principal utilizado en estructuras de máximo dos niveles de altura, dando parámetros para el diseño, pero desafortunadamente estos datos no corresponden específicamente a investigaciones realizadas con guadua, sino que son datos tomados de la madera como elemento estructural ya que sobre ese elemento se tiene una investigación mas amplia por el tiempo en el que lleva considerándose para la construcción.

Pero es clave saber que el comportamiento de estos dos materiales no será el mismo, así que es necesario profundizar los conocimientos en datos que correspondan específicamente con la guadua para así avanzar en la construcción con todos los parámetros de seguridad en este material. Incluido entre dichos valores se encuentra el contenido de humedad de equilibrio de la guadua *angustifolia kunth*, expuesta a condiciones ambientales distintas. El porcentaje de

humedad en la guadua afecta sus cualidades físicas y mecánicas ya que la cantidad de agua en este material altera la rigidez y resistencia del mismo, teniendo en cuenta que Colombia es un país que cuenta con una gran diversidad de climas, y que la guadua por su condición de material poroso con capacidad de absorber agua, no se puede establecer un solo valor de contenido de humedad de equilibrio. Es por esto que se necesita de un isoterma de sorción que represente el comportamiento de la guadua expuesta a diferentes condiciones de humedad y temperatura.

En la norma sismo resistente del 2010 no se pasa por alto esta situación, pero desafortunadamente en el momento de describir esta particularidad no se da el isoterma de sorción respectivo de la guadua, en vez de este se da el isoterma de sorción perteneciente a maderas.

Viendo la necesidad de tener estos datos específicos de la guadua para lograr un avance en las investigaciones que permitirán la utilización de este importante material en cualquier lugar sin importar el clima, ya que este será tenido en cuenta desde la etapa de diseño garantizando el factor de seguridad y unos cálculos adecuados; se desarrolla una metodología que permita conocer el comportamiento de la guadua *angustifolia kunth* en la exposición de diferentes condiciones de temperatura y humedad.

TÍTULO

DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE LA GUADUA *ANGUSTIFOLIA KUNTH* PARA LA CONSTRUCCION DE LOS ISOTERMAS DE SORCION.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La guadua ha sido una excelente alternativa natural para la construcción de estructuras que cuenta con una gran resistencia y bajo peso. es un recurso sostenible y renovable, que se auto multiplica vegetativamente, crece de manera muy rápida, alcanzando en cinco años la altura de treinta metros y la resistencia adecuada para su uso como elemento estructural. Por otro lado, es un material supremamente liviano y flexible, lo que permite utilizarlo en el campo industrial, para la ejecución de construcciones sismo resistente.

Para llevar a cabo el diseño estructural de proyectos cuyo elemento resistente principal es la guadua, se debe consultar directamente la norma sismo resistente del 2010 en Colombia, en la cual se especifica los requisitos de calidad para este material, al igual que el método de diseño pertinente para este tipo de proyectos.

las construcciones realizadas con guadua, al igual que con madera, se ven expuestas a las condiciones ambientales del lugar en el cual se realice la ejecución del proyecto, a pesar de que se lleve a cabo el procedimiento de preparación descrito en la norma sismo resistente del 2010 en el titulo g.12.12.2, en donde se especifica que toda guadua destinada a uso estructural debe estar con un contenido de humedad por debajo de 19%, no se desconoce la gran

capacidad de absorción que tiene este elemento. De esta manera se dan recomendaciones para proteger las estructuras, como por ejemplo, se recomienda que los elementos de guadua nunca estén en contacto directo con el suelo. sin embargo, se determina que toda guadua destinada a la construcción de estructuras debe ser secada hasta un contenido de humedad (ch%), lo más cercano posible al contenido de humedad de equilibrio (che) con el medio ambiente de la zona en donde va a quedar instalada. La norma igualmente menciona que para identificar el contenido de humedad de equilibrio de la guadua se debe utilizar la tabla g-d.1, la cual muestra las isotermas de sorción, pero al momento de consultarla, se ve que estos corresponden a datos de humedad constante de la madera, y no específicamente de la guadua. lo que puede llegar a conducir a datos no muy exactos en el diseño estructural, ya que el aumento de humedad en la guadua ocasiona pérdida de resistencia y de rigidez.

Pregunta problema

¿Qué diferencias existen entre el contenido de humedad de equilibrio que presenta la guadua *Angustifolia Kunt* en comparación a el correspondiente de la madera que propone la norma sismo resistente del 2010?

2. JUSTIFICACIÓN

La guadua ha sido considerada un gran elemento constructivo en Colombia. Este cuenta con propiedades mecánicas importantes para el diseño estructural anti sísmico, aunque por su calidad de material poroso, las condiciones climáticas a las que se ve expuesto generan gran afectación a características tan importantes como la rigidez que este elemento aporta a la estructura.

Colombia es un país que cuenta con una gran diversidad de condiciones climáticas entre las que varían factores de humedad y temperatura. Lo cual indica que las construcciones en guadua no se comportaran de la misma manera en diferentes zonas, ya que este elemento puede absorber humedad del lugar en que se construye. Es por esta razón que resulta de vital importancia conocer el comportamiento de este material para las distintas combinaciones de humedad y temperatura.

Esta característica se puede identificar en materiales como la madera, incluso para este material se han avanzado las investigaciones y se han realizado tablas que determinan el contenido de humedad de equilibrio, además de ecuaciones y maneras de cálculo para un mejor aprovechamiento de las propiedades físicas y mecánicas; el hecho de que esta característica sea similar en ambos materiales, no significa que los isotermas de sorción deben ser considerados de la misma manera. Por esta razón es de vital importancia hallar los datos de isotermas de sorción propios de la guadua *Angustifolia Kunth* y de esta manera poder realizar diseños estructurales con los datos de resistencia correspondientes a la zona en la cual se vaya a desarrollar el proyecto.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Determinar el contenido de humedad de equilibrio de la guadua *Angustifolia Kunth* para distintas condiciones de humedad y temperatura controladas, avance para la obtención de los isothermas de sorción, siguiendo el procedimiento metodológico establecido.

3.2. ESPECÍFICOS

- Establecer el procedimiento de experimentación adecuado para esta investigación.
- Construir el isoterma de sorción a partir de los datos de humedad de equilibrio obtenidos.
- Comparar el isoterma de sorción propuesto por la norma sismo resistente vigente con los datos obtenidos experimentalmente.

4. ANTECEDENTES

En el campo de la construcción se han adelantado diferentes estudios sobre la diversidad de materiales que se pueden utilizar como elementos constructivos, esto acompañado de las experiencias obtenidas por los diferentes sismos, exaltando el ocurrido en 1999 en la ciudad de Armenia, han demostrado el buen desempeño antisísmico. Debido a estos eventos la guadua, paso de ser tan solo contemplada para la construcción de muros en la nrs-98¹ capítulo e.7, a ser incluida en todo un capítulo en la nsr-10², con las especificaciones de diseño con la guadua como principal aunque limitando el uso a viviendas o construcciones no mayores a dos pisos de altura.

Al igual que la madera, la guadua corresponde a un elemento natural que tiene sus respectivas condiciones constructivas. Pero no es de ignorar una de sus características propias, es la capacidad de absorción y de equilibrar su humedad con la del ambiente al que se expone. En una de las investigaciones que tenía por objeto determinar las isotermas de sorción de la madera se determina *“todo cuerpo poroso en contacto con un ambiente absorbe o pierde humedad si no hay una igualdad entre las presiones parciales de vapor del aire circundante y del cuerpo húmedo. Mientras que estos valores de la presión de vapor sean diferentes, se puede afirmar que habrá una transferencia de humedad del cuerpo al medio circundante o viceversa. La importancia o magnitud de esta diferencia depende esencialmente de la humedad relativa (he) del aire.”*³

Las investigaciones sobre el procedimiento para hallar las isotermas de sorción

¹ NSR-98. Norma de diseño sismo resistente, 1998 (capítulo E. 7)

² NSR-10. Norma de diseño sismo resistente, 2010 (capítulo G. 12)

³ Aeberhard, R. - Aeberhard, A. - Natalini, M. - Martina, P. - Ventin, A. - Corace, J. Determinación de las isotermas de sorción de materiales constructivos porosos e higroscópicos (madera). Chaco – Argentina (2000)

contribuyen al aporte de conocimientos sobre el fenómeno en cuestión, y es por esta razón que se acuden a ellos. Pero es necesario aclarar que este proyecto se basa principalmente en la investigación llevada a cabo en la universidad la gran Colombia llamada “isotermas de sorción para la guadua *Angustifolia Kunth*”⁴ en la cual se propone una metodología la cual se aplicara para darle continuidad a esta investigación que inicia la experimentación y análisis de los resultados obtenidas de esta.

En el proceso a seguir se indica en el diseño metodológico propuesto⁵ se muestra que las probetas deben ser secadas hasta llegar a un 0% de humedad. Aunque en España se llevó a cabo una investigación⁶ en la cual indican los riesgos que se tienen al secar la madera completamente antes de la construcción del isoterma de sorción, de esta manera se tomaron dos tipos de muestras las cuales se expusieron a condiciones de temperatura y humedad controladas; la primera inicio el proceso desde 0%; la segunda inicio con humedad que varía entre el 14,05 y el 19,18%. Gracias a esto se identifico que las características de este material natural para absorber agua del ambiente se pueden ver afectadas por fatiga higroscópica*. A pesar de que no se encontraron evidencias de que este fenómeno también afecta a la guadua, este es un gran aporte a esta investigación ya que se tendrá en cuenta para no caer en errores que afecten la construcción de los isotermas de sorción para la guadua.

⁴ GARAY TANGARIFE, Andres E. Isotermas de sorción para la guadua angustifolia kunth, Bogotá – Colombia (2014)

⁵ ibíd

⁶ GUINDEO CASAÚS, Antonio. GARCÍA Esteban, Luis, Fatiga higroscópica y dimensional de la madera, España. 1991

*fatiga higroscópica: es la pérdida de respuesta por parte de un material frente a los cambios higróticos del aire.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO LEGAL

El marco legal o jurídico de este proyecto de investigación se enmarca principalmente en la norma sismo resistente del 2010⁷ la cual incluye en el título g todo lo referente a diseños estructurales en madera y guadua, específicamente en la sección g 12 que se centra en las estructuras en guadua *Angustifolia Kunth*.

Adicionalmente se tiene el decreto 2269 de 1993⁸, en el cual se establece: “con el fin de impulsar la calidad en los procesos productivos y la competitividad de los bienes y servicios en los mercados se hace necesario implantar mecanismos que garanticen una adecuada infraestructura para el logro de tal fin”. De esta manera ven involucradas las normas técnicas colombianas presentadas por Icontec, esta unidad de información es especializada en el tema de Normalización, Certificación y Calidad. Cuenta con 5603 normas técnicas entre las cuales se encuentran las pautas que especifican los parámetros de manipulación, uso y requisitos para materiales de construcción que además indica los procedimientos estandarizados con los ítems que deben cumplir los materiales para ser aprobados en construcción.

NTC 5525⁹: Esta norma especifica los métodos de ensayo para evaluar las propiedades físicas y mecánicas características de la Guadua angustifolia Kunth. La norma comprende los ensayos que se van a realizar sobre segmentos de

⁷ NSR-10. Norma de diseño sismo resistente, 2010 (título G)

⁸ República de Colombia. Leyes y decretos. decreto 2269 por el cual se organiza el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología. Bogotá, D.C. Ministerio de Desarrollo Económico, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Salud.1993.

⁹ NTC 5525: 2007, ingeniería civil y arquitectura. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth

Guadua angustifolia Kunth, para obtener resultados de laboratorio, los cuales se pueden utilizar para establecer valores y resistencias.

NTC 5301¹⁰: Esta norma tiene como objeto establecer los requisitos que se deben seguir para la preservación y secado de los culmos de guadua angustifolia de acuerdo con las aplicaciones y usos.

5.2. MARCO CONCEPTUAL

5.2.1 Guadua

La guadua¹¹ *Angustifolia Kunth* es de origen natural perteneciente a la familia de las gramíneas, considerada como una de las especies de bamboo con mejores propiedades físico-mecánicas y con extraordinaria durabilidad. Es una planta leñosa con un sistema de raíces fuerte con la gran ventaja de que cuenta con un crecimiento rápido, alcanzando hasta 25 metros de altura con diámetros entre 10 a 25 cm, a tnsolo 6 años de haber sido sembrada

La guadua es un producto natural renovable de generación espontánea, es decir, en Colombia, crece como si fuera maleza sin necesitar de un cultivo tecnificado, aunque si es necesario que se tengan unas condiciones ambientales especiales, de temperatura y humedad para su crecimiento.

Este elemento es de gran importancia ambiental ya que es una planta que aporta múltiples beneficios para el ambiente y en el ser humano; sus productos cuando

¹⁰ NTC 5301:2007, Ingeniería Civil y Arquitectura. Preservación y secado del culmo de guadua angustifolia kunth

¹¹ OSORIO. Jairo Alexander. Influencia de parámetros físicos en la resistencia de diseño a compresión de la guadua Angustifolia Kunth. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2005 pág. 2.

son empleados como elementos integrales de la construcción de viviendas funcionan como reguladores térmicos y de acústica¹².

Como características generales¹³ de este elemento se describe el tallo de la guadua, este presenta estructuras muy especiales, se destacan los nudos y entrenudos. El nudo es el área del tallo del cual crecen ramas con hojas, la distribución de los nudos en el tallo de la guadua existen diferencias poco perceptibles. El tallo o culmo en condiciones ambientales normales alcanza en promedio 20 metros de longitud con 12 centímetros aproximadamente de diámetro y grosor de paredes entre 2 y 5 centímetros.

¹² CASTELLANOS A. Sandra. Subparametros de producción y transformación de la guadua laminada aplicados al diseño industrial. ECOE EDICIONES. Bogotá. 2007

¹³ Ibid

Figura 1. Características de cada parte de la guadua *angustifolia kunt*

PARTES DE UNA GUADUA	
DESCRIPCIÓN	UTILIZACIÓN
COPA Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m.	Se repica en el suelo del guadua como aporte de materia orgánica.
VARILLON Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.	Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
SOBREBASA Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para formaletear planchas y como postes de espalderas en cultivos.
BASA Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.	De esta sección se elabora generalmente la estenilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y formaletas de planchas. Esta parte se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
CEPA Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.	Se utiliza como columnas en construcción y para cercos.
RIZOMA Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán".	En decoración, muebles y juegos infantiles.

Fuente: Elvira de Navas Gutiérrez. Aplicaciones estructurales de la guadua. Proyecto de estructura modular.

5.2.2 Secado se la guadua

En la norma¹⁴ sismo resistente del 2010 se indica: “*Toda guadua destinada a la construcción de estructuras debe ser secada hasta un contenido de humedad (CH%), lo más cercano posible al contenido de humedad de equilibrio (CHE) con el medio ambiente de la zona en donde va a quedar instalada*”.

La guadua al igual que la madera también contiene humedad, la cual es indispensable extraer, para obtener su mayor resistencia y controlar hongos y agentes que la puedan atacar. El material después del proceso de corte debe ser sometida a un proceso de secado, “en este proceso se contrae y obtiene su color amarillo, al estar seca pierde toda la savia y no es tan propensa al ataque de hongos, en este proceso se desecha casi un 20% de guadua por estar rajadas o torcidas.”¹⁵

5.2.3 Guadua en Colombia

Según El sistema de información geográfica para guadua¹⁶ en Colombia fácilmente se pueden encontrar especímenes de guadua *Angustifolia Kunth*, ya que en este país se dan condiciones óptimas para el desarrollo de este material, se da sobre todo desde los 900 hasta los 1600 metros sobre el nivel del mar, aunque se puede encontrar desde el nivel del mar hasta los 2000 metros de altura pero con un desarrollo menos satisfactorio. Esta especie requiere de suelos fértiles, sueltos, húmedos pero no inundables. El promedio mínimo de precipitación requerido es de 1300mm y la temperatura óptima oscila entre 20 y 26°C

¹⁴ NSR-10. Norma de diseño sismo resistente, 2010 (título G)

¹⁵ GARZÓN CAICEDO, Jenny Vaniria, optimización de estructuras en guadua, trabajo de grado Universidad Nacional de Bogotá, Colombia 1996, Pág. 43

¹⁶ EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA GUADUA. <<http://www.sigguadua.gov.co/>>

5.2.4 Construcciones en guadua

La guadua por la esbeltez, durante su crecimiento es sometido a fuertes cargas de viento. Los tabiques de entrenudo producen rigidez y elasticidad, evitan su ruptura al curvarse (característica apropiada para construcciones sismorresistentes). Su crecimiento cónico constituye una desventaja, ya que se obtienen secciones de diámetros variables, pero a través de un proceso de cultivo de invernadero es posible obtener grosores secuencialmente que logren facilitar la resolución de uniones la bambusa guadua es abundante en el eje cafetero colombiano, su rápido crecimiento constituye una de sus principales ventajas. Es un material económico muy resistente a los esfuerzos de compresión, tracción y flexión.¹⁷

En este material se han llevado a cabo construcciones de viviendas, iglesias, restaurantes bibliotecas, incluso en puentes; Pero su uso mas frecuente es en la construcción de cubiertas livianas, esto debido a que la construcción con este elemento se debe hacer con mano de obra especializada en su manejo ya que el proceso se describe como artesanal.

Figura 2. construcciones en guadua



Tomado de www.fundeguadua.org

¹⁷ BANDA, Mabely y SALAS, Eduardo, "El sistema constructivo del Pabellón Zeri" asignatura reflexión, crítica y propuestas sobre las técnicas constructivas, universidad politécnica de Cataluña UPC, 2001. Pág.29.

5.2.5 Contenido de humedad

La norma técnica colombiana¹⁸ define la humedad como el porcentaje de masa de agua de poros o libre en determinada masa de material, con respecto a la masa de material sólido; lo que quiere decir que representa la cantidad de agua que está al interior de un material poroso.

5.2.5.1 Contenido de humedad en la guadua

El contenido de humedad (CH) según la norma sísmo resistente¹⁹ es un valor importante que debe ser conocido al momento de utilizar la guadua o bambu como un elemento estructural de una edificación. Motivo por el cual es importante resaltar que el bambú es un material higroscópico, el contenido de humedad depende del ambiente al que esté expuesto, entre menos contacto tenga el bambú con el agua, o esté expuesto en un ambiente húmedo, el contenido de humedad se estabiliza dependiendo de la humedad relativa y la temperatura del ambiente.

Las variaciones en el contenido de humedad, determinan la expansión y la contracción volumétrica, este material debe ser secado y tratado convenientemente, con el fin de evitar su deterioro, una humedad alta facilita el ataque de insectos y hongos.

La fórmula apropiada para hallar el contenido de humedad de la guadua es:

Formula 1 contenido de humedad

$$\text{humedad\%} = \frac{\text{peso húmedo (gr)} - \text{peso seco (gr)}}{\text{peso seco (gr)}}$$

¹⁸ NTC 1495, Ingeniería civil y arquitectura. Suelos. método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa. (1979)

¹⁹ OBSIT NSR-10 (título G)

5.2.5.2 Contenido de humedad de equilibrio

El contenido de humedad de equilibrio es el porcentaje de agua al interior de un material expuesto a un ambiente con condiciones de humedad y temperatura. Es decir, es la cantidad de agua que dicho material logra absorber de su entorno. Por tanto este se ve afectado por los cambios de temperatura y humedad del aire, teniendo en cuenta que las condiciones ambientales de un mismo lugar se encuentran en constante cambio, ningún material se encuentra en un equilibrio estable, de esta manera el material gana o pierde humedad según estos cambios²⁰.

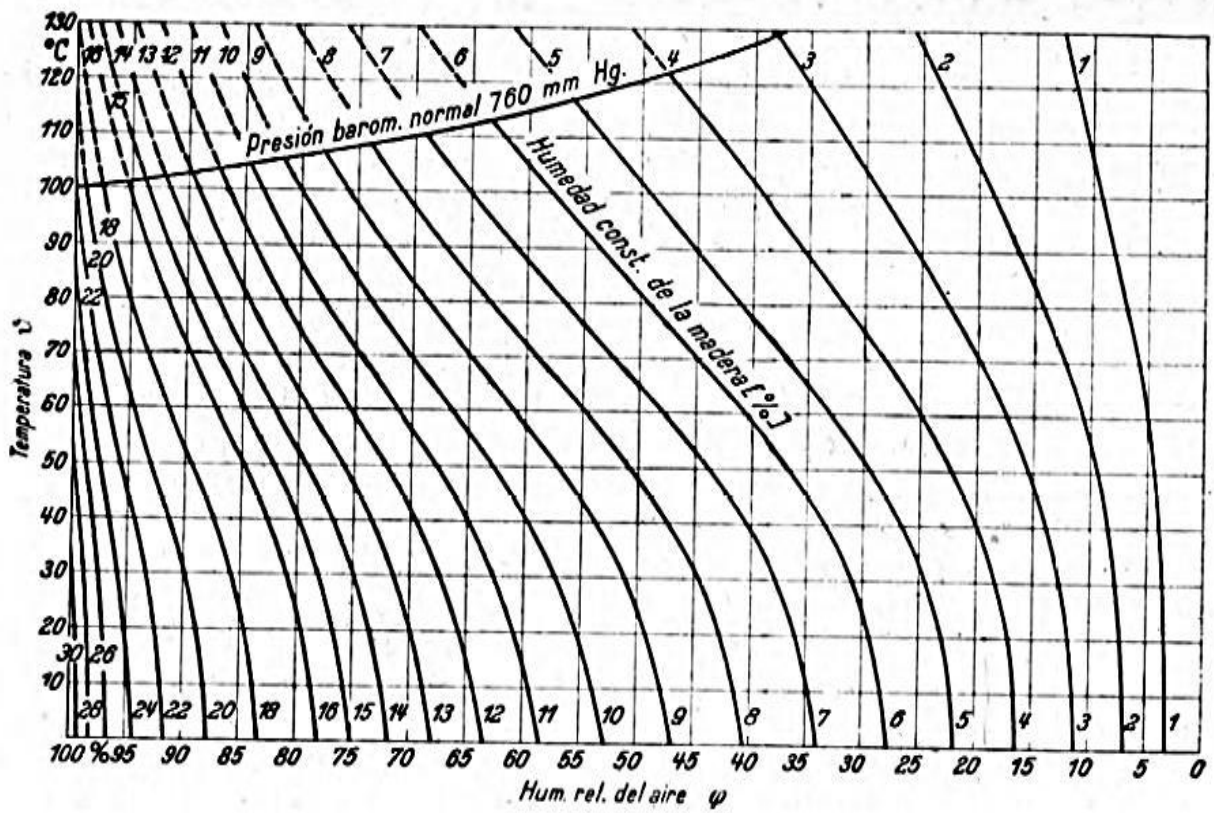
5.2.6 Isotermas de sorción

Un isoterma de adsorción de, humedad es la expresión de la relación funcional existente entre el contenido de humedad de un material (expresado como g de agua por 100 g de sólidos secos) y la actividad acuosa del mismo material. La isoterma de adsorción de humedad permite conocer el contenido de humedad de equilibrio de un elemento que se halla expuesto a un ambiente de humedad relativa y temperatura conocidas. Visto de otra manera, la isoterma indica el valor de la actividad acuosa o humedad relativa de un material que contiene una determinada cantidad de agua, y es mantenido a temperatura constante 'Si, en el segundo caso, el elemento es sometido a un ambiente de la misma temperatura pero de menor humedad relativa, el material perderá humedad hasta llegar al punto indicado por la isoterma, correspondiente a la, nueva humedad relativa, y viceversa²¹

²⁰ PEREZ Peña. Natalia. Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera, en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. Facultad de ciencias forestales. Universidad de concepción. Chile.

²¹ Isotermas de adsorción de humedad. <<http://arenasmelibea.mex.tl/>>

Figura 3 ejemplo isoterma de sorcion



Fuente: NSR-10. Título G. Apéndice G-D. Página G 151

6. DISEÑO METODOLOGICO

6.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene un enfoque mixto ya que describe las propiedades mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth* necesarias para llevar a cabo un eficiente diseño estructural, a partir de datos numéricos obtenidos en el laboratorio pertinente para hallar el contenido de humedad de equilibrio en este material.

Las variables numéricas que la investigación utilizara serán porcentajes de humedad y equilibrio tanto en guadua como en madera, estas se compararan bajo una prueba estadística.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación específicamente, es de tipo experimental ya que los datos necesarios para el desarrollo de este proyecto son obtenidos directamente de las pruebas de laboratorio.

Debido a que se harán diferentes pruebas de laboratorio donde se determinara la humedad y equilibrio de la guadua, se utilizara procedimientos técnicos y también se utilizara la parte descriptiva donde se especificara las condiciones de la guadua.

6.3 FASES

Tabla 1 fases del proyecto

Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Rectificación de metodología	Experimentación	Análisis de datos	Construcción del isoterma
en esta etapa se realiza la revisión de la metodología propuesta para esta investigación realizando las correcciones necesarias	se realizara la preparación de probetas para llevar a cabo la experimentación y toma de datos	dependiendo de los datos obtenidos en la fase anterior se determinara el procedimiento estadístico apto para el análisis de los resultados	se realizara el isoterma de sorción propio de la guadua <i>angustifolia kunth</i> con los datos ya analizados, además de la comparación con el isoterma correspondiente de la madera

Fuente propia

6.4 INSTRUMENTOS

La manera en la cual se obtuvieron los datos necesarios para la construcción del isoterma de sorción de la guadua *angustifolia kunth* fue por medio de formatos que permitieron registrar el pesaje de cada muestra para así realizar un seguimiento al comportamiento de las probetas y de esta manera llegar a la realizar los cálculos pertinentes de las humedades alcanzadas por este material.

6.4.1. Revisión

En esta fase del proyecto se ha examinado la metodología propuesta para la presente investigación, en donde se identificó todo el procedimiento previo a la

experimentación. De esta manera se estableció cada paso a seguir con las probetas de guadua las cuales se describen a continuación.

6.4.2. Tratamiento

Los culmos de guadua destinados para este proyecto deben tener el mismo tratamiento que las secciones de guadua destinadas a la construcción iniciando con el procedimiento de avinagrado natural de acuerdo con la norma NTC 5301, el cual según el numeral 4.1.2.1.1.1 consiste en dejar la guadua en el mismo sitio de corte, bajo sombra por mínimo dos semanas.

6.4.3. Secado

El proceso de secado de los culmos de guadua se puede llevar a cabo por medio de dos métodos, ya sea natural o artificialmente.

El secado natural, según el numeral 4.2.1 de NTC 5301, consiste en dejar el material al aire libre, bajo cubierta de manera separada hasta conseguir el contenido de humedad de equilibrio. De esta manera el contenido de humedad mínimo que se encontrara es de 12% al 14%.

Por otra parte el secado artificial se logra por medio de condiciones controladas con instrumentos mecánicos como un horno o una cámara de secado, de esta manera se lograra conseguir un contenido de humedad mínimo de 6%.

En la norma se muestra además de estos dos procedimientos, un método mixto en el cual se utilizan cámaras solares en exteriores que permitan la regulación del aire, con este procedimiento se logra un contenido mínimo de humedad de 8%.

Esta norma nos presenta una tabla con contenidos de humedad de acuerdo al uso que se vaya a dar a la guadua, pero con la información tomada de valores obtenidos a partir del estudio de maderas.

Tabla 2. Contenido de humedad del material según su aplicación

Aplicaciones	Contenido de humedad (%)
Culmos en construcción (Trópico)	16 - 22
Culmos en construcción (Temperados y climatizados)	9 - 13
Muebles (Trópico)	12 - 16
Muebles (Temperados y climatizados)	8 - 11
Artesanías (Trópico)	12 - 16
Artesanías (Temperados y climatizados)	8 - 11
Pisos parquet (Trópico, temperados y climatizados)	7 - 10
Vigas Laminadas exteriores (Trópico)	15 - 18
Vigas Laminadas interiores (Trópico)	12 - 15
Vigas Laminadas (Temperados y climatizados)	8 - 12
Los valores de la Tabla 1 fueron tomados de: [1] JUNTA DE ACUERDO DE CARTAGENA (1989), Manual del Grupo Andino para el Secado de las Maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. Ed. Carvajal, Calí Colombia, 444 pp. [2] Arango-Johnson A. (2001), Secado de la Madera, Centro Nacional de la Madera SENA Antioquia, Medellín, 118 pp. [3] Montoya Arango J. A. (2006), <i>Trocknungsverfahren für die Bambusart Guadua angustifolia unter tropischen Bedingungen</i>, Dissertation, Universität Hamburg, Hamburg Germany. 254 pp	

Fuente: NTC 5301 Pág. 5

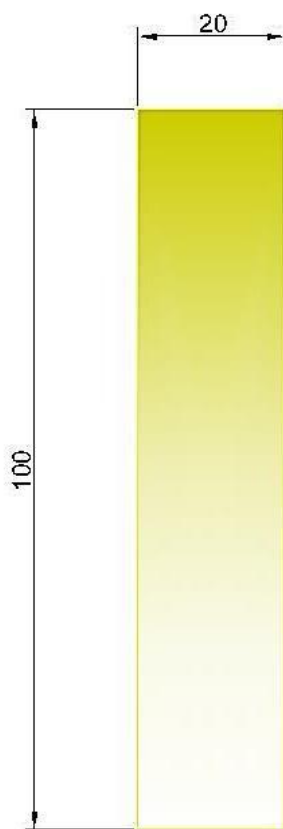
Este procedimiento de secado para la presente investigación se realizara luego de la fase de experimentación para prevenir fallas higroscópicas en las probetas de guadua.

6.4.4. Medición y peso

Las probetas deben tener las siguientes consideraciones, tomadas antes de cada ensayo:

- Tolerancia de 10 mm, para la longitud del culmo.
- 1 mm para la longitud o altura de la probeta, paralela al eje del culmo.
- 1 mm para el diámetro del culmo, en cada sección transversal, el espesor de la pared se debe tomar cuatro veces en los mismos sitios que se midió el diámetro (2 veces).

Figura 4 Dimensiones para las probetas Ilustración



Dimensiones de medida para las probetas. Largo 100 mm. Ancho 20 mm.

Fuente: isotermas de sorcion de Andrés Garay ilustracion 15

Las probetas deben ser pesadas con exactitud de:

- 10 gr. por culmo
- 1 gr. por probeta de más de 100 gr.
- 0,1 gr. por probeta de menos de 100 gr.

Las anteriores consideraciones pueden ser tenidas en cuenta para nuestro estudio, al ser consideraciones generales.

Todos los equipos y dispositivos para la obtención de pesos, volúmenes, etc, deben ser calibrados, con el fin de garantizar la exactitud de los resultados.

6.4.5. Identificación de probetas

En la presente investigación se utilizaron 6 probetas por cada una de las clasificaciones de la guadua, con un total de 36 casquetes para cada valor de temperatura y humedad controlada como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3 ejemplo de clasificación de probetas por cada punto de temperatura y humedad constante.

Parte de la guadua	Cantidad
Cepa sin nudo	6
Cepa con nudo	6
Basa sin nudo	6
Basa con nudo	6
Sobre basa sin nudo	6
Sobre basa con nudo	6
total	36

Fuente propia

Para marcar las probetas se utilizo una clasificación por las condiciones de temperatura y humedad, además de la parte de la guadua a la cual pertenece y el numero de 1 a 6 que se le asigna.

De esta manera la humedad se clasifica con letras del abecedario de menor a mayor:

A: 35%

B: 50%

C: 60%

D: 70%

E: 80%

F: 90%

La temperatura se clasifica con la leta T acompañado de el numero de 1 a 4 según la temperatura asignada de menor a mayor:

T1: 10°C

T2: 20°C

T3: 30°C

T4: 40°C

Para reconocer la parte de la guadua a la cual pertenece cada muestra se marco de la siguiente manera:

Cepa con nudo: C

Cepa sin nudo: C-SN

Basa con nudo: B

Basa sin nudo: B-SN

Sobre basa con nudo: SB

Sobre basa sin nudo: SB-SN

Final mente se numeran las 6 probetas de uno a seis ya que aunque las seis tienen las mismas características que se nombraron anteriormente, se nombran para realizar el seguimiento en pesos individualmente.

Ejemplo:

F-T4-C-SN-1

Esta probeta corresponde al grupo de muestras que fueron expuestas a una humedad de 90% (F) una temperatura de 40°C (T4), la parte de la guadua a la que pertenece es a la cepa (C) sin nudo (SN) además de ser la numero 1 de 6 probetas que pertenecen a esta clasificación.

CONTENIDO DE HUMEDAD

Método

La NTC-5525, especifica el método para obtener el contenido de humedad de la guadua *Angustifolia Kunth*, parámetro importante en la evaluación de las propiedades físicas, como la resistencia a tracción o a compresión.

Determinación, mediante el pesaje, de la pérdida de masa de la probeta de ensayo durante el secado, hasta una masa constante. Calculo de pérdida de masa como un porcentaje de la masa de la probeta de ensayo después del secado, lo que nos llevaría a obtener el punto de saturación de las fibras.

Equipo

- Balanza con una exactitud de 0,001 gr.
- Equipo con capacidad para secar la guadua hasta obtener una condición absolutamente seca, por ejemplo un horno eléctrico.
- Equipo para garantizar la retención de humedad en la probeta, por ejemplo frascos con cuellos de vidrio esmerilado y tapones que garanticen un sello hermético.

Preparación de las probetas

Luego de garantizar la realización de los procedimientos descritos anteriormente, se debe realizar la marcación de cada probeta para realizar el seguimiento de cada una según su clasificación.

7. RESULTADOS

7.1. EXPERIMENTOS

7.1.1 Primer experimento

En la primera fase de la experimentación se tomaron los valores de humedad y temperatura más críticos, teniendo en cuenta el intervalo considerado en este proyecto, el cual se describe en la siguiente tabla.

Tabla 4 intervalo de humedad y temperatura

VARIABLE	MÁXIMO	MÍNIMO
HUMEDAD	90%	35%
TEMPERATURA	40°C	10°C

Fuente propia

Según esto, se establece que el primer experimento será a 90% de humedad y 40°C de temperatura.

Según la identificación de probetas que se dio anteriormente, se establece cada una de las probetas que hará parte de este experimento según la siguiente tabla:

Tabla 5 marcación de probetas

MUESTRA	
F-T4-C-1	F-T4-B-SN-1
F-T4-C-2	F-T4-B-SN-2
F-T4-C-3	F-T4-B-SN-3
F-T4-C-4	F-T4-B-SN-4
F-T4-C-5	F-T4-B-SN-5
F-T4-C-6	F-T4-B-SN-6
F-T4-C-SN-1	F-T4-SB-1
F-T4-C-SN-2	F-T4-SB-2
F-T4-C-SN-3	F-T4-SB-3
F-T4-C-SN-4	F-T4-SB-4
F-T4-C-SN-5	F-T4-SB-5
F-T4-C-SN-6	F-T4-SB-6
F-T4-B-1	F-T4-SB-SN-1
F-T4-B-2	F-T4-SB-SN-2
F-T4-B-3	F-T4-SB-SN-3
F-T4-B-4	F-T4-SB-SN-4
F-T4-B-5	F-T4-SB-SN-5
F-T4-B-6	F-T4-SB-SN-6

Fuente propia

Estas probetas se limpiaron y se les quitaron partículas que se pudieran desprender durante el procedimiento para evitar errores en la toma de pesos diarios.

Luego se llevo a cabo el pesaje inicial de cada probeta o muestra utilizada en esta fase de la experimentación.

Seguido de esto se introdujeron las muestras en la máquina que simula condiciones de temperatura y humedad controladas, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 5. Muestras al interior de la maquina



Fuente propia

Seguido de esto se programó la máquina para la humedad y temperatura deseadas como se muestra en la siguiente imagen

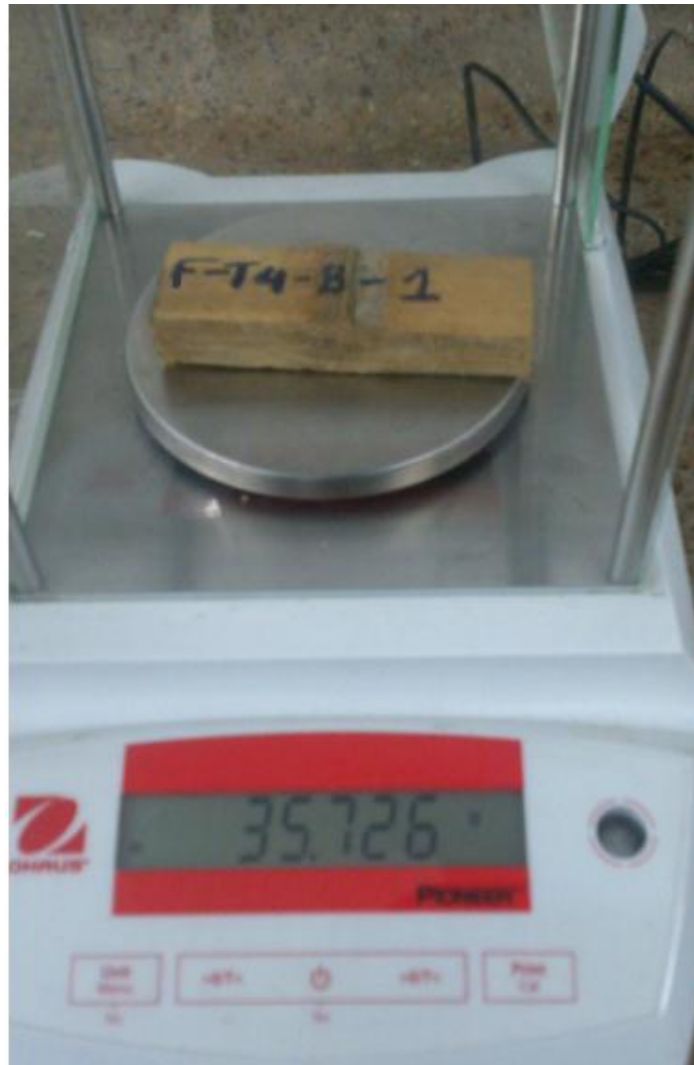
Figura 6. Estado de la maquina



Fuente propia

Se realizó pesaje diario (en días hábiles) para ejercer un control sobre la absorción que tenía cada probeta, tomando como muestra una probeta de cada clasificación, la cual representaría el comportamiento de cada grupo de culmos utilizados.

Figura 7. Pesaje diario de probetas



Fuente propia

En el momento en el cual todas las probetas utilizadas variaran menos de 0.01gr de un día a otro se estableció que los pesos se estabilizaron y que las muestras

utilizadas ya alcanzaron su humedad de equilibrio para las condiciones que se establecieron.

Ya con esto se llabo el pesaje y recolección de datos para después llevar estas probetas al horno a 104°C durante 24 horas para así tener el peso seco de cada muestra.

Los pesos registrados cada día (incluyendo el inicial y final) se muestran en la siguiente tabla:

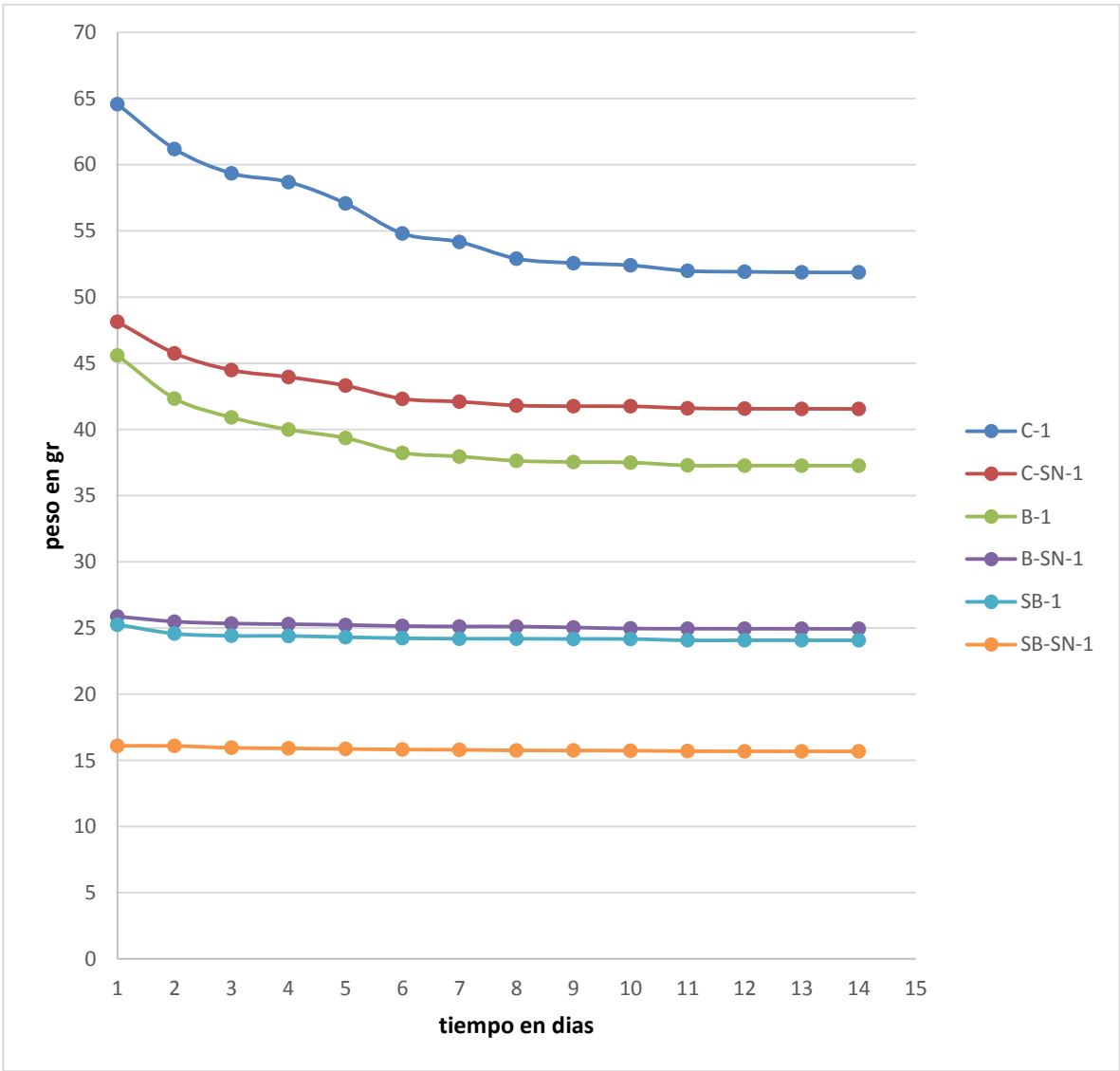
Tabla 6 registro de pesos

DATOS DE REFERENCIA PARA TEMPERATURA 40°C (T4) Y 90% DE HUMEDAD (F) PESO EN GRAMOS							
PROBETA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
C-1	64,573	61,182	59,341	58,685	57,07	54,792	54,153
C-SN-1	48,125	45,752	44,477	43,952	43,304	42,309	42,091
B-1	45,586	42,334	40,902	39,981	39,348	38,229	37,951
B-SN-1	25,863	25,48	25,335	25,283	25,224	25,142	25,108
SB-1	25,25	24,569	24,407	24,395	24,303	24,223	24,187
SB-SN-1	16,092	16,085	15,943	15,901	15,86	15,814	15,794
DIA 8	DIA 9	DIA 10	DIA 11	DIA 12	DIA 13	DIA 14	DIA 15
53,528	52,895	52,563	52,391	51,972	51,909	51,861	51,856
41,909	41,805	41,752	41,743	41,596	41,558	41,552	41,548
37,745	37,624	37,537	37,497	37,271	37,265	37,261	37,258
25,078	25,107	25,035	24,954	24,941	24,939	24,936	24,932
24,154	24,184	24,172	24,165	24,061	24,069	24,065	24,063
15,756	15,748	15,739	15,731	15,690	15,681	15,677	15,676

Fuente propia

De esta manera se realizo una grafica en la que se muestra, según los datos registrados, la forma en que cambiaron los valores hasta que se estabilizaron dando una diferencia de peso menor a 0.01

Grafica 1. Progreso de pesos



Fuente propia

Ya estable las probetas se procede a secar los culmos de guadua en el horno a 104°C.

Una vez tomado el peso seco de cada probeta se obtiene la siguiente tabla

Tabla 7. Peso seco de las muestras

MUESTRA	PESO SECO
F-T4-C-1	41,105
F-T4-C-2	45,023
F-T4-C-3	41,891
F-T4-C-4	37,342
F-T4-C-5	37,765
F-T4-C-6	43,592
F-T4-C-SN-1	33,235
F-T4-C-SN-2	36,034
F-T4-C-SN-3	32,413
F-T4-C-SN-4	34,359
F-T4-C-SN-5	27,931
F-T4-C-SN-6	33,624
F-T4-B-1	29,745
F-T4-B-2	29,345
F-T4-B-3	30,758
F-T4-B-4	32,124
F-T4-B-5	28,396
F-T4-B-6	31,152
F-T4-B-SN-1	20,065
F-T4-B-SN-2	25,051
F-T4-B-SN-3	24,975
F-T4-B-SN-4	19,647
F-T4-B-SN-5	26,271
F-T4-B-SN-6	25,601
F-T4-SB-1	19,612
F-T4-SB-2	18,613
F-T4-SB-3	19,725
F-T4-SB-4	21,543
F-T4-SB-5	17,589
F-T4-SB-6	17,815
F-T4-SB-SN-1	12,594
F-T4-SB-SN-2	15,046
F-T4-SB-SN-3	15,813
F-T4-SB-SN-4	18,014
F-T4-SB-SN-5	16,342
F-T4-SB-SN-6	14,463

Fuente propia

Esta información es suficiente para obtener la humedad de equilibrio, teniendo el peso con el cual se estabilizo la humedad y el peso seco de cada probeta se obtiene:

Tabla 8. Humedad de equilibrio de las muestras

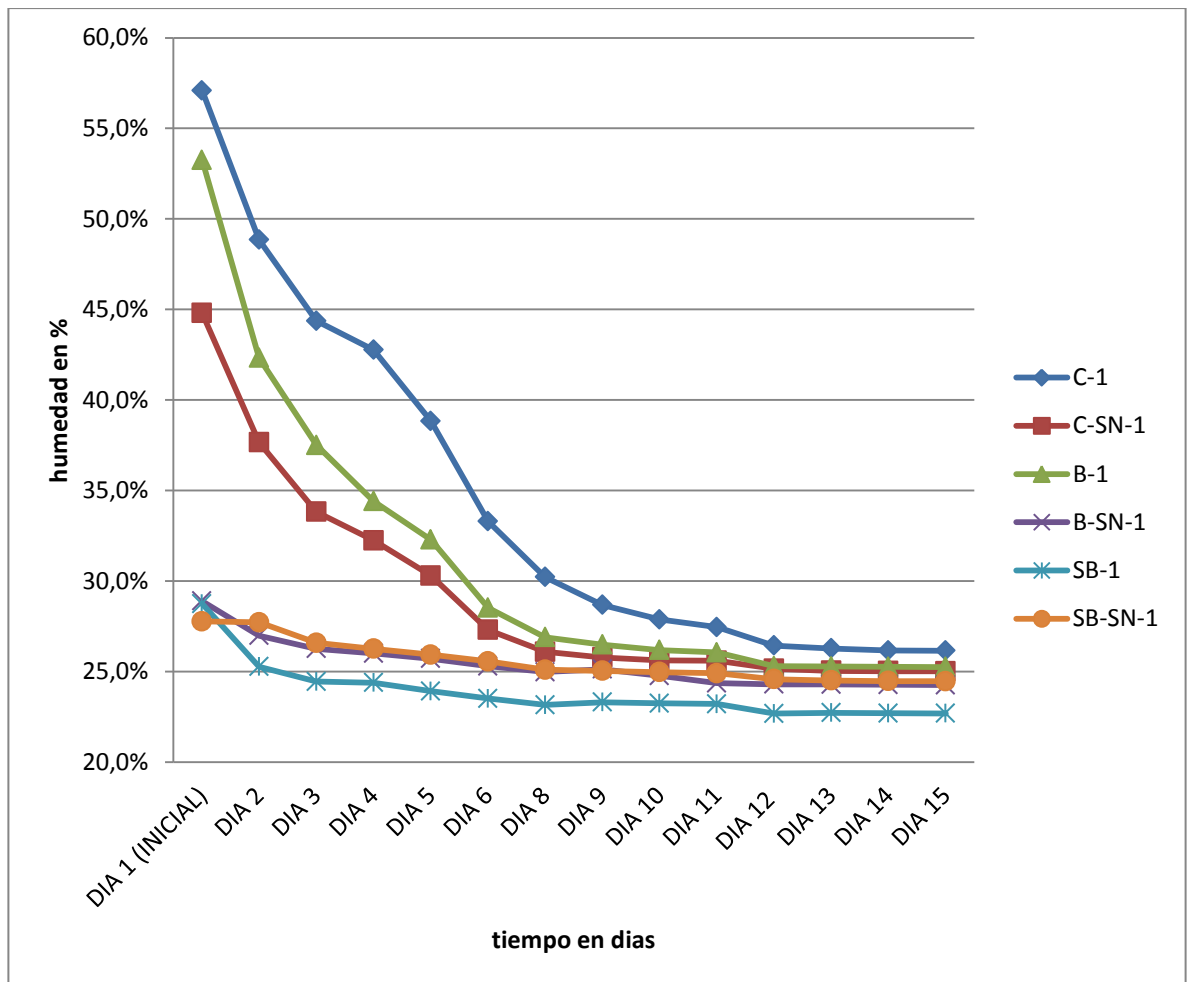
muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio
F-T4-C-1	51,856	41,105	26,15%
F-T4-C-2	55,331	45,023	22,89%
F-T4-C-3	52,672	41,891	25,74%
F-T4-C-4	45,684	37,342	22,34%
F-T4-C-5	46,01	37,765	21,83%
F-T4-C-6	53,298	43,592	22,27%
F-T4-C-SN-1	41,548	33,235	25,01%
F-T4-C-SN-2	44,972	36,034	24,80%
F-T4-C-SN-3	42,327	33,413	26,68%
F-T4-C-SN-4	42,718	34,359	24,33%
F-T4-C-SN-5	34,069	27,931	21,98%
F-T4-C-SN-6	41,026	33,624	22,01%
F-T4-B-1	37,258	29,745	25,26%
F-T4-B-2	35,875	29,345	22,25%
F-T4-B-3	37,077	30,758	20,54%
F-T4-B-4	38,441	32,124	19,66%
F-T4-B-5	35,067	28,396	23,49%
F-T4-B-6	37,317	31,152	19,79%
F-T4-B-SN-1	24,932	20,065	24,26%
F-T4-B-SN-2	30,104	25,051	20,17%
F-T4-B-SN-3	30,478	24,975	22,03%
F-T4-B-SN-4	24,23	19,647	23,33%
F-T4-B-SN-5	31,707	26,271	20,69%
F-T4-B-SN-6	31,083	25,601	21,41%
F-T4-SB-1	24,063	19,612	22,70%
F-T4-SB-2	22,972	18,613	23,42%
F-T4-SB-3	24,166	19,725	22,51%
F-T4-SB-4	25,976	21,543	20,58%
F-T4-SB-5	21,996	17,589	25,06%
F-T4-SB-6	22,705	17,815	27,45%

muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio
F-T4-SB-SN-1	15,676	12,594	24,47%
F-T4-SB-SN-2	18,488	15,046	22,88%
F-T4-SB-SN-3	19,325	15,813	22,21%
F-T4-SB-SN-4	21,763	18,014	20,81%
F-T4-SB-SN-5	19,931	16,342	21,96%
F-T4-SB-SN-6	17,81	14,463	23,14%

Fuente propia

Igualmente se realizo el cálculo para cada día en el cual se llevo el seguimiento de las provetas para obtener asi la grafica del comportamiento de la humedad.

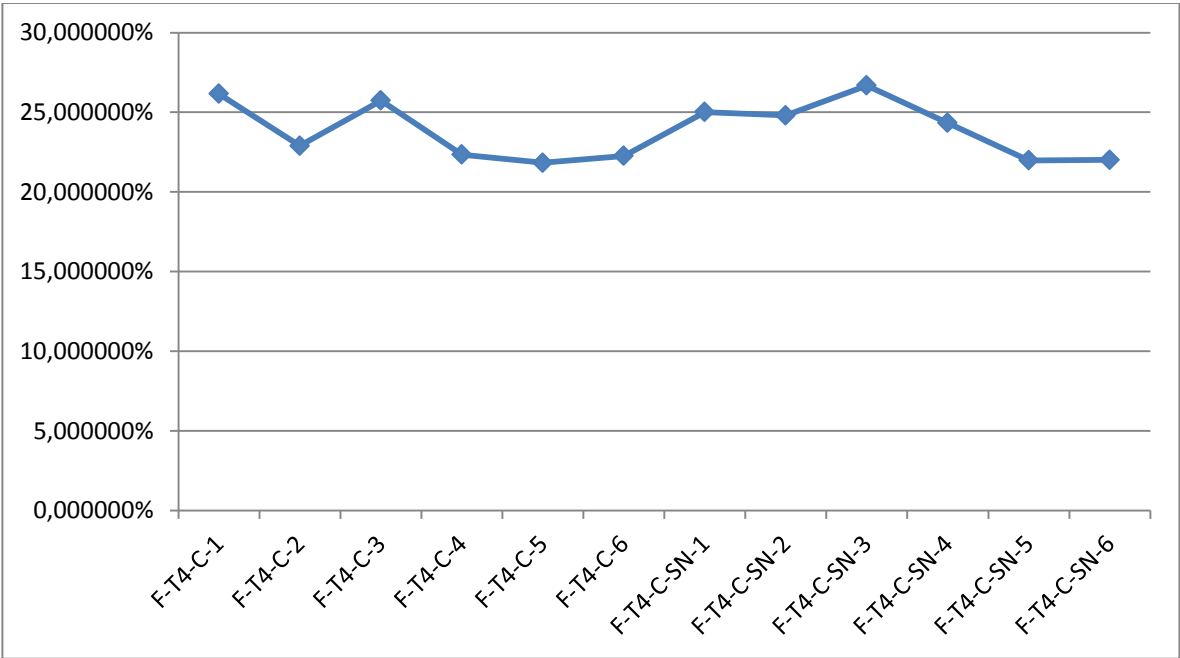
Grafica 2. Progreso de humedades de cada muestra



Fuente propia

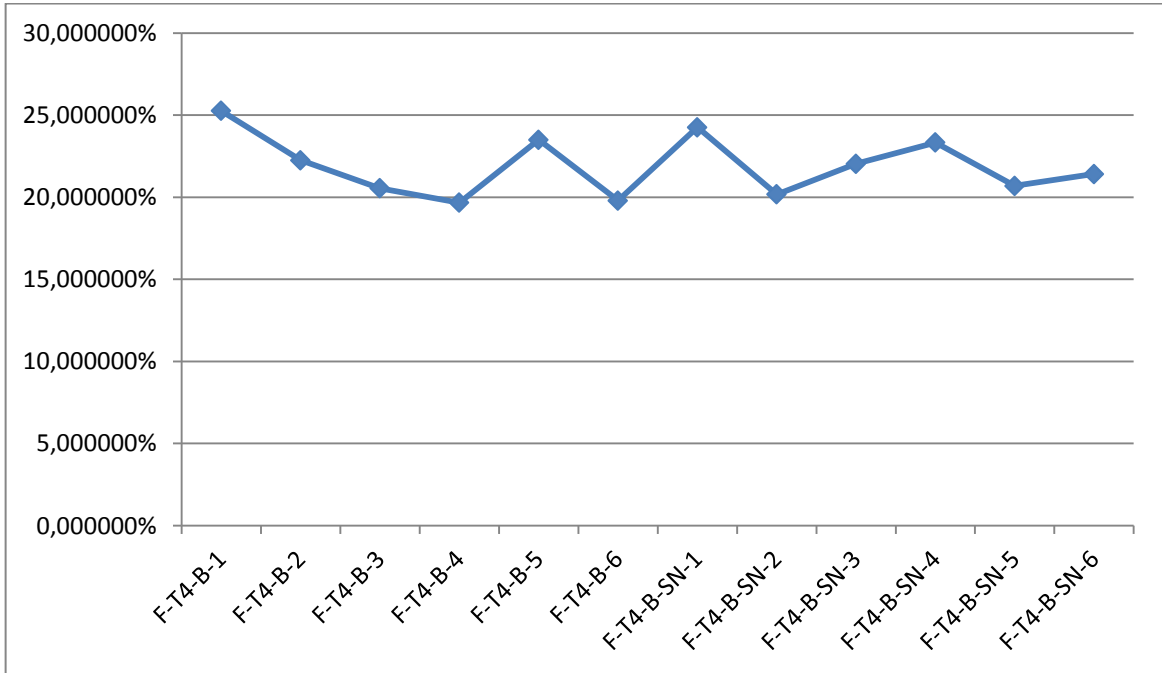
Tomando la humedad de equilibrio de cada probeta se obtiene la siguiente grafica

Grafica 3. (CHE) cepa



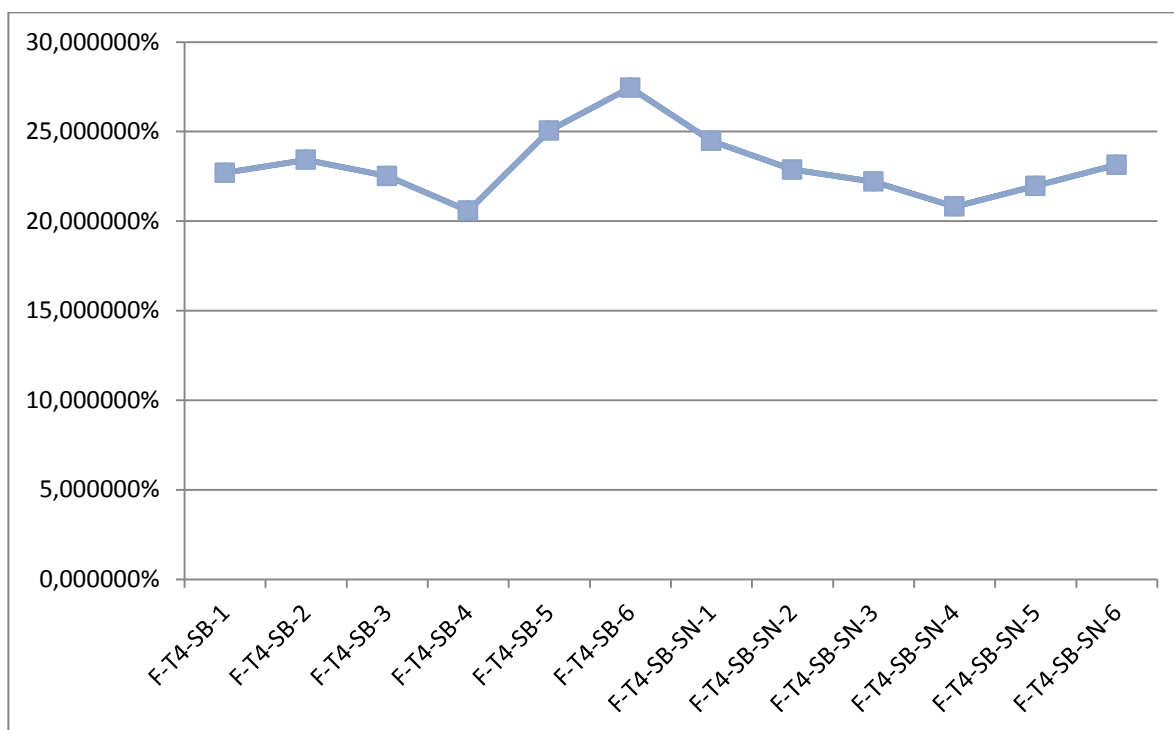
Fuente propia

Grafica 4. (CHE) basa



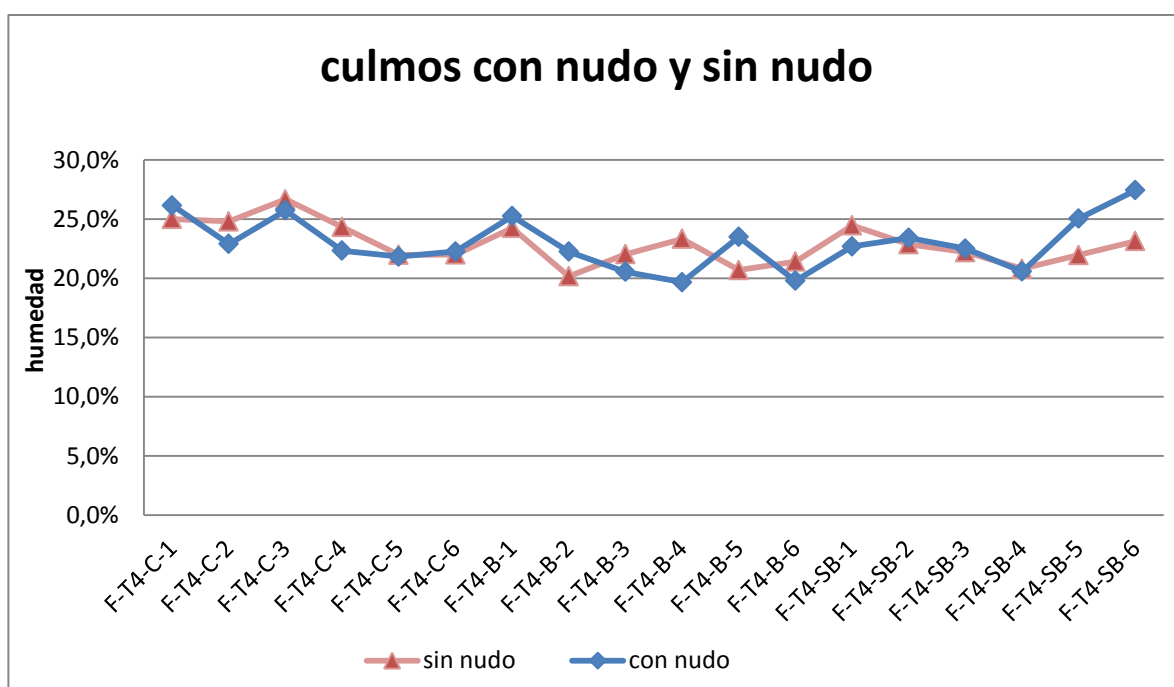
Fuente propia

Grafica 5. (CHE) sobre basa



Fuente propia

Grafica 6. (CHE) de culmos con nudo en comparación de (CHE) de nudos sin nudo



Fuente propia

7.1.2 Segundo Experimento

Para continuar con la construcción del isoterma de sorción en esta primera fase que constituye los puntos con condiciones de 40°C de temperatura variando la humedad, en el segundo experimento se reduce la humedad a 80%.

Las probetas utilizadas para este experimento son las siguientes:

Tabla 9. Marcación de probetas 2

MUESTRA	
E-T4-C-1	E-T4-B-SN-1
E-T4-C-2	E-T4-B-SN-2
E-T4-C-3	E-T4-B-SN-3
E-T4-C-4	E-T4-B-SN-4
E-T4-C-5	E-T4-B-SN-5
E-T4-C-6	E-T4-B-SN-6
E-T4-C-SN-1	E-T4-SB-1
E-T4-C-SN-2	E-T4-SB-2
E-T4-C-SN-3	E-T4-SB-3
E-T4-C-SN-4	E-T4-SB-4
E-T4-C-SN-5	E-T4-SB-5
E-T4-C-SN-6	E-T4-SB-6
E-T4-B-1	E-T4-SB-SN-1
E-T4-B-2	E-T4-SB-SN-2
E-T4-B-3	E-T4-SB-SN-3
E-T4-B-4	E-T4-SB-SN-4
E-T4-B-5	E-T4-SB-SN-5
E-T4-B-6	E-T4-SB-SN-6

Fuente propia

Siguiendo el mismo procedimiento aplicado para el primer grupo de muestras, estas se introdujeron a la maquina que simula temperatura y humedad con la diferencia de que gracias al anterior experimento ya se tenía previsto cuanto

tiempo duran las probetas en estabilizarse se dejo de tomar pesos diarios por una semana, luego de esto se tomaron pesos cada tres días hasta que se noto que el cambio de pesos era mínimo, en ese momento se llevo a cabo un pesaje diario en el que resulto que la diferencia de pesos fue menor a 0.01, así que este sería el contenido de humedad de equilibrio.

Figura 8 maquina programada temperatura y humedad de el segundo experimento



Fuente propia

Figura 9 pesaje en el segundo experimento



Fuente propia

Los pesos de este segundo experimento son los siguientes:

Tabla 10. Pesos con (CHE) segundo experimento

muestra	peso con CHE
E-T4-C-1	37,152
E-T4-C-2	38,661
E-T4-C-3	40,878
E-T4-C-4	48,322
E-T4-C-5	41,745
E-T4-C-6	45,322
E-T4-C-SN-1	32,941
E-T4-C-SN-2	36,953
E-T4-C-SN-3	47,745
E-T4-C-SN-4	49,985
E-T4-C-SN-5	42,954
E-T4-C-SN-6	40,321
E-T4-B-1	35,631
E-T4-B-2	38,285
E-T4-B-3	31,704
E-T4-B-4	34,788
E-T4-B-5	34,334
E-T4-B-6	31,007
E-T4-B-SN-1	26,181
E-T4-B-SN-2	26,597
E-T4-B-SN-3	33,112
E-T4-B-SN-4	25,616
E-T4-B-SN-5	28,513
E-T4-B-SN-6	27,653
E-T4-SB-1	17,551
E-T4-SB-2	28,533
E-T4-SB-3	26,123
E-T4-SB-4	19,957
E-T4-SB-5	17,695
E-T4-SB-6	21,99
E-T4-SB-SN-1	17,803
E-T4-SB-SN-2	19,038
E-T4-SB-SN-3	17,671
E-T4-SB-SN-4	17,309
E-T4-SB-SN-5	16,925
E-T4-SB-SN-6	17,457

Fuente propia

Seguido de esto se introdujeron las probetas al horno a 104°C para la obtención del peso seco

Tabla 11. Pesos seco segundo experimento

muestra	peso seco
E-T4-C-1	31,432
E-T4-C-2	32,764
E-T4-C-3	34,764
E-T4-C-4	41,186
E-T4-C-5	35,574
E-T4-C-6	38,481
E-T4-C-SN-1	27,912
E-T4-C-SN-2	31,448
E-T4-C-SN-3	40,763
E-T4-C-SN-4	42,624
E-T4-C-SN-5	36,655
E-T4-C-SN-6	34,062
E-T4-B-1	30,312
E-T4-B-2	32,601
E-T4-B-3	26,864
E-T4-B-4	29,506
E-T4-B-5	29,104
E-T4-B-6	26,352
E-T4-B-SN-1	22,256
E-T4-B-SN-2	22,702
E-T4-B-SN-3	28,234
E-T4-B-SN-4	21,804
E-T4-B-SN-5	24,321
E-T4-B-SN-6	23,615
E-T4-SB-1	14,908
E-T4-SB-2	24,531
E-T4-SB-3	22,376
E-T4-SB-4	16,974
E-T4-SB-5	15,032
E-T4-SB-6	18,867
E-T4-SB-SN-1	15,224
E-T4-SB-SN-2	16,142

muestra	peso seco
E-T4-SB-SN-3	15,197
E-T4-SB-SN-4	14,801
E-T4-SB-SN-5	14,465
E-T4-SB-SN-6	14,932

Fuente propia

Con los anteriores pesos es posible obtener la humedad de equilibrio de cada probeta:

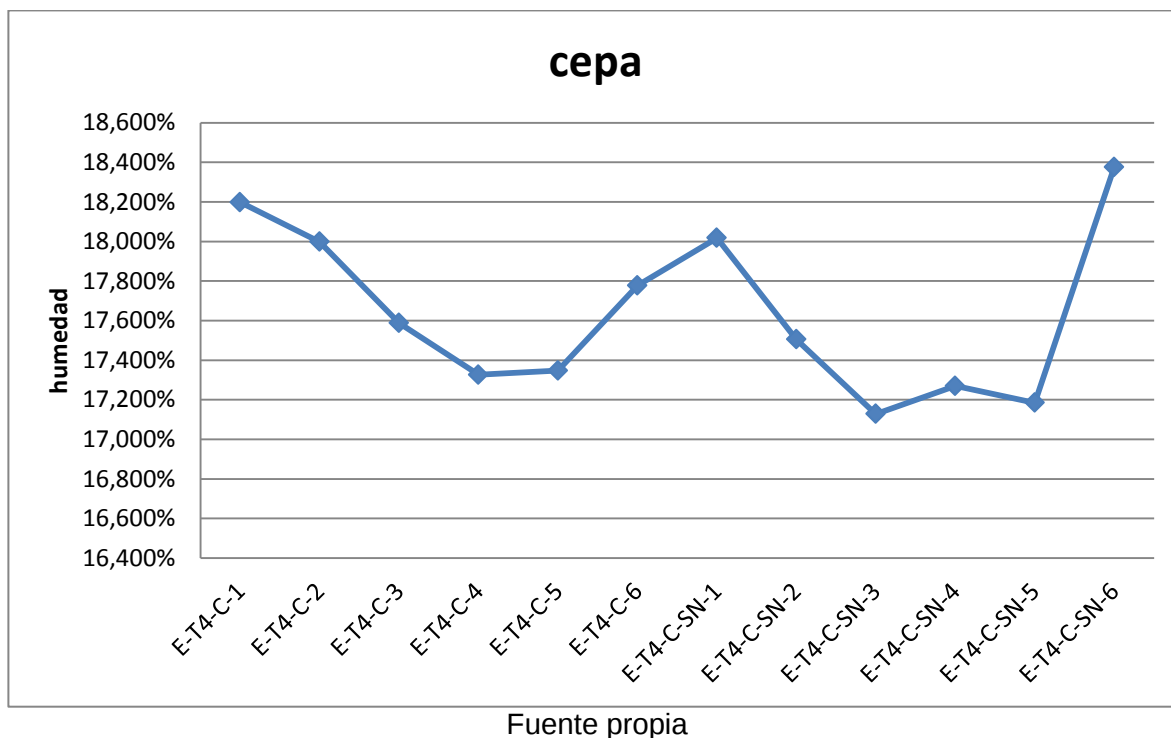
Tabla 12. Humedad de equilibrio segundo experimento

muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio
E-T4-C-1	37,15	31,43	18,20%
E-T4-C-2	38,66	32,76	18,00%
E-T4-C-3	40,88	34,76	17,59%
E-T4-C-4	48,32	41,19	17,33%
E-T4-C-5	41,75	35,57	17,35%
E-T4-C-6	45,32	38,48	17,78%
E-T4-C-SN-1	32,94	27,91	18,02%
E-T4-C-SN-2	36,95	31,45	17,51%
E-T4-C-SN-3	47,75	40,76	17,13%
E-T4-C-SN-4	49,99	42,62	17,27%
E-T4-C-SN-5	42,95	36,66	17,18%
E-T4-C-SN-6	40,32	34,06	18,38%
E-T4-B-1	35,63	30,31	17,55%
E-T4-B-2	38,29	32,60	17,44%
E-T4-B-3	31,70	26,86	18,02%
E-T4-B-4	34,79	29,51	17,90%
E-T4-B-5	34,33	29,10	17,97%
E-T4-B-6	31,01	26,35	17,66%
E-T4-B-SN-1	26,18	22,26	17,64%
E-T4-B-SN-2	26,60	22,70	17,16%
E-T4-B-SN-3	33,11	28,23	17,28%
E-T4-B-SN-4	25,62	21,80	17,48%
E-T4-B-SN-5	28,51	24,32	17,24%
E-T4-B-SN-6	27,65	23,62	17,10%
E-T4-SB-1	17,55	14,91	17,73%

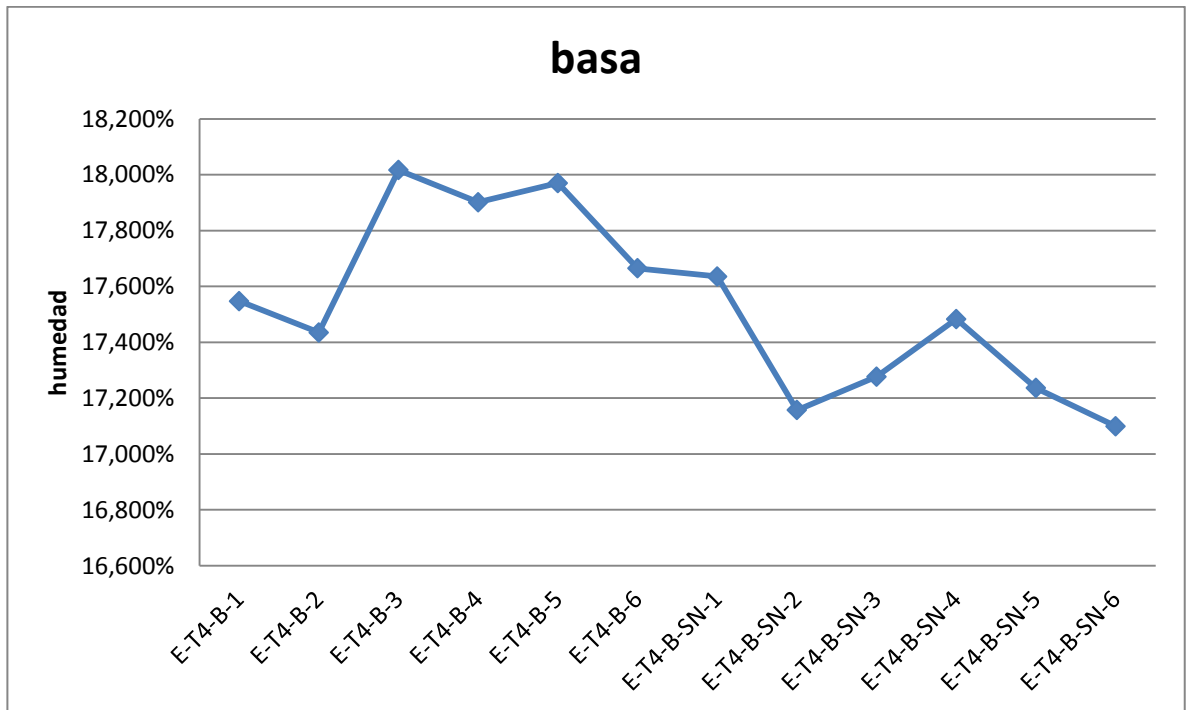
muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio
E-T4-SB-2	28,53	24,53	16,31%
E-T4-SB-3	26,12	22,38	16,75%
E-T4-SB-4	19,96	16,97	17,57%
E-T4-SB-5	17,70	15,03	17,72%
E-T4-SB-6	21,99	18,87	16,55%
E-T4-SB-SN- 1	17,80	15,22	16,94%
E-T4-SB-SN- 2	19,04	16,14	17,94%
E-T4-SB-SN- 3	17,67	15,20	16,28%
E-T4-SB-SN- 4	17,31	14,80	16,94%
E-T4-SB-SN- 5	16,93	14,47	17,01%
E-T4-SB-SN- 6	17,46	14,93	16,91%

Fuente propia

Grafica 7. (CHE) cepa

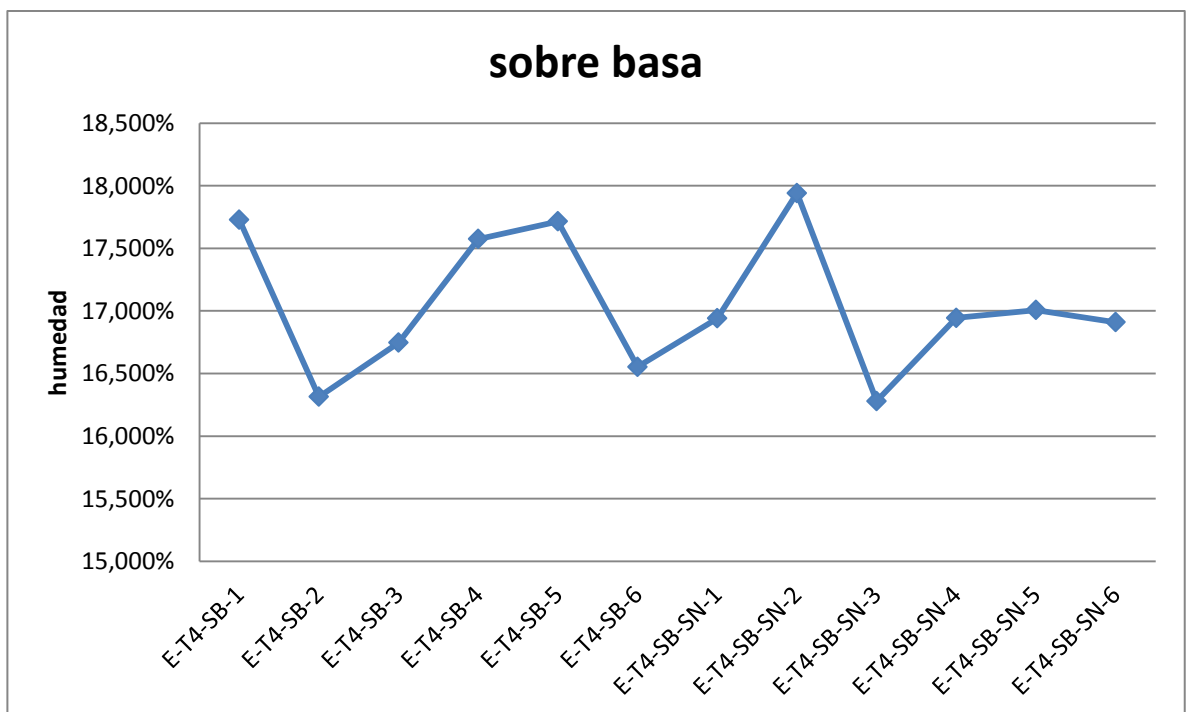


Grafica 8. (CHE) basa



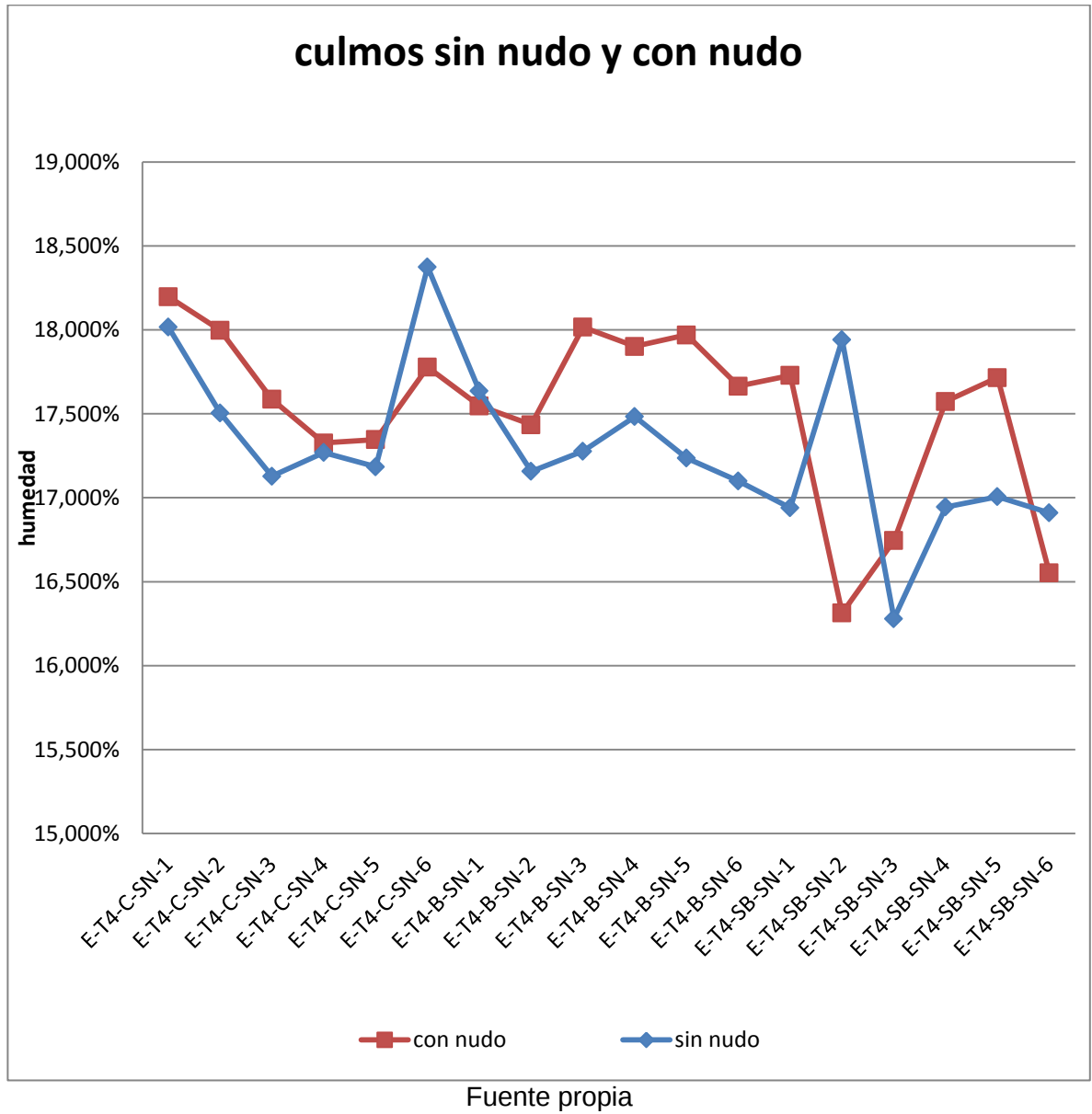
Fuente propia

Grafica 9. (CHE) sobre basa



Fuente propia

Grafica 10. (CHE) de culmos con nudo en comparación de (CHE) de nudos sin nudo



7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.2.1. Primer experimento

El primer experimento realizado con temperatura de 40°C (T4) y humedad de 90% (F) muestra que la humedad que alcanzaron las muestras realizando un promedio entre las probetas de la misma clasificación se encuentran en un rango de 21,83% (basa con nudo) a 24,14% (cepa sin nudo) como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 13. Promedio por clasificación

muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio	PROMEDIO POR CLASIFICACION
F-T4-C-1	51,856	41,105	26,15%	23,54%
F-T4-C-2	55,331	45,023	22,89%	
F-T4-C-3	52,672	41,891	25,74%	
F-T4-C-4	45,684	37,342	22,34%	
F-T4-C-5	46,01	37,765	21,83%	
F-T4-C-6	53,298	43,592	22,27%	
F-T4-C-SN-1	41,548	33,235	25,01%	24,14%
F-T4-C-SN-2	44,972	36,034	24,80%	
F-T4-C-SN-3	42,327	33,413	26,68%	
F-T4-C-SN-4	42,718	34,359	24,33%	
F-T4-C-SN-5	34,069	27,931	21,98%	
F-T4-C-SN-6	41,026	33,624	22,01%	
F-T4-B-1	37,258	29,745	25,26%	21,83%
F-T4-B-2	35,875	29,345	22,25%	
F-T4-B-3	37,077	30,758	20,54%	
F-T4-B-4	38,441	32,124	19,66%	
F-T4-B-5	35,067	28,396	23,49%	
F-T4-B-6	37,317	31,152	19,79%	
F-T4-B-SN-1	24,932	20,065	24,26%	21,98%
F-T4-B-SN-2	30,104	25,051	20,17%	
F-T4-B-SN-3	30,478	24,975	22,03%	

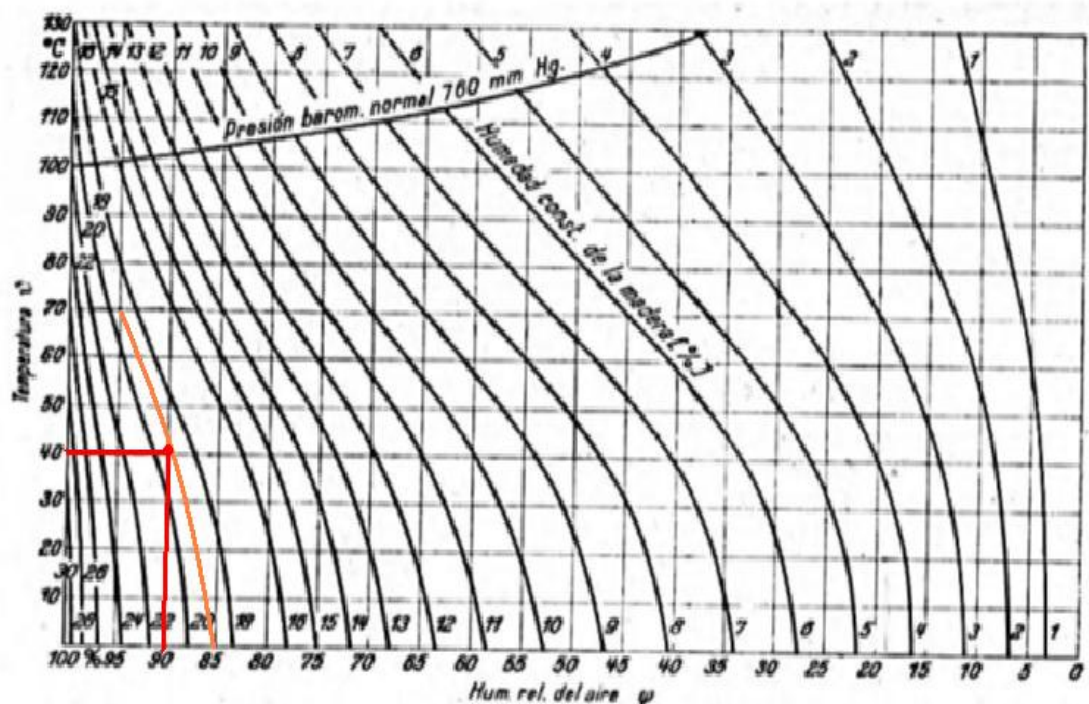
muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio	
F-T4-B-SN-4	24,23	19,647	23,33%	
F-T4-B-SN-5	31,707	26,271	20,69%	
F-T4-B-SN-6	31,083	25,601	21,41%	
F-T4-SB-1	24,063	19,612	22,70%	23,62%
F-T4-SB-2	22,972	18,613	23,42%	
F-T4-SB-3	24,166	19,725	22,51%	
F-T4-SB-4	25,976	21,543	20,58%	
F-T4-SB-5	21,996	17,589	25,06%	
F-T4-SB-6	22,705	17,815	27,45%	
F-T4-SB-SN-1	15,676	12,594	24,47%	22,58%
F-T4-SB-SN-2	18,488	15,046	22,88%	
F-T4-SB-SN-3	19,325	15,813	22,21%	
F-T4-SB-SN-4	21,763	18,014	20,81%	
F-T4-SB-SN-5	19,931	16,342	21,96%	
F-T4-SB-SN-6	17,81	14,463	23,14%	

Fuente propia

Pero la materia de estudio de este trabajo de grado, además de la construcción del isoterma de sorción propio de la guadua, pretende realizar la comparación de los resultados aquí obtenidos, con los datos del isoterma de sorción de la madera, el cual, según la norma sismo resistente vigente, da como referencia para el diseño estructural en guadua.

Es por esto que se compara este dato obtenido con el propio de la madera para estas mismas condiciones de humedad y temperatura como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 10 comparación de resultados obtenidos con los resultados del isoterma de la madera



Fuente: NSR 10 Figura G.D.1 – isoterma de sorción MODIFICADA

De esta manera se ve que el contenido de humedad de equilibrio obtenido de manera experimental en la guadua oscila entre 21,8% y 24,1% mientras que el que erróneamente se utiliza en la guadua actualmente, perteneciente a la madera es de aproximadamente 19% de humedad.

De esta manera se ve una afectación directa a los datos que la norma sismo resistente ya que esta propone datos menores a los que verdaderamente pertenecen a la guadua *Angustifolia Kunth* provocando cálculos alejados de la realidad de este elemento en particular. De esta manera se modificarían los datos erróneos que proporciona la misma norma en el mismo numeral:

Tabla 14. (CHE) según la nsr 10 para las principales ciudades de Colombia

Ciudad	HR%	T °C	ECH%
Armenia	77	22	15
Barranquilla	76	28	14
Bogotá	80	11	16
Bucaramanga	75	22	14
Buenaventura	87	28	18.5
Cali	75	24	12
Cartagena	79	28	15
Cúcuta	66	27	16
Ibagué	80	21	16
Manizales	78	18	13
Medellín	69	21	12
Montería	82	27	16
Neiva	67	26	16
Pasto	79	17	16
Pereira	75	22	14
Popayán	79	18	16
Quibdó	87	28	18.5
Sincelejo	77	28	15
Tunja	80	13	16
Turbo	85	27	17.5
Valledupar	70	28	13
Villavicencio	75	25	14

Fuente: NSR 10 tabla G.D.1 equilibrio de contenido de humedad (ECH) para las principales ciudades de Colombia.

7.2.2. Segundo experimento

En este segundo experimento realizado con temperatura de 40°C (T4) y humedad de 80% (E) se mostro que la humedad que alcanzaron las muestras realizando un promedio entre las probetas de la misma clasificación se encuentran en un rango de 17.004% (sobre basa sin nudo) a 17,756% (basa con nudo) como lo muestra la siguiente tabla:

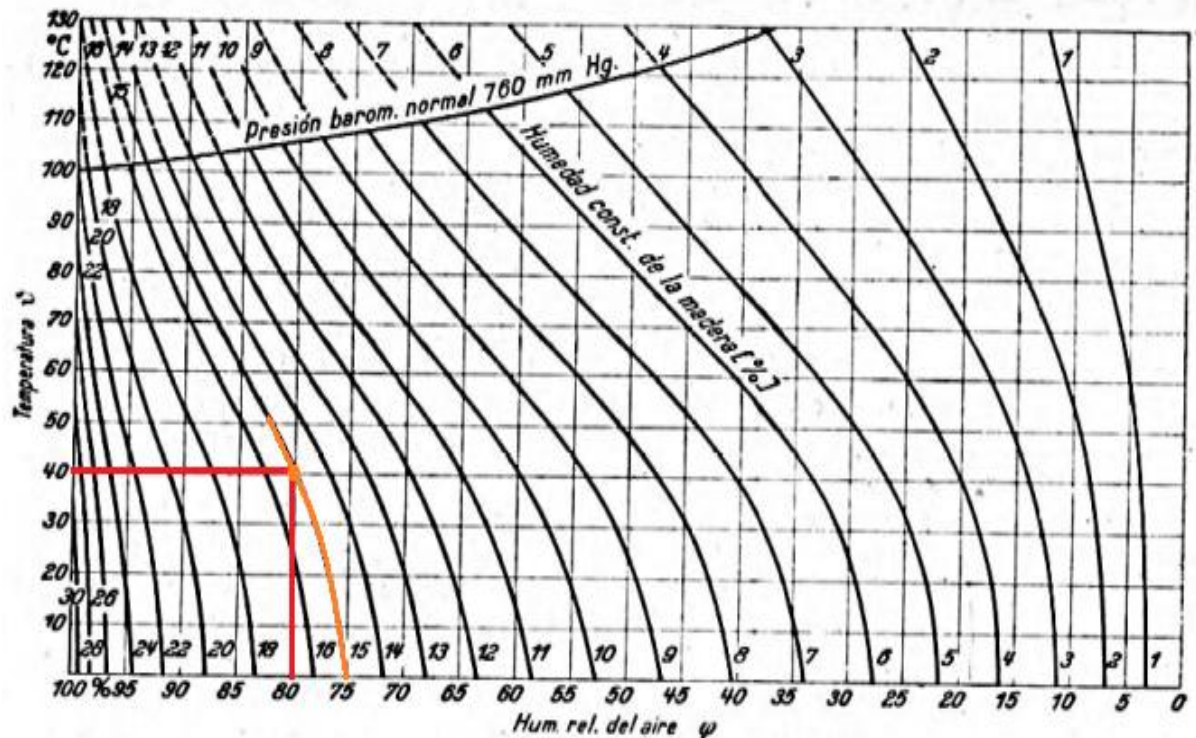
Tabla 15. Promedio por clasificación segundo experimento

muestra	peso con CHE	peso seco	humedad de equilibrio	
E-T4-C-1	37,152	31,432	18,198%	17,706%
E-T4-C-2	38,661	32,764	17,998%	
E-T4-C-3	40,878	34,764	17,587%	
E-T4-C-4	48,322	41,186	17,326%	
E-T4-C-5	41,745	35,574	17,347%	
E-T4-C-6	45,322	38,481	17,778%	
E-T4-C-SN-1	32,941	27,912	18,017%	17,580%
E-T4-C-SN-2	36,953	31,448	17,505%	
E-T4-C-SN-3	47,745	40,763	17,128%	
E-T4-C-SN-4	49,985	42,624	17,270%	
E-T4-C-SN-5	42,954	36,655	17,185%	
E-T4-C-SN-6	40,321	34,062	18,375%	
E-T4-B-1	35,631	30,312	17,548%	17,756%
E-T4-B-2	38,285	32,601	17,435%	
E-T4-B-3	31,704	26,864	18,017%	
E-T4-B-4	34,788	29,506	17,901%	
E-T4-B-5	34,334	29,104	17,970%	
E-T4-B-6	31,007	26,352	17,665%	
E-T4-B-SN-1	26,181	22,256	17,636%	17,315%
E-T4-B-SN-2	26,597	22,702	17,157%	
E-T4-B-SN-3	33,112	28,234	17,277%	
E-T4-B-SN-4	25,616	21,804	17,483%	
E-T4-B-SN-5	28,513	24,321	17,236%	
E-T4-B-SN-6	27,653	23,615	17,099%	
E-T4-SB-1	17,551	14,908	17,729%	17,105%
E-T4-SB-2	28,533	24,531	16,314%	
E-T4-SB-3	26,123	22,376	16,746%	
E-T4-SB-4	19,957	16,974	17,574%	
E-T4-SB-5	17,695	15,032	17,716%	
E-T4-SB-6	21,99	18,867	16,553%	
E-T4-SB-SN-1	17,803	15,224	16,940%	17,004%
E-T4-SB-SN-2	19,038	16,142	17,941%	
E-T4-SB-SN-3	17,671	15,197	16,280%	
E-T4-SB-SN-4	17,309	14,801	16,945%	
E-T4-SB-SN-5	16,925	14,465	17,007%	
E-T4-SB-SN-6	17,457	14,932	16,910%	

Fuente propia

Según este intervalo obtenido experimentalmente se procede a realizar la comparación para estos mismos datos de temperatura y humedad en la tabla propuesta en la NSR 10

Figura 11 comparación de resultados obtenidos con los resultados del isoterma de la madera (2)



Fuente: NSR 10 Figura G.D.1 – isoterma de sorción MODIFICADA

Como se muestra en la anterior tabla para condiciones de temperatura de 40°C y humedad de 80% el contenido de humedad de equilibrio que alcanza la guadua sería de 15%; un dato muy alejado al que experimentalmente se encontró para estas mismas condiciones.

Este dato por estar entre el intervalo que la norma sismo resistente, contrario al del primer experimento que supera dicho intervalo, tiene un cambio en la consideración del coeficiente de modificación por contenido de humedad utilizado en el diseño estructural en guadua.

Figura 12 coeficiente de modificación por contenido de humedad

Esfuerzos		CH $\leq$ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH $\geq$ 19%
Flexión	F_b	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	F_t	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión paralela	F_c	1.0	0.96	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión perpendicular	F_p	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	F_y	1.0	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83	0.80
Modulo de elasticidad	$E_{0.5}$	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	$E_{0.05}$								
	E_{min}								

Fuente: NSR 10 Tabla G.12.7-5 coeficientes de modificación por contenido de humedad (Cm)

De esta manera se ve como la consideración de tomar los mismos valores para la manera y la guadua conducen a una serie de errores que termina con un cálculo estructural erróneo ya que la guadua tiene una capacidad de absorción mayor a la que la norma considera, de esta manera se ve afectada la resistencia y rigidez de este material en una medida mayor a la que la norma sugiere.

8. CONCLUSIONES

Gracias a la continuidad que esta investigación le dio a proyectos anteriores se pudo determinar la metodología adecuada para lograr datos reales que representan la reacción que tiene la guadua frente a condiciones de temperatura y humedad diferentes.

La experimentación que se realizó para este proyecto logró determinar el comportamiento de la guadua *Angustifolia Kunth* para diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa que constuyen el isoterma de sorción propio de este material.

Los resultados obtenidos en esta investigación lograron establecer que los datos dados por la norma sismo resistente vigente para Colombia, en cuanto a humedad de equilibrio de la guadua no son los apropiados para este material específicamente ya que el comportamiento de la guadua *Angustifolia Kunth* no es el mismo de la madera, como se considera en dicha norma.

9. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones que pretendan enriquecer y aportar información de manera experimental a la construcción del isoterma de sorción de la guadua *angustifolia kunth* sería de gran ayuda conocer las siguientes consideraciones que se lograron durante el proceso de este proyecto.

En cuanto al proceso experimental se recomienda un especial cuidado en la toma de pesos ya que este material puede perder o ganar peso rápidamente en el momento en el que se saca la probeta de la máquina.

Igualmente la manipulación de estas probetas se debe hacer con guantes impermeables que eviten la pérdida de humedad al momento de tocar o coger las probetas

10. BIBLIOGRAFIA

- NSR-98. Norma de diseño sismo resistente, 1998 (capítulo E. 7)
- NSR-10. Norma de diseño sismo resistente, 2010 (capítulo G. 12)
- Aeberhard, R. - Aeberhard, A. - Natalini, M. - Martina, P. - Ventin, A. - Corace, J. Determinación de las isotermas de sorción de materiales constructivos porosos e higroscópicos (madera). Chaco – Argentina (2000)
- GARAY TANGARIFE, Andres E. Isotermas de sorción para la guadua angustifolia kunth, Bogota – Colombia (2014)
- GUINDEO CASAÚS, ANTONIO. GARCÍA ESTEBAN, LUIS, Fatiga higroscópica y dimensional de la madera, España. 1991
- OSORIO. Jairo Alexander et al. Influencia de parámetros físicos en la resistencia de diseño a compresión de la guadua Angustifolia Kunth. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 2005 pág. 2.
- Castellanos Alvarado, Sandra. Subparametros de producción y transformación de la guadua laminada aplicados al diseño industrial. ECOE EDICIONES. Bogotá. 2007
- Garzón Caicedo Jenny Vaniria, optimización de estructuras en guadua, trabajo de grado Universidad Nacional de Bogotá, Colombia 1996, Pág. 43
- Banda, Mabely y Salas, Eduardo, “El sistema constructivo del Pabellón Zeri” asignatura reflexión, crítica y propuestas sobre las técnicas constructivas, universidad politécnica de Cataluña UPC, 2001. Pág.29.
- PEREZ Peña. Natalia. Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera, en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. Facultad de ciencias forestales. Universidad de concepción. Chile.