

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA POTENCIOMÉTRICA PARA EVALUAR  
LA CONCENTRACIÓN DE UNA SOLUCIÓN PRESERVANTE DE BAMBÚ**

**LEIDY JOHANA GUZMÁN**

**Código: 1004774428**

**RODRIGO URBANO ENRÍQUEZ**

**Código: 1061696248**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**PROGRAMA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE GRADO**

**PEREIRA**

**2013**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA TÉCNICA POTENCIOMÉTRICA PARA EVALUAR  
LA CONCENTRACIÓN EN EL TIEMPO DE UNA SOLUCIÓN PRESERVANTE  
DE BAMBÚ**

**LEIDY JOHANA GUZMÁN**

**Código: 1004774428**

**RODRIGO URBANO ENRÍQUEZ**

**Código: 1061696248**

**TRABAJO DE GRADO**

**Requisito para optar al título de Tecnólogo en Química**

**Director:**

**OSCAR MARINO MOSQUERA MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**PROGRAMA DE TECNOLOGÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE GRADO**

**PEREIRA**

**2013**

## DEDICATORIA

A mi madre por su esfuerzo y apoyo incondicional durante el transcurso de mis estudios, a quien debo todo lo que soy. A mi prometido Mauricio, quien desde el principio estuvo pendiente de mi carrera y de mi bienestar.

*Leidy Johana Guzmán*

A mis padres que con su esfuerzo y apoyo incondicional, consiguieron sostenerme hasta culminar mi carrera. A mis hermanos, Áder y Fanny, quienes me han sido ejemplo de dedicación y esfuerzo. A mi familia que siempre ha estado al tanto de mis logros y mi formación, tanto académica como personal. A mi prometida Sol; expectante, siempre me animó a continuar.

*Rodrigo Urbano Enríquez*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por el bienestar y el sustento brindado al transcurso de nuestras vidas, logrando culminar satisfactoriamente con nuestro proyecto de grado.

A nuestro director Óscar Marino Mosquera, por su interés, orientación y respeto mostrado frente a nuestras decisiones basadas en el conocimiento adquirido en la Escuela de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira.

A Juan Carlos Camargo y Tito Morales, por el aporte brindado desde sus conocimientos científicos.

A Juan David Suárez, por su colaboración y apoyo.

Al Proyecto: *Innovación Tecnológica para la Optimización de Procesos y la Estandarización de Productos en Empresas Rurales con Base en la Guadua: una Contribución para el Fortalecimiento de la Competitividad de la Cadena Productiva de la Guadua en el Eje Cafetero de Colombia*. Con Código 1110-502-27241; Contrato 709-2011. Financiado por Colciencias.

## RESUMEN

La *Guadua angustifolia* Kunth es una de las especies de bambú de mayor demanda y mejor aceptación por parte del sector productivo, dada su fácil capacidad de propagación, rápido crecimiento, utilidad y tradición para trabajar sus productos y el enorme potencial para la construcción, elaboración de muebles, artesanías, fabricación de papel, pisos, modulares, combustible y sus características benéficas para el medio ambiente, por lo tanto es una especie que satisface las más apremiantes necesidades de la población, [1]; pero para lograr un buen producto es necesario realizar procesos de preservación con el fin de garantizar una mayor protección hacia algunas plagas, insectos y microorganismos que la pueden atacar logrando así una mayor duración.

Debido a la gran importancia de la preservación de guadua en la región del Eje Cafetero, en el presente trabajo se validó una técnica potenciométrica que permitió determinar la concentración de la solución preservante. Se obtuvieron modelos lineales a partir de la conductividad y la temperatura de la solución. Este modelo va acompañado de dos experimentos, con el objetivo de estimar el comportamiento de la conductividad y el pH cuando la solución se somete a un cambio tanto en la proporción como en la concentración. Los modelos son válidos para realizar un monitoreo de la solución a través del tiempo, deduciendo la concentración a partir de los datos de conductividad y temperatura recolectados.

Posteriormente se efectuó un experimento conformado por bloques aleatorizados, los cuales están definidos por la zona del culmo; alta, media y baja, realizando inmersiones cada cinco días durante dos meses, para establecer el efecto del tiempo en la concentración de la solución preservante.

Todas las mediciones pertinentes se efectuaron con un pH-metro Fisher Scientific AB-15 y un conductímetro Fisher Scientific AB 30.

Finalmente se realizaron análisis estadísticos empleando el software SPSS® versión 19, para la validación de las técnicas potenciométricas.

**Palabras claves:** ácido bórico, bórax, concentración, conductividad, *G. angustifolia*, inmersión, pH, preservación, solución preservante, técnicas potenciométricas, proporción, validación.

## ABSTRACT

The *Guadua angustifolia* Kunth is one of bamboo species in greatest demand and better acceptance by the productive sector given its easy propagation, rapid growth, utility and tradition to work their products and the enormous potential for the construction, development of furniture, handicrafts, paper making, flooring, modular, fuel and its beneficial characteristics to the environment, is thus a species that meets the most pressing needs of the population,[1] but to achieve a good product is necessary preservation processes in order to ensure greater protection to some pests, insects and microorganisms that can attack and by this way achieve longer life.

Due to the great importance of the preservation of bamboo in the coffee region, in this study was validated potentiometric technique that allows determining the concentration of the preservative solution. Linear models were obtained from the conductivity and temperature of the solution. These models are accompanied by two experiments, in order to estimate the behavior of the conductivity and pH when the solution is submitted to a change in their proportion or concentration. This model is valid for monitoring of the solution over the time, deducting the concentration from data of conductivity and temperature recollected.

Subsequently it was conducted an experiment conformed by randomized blocks, which are defined by the area of the culm; high, medium and low, performing immersions every five days for two months, to establish the time effect on the preservative solution concentration.

The measurements were performed with a pH-meter Fisher Scientific AB-15 and conductivity-meter AB 30 Fisher Scientific.

Finally, statistical analyzes were performed using the software SPSS<sup>®</sup> version 19, for the validation of potentiometric techniques.

**Keywords:** borax, boric acid, concentration, conductivity, *G. angustifolia*, immersion, pH, potentiometric techniques, preservation, preserving solution, proportion, validation.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	12
1.1. Planteamiento del problema.....	12
1.2. Formulación del problema.....	12
<b>2. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	13
2.1. La guadua .....	13
2.2. Clasificación taxonómica de la <i>G. angustifolia</i> .....	13
2.3. Tejidos y células que componen el culmo de <i>G. angustifolia</i> .....	15
2.4. Agentes biológicos que deterioran los bambúes.....	18
2.5. Tipos de tratamiento.....	19
2.5.1. Métodos no químicos .....	20
2.5.2. Métodos químicos .....	21
2.6. Preservantes .....	24
2.7. Ácido Bórico .....	24
2.7.1. Estructura atómica .....	25
2.7.2. Propiedades físicas y químicas del ácido bórico .....	25
2.7.3. El ácido bórico como preservante y plaguicida .....	25
2.8. Tetraborato de sodio (Bórax) .....	26
2.8.1. Propiedades físicas y químicas del Tetraborato de sodio (bórax) .....	26
2.9. Potenciometría .....	26
2.9.1. Instrumentos para la medida de potencial.....	28
2.9.2. Medición del pH.....	28
2.9.2.1. Electrodo de referencia.....	29
2.9.3. Principio de funcionamiento del pH-metro con microprocesador .....	30
2.9.4. Definición operacional de pH .....	31
2.10. Conductimetría .....	31
2.10.1. Conductividad .....	31
2.10.2. Medición de la conductividad .....	32
2.10.3. La conductividad y su medición depende de factores .....	33
2.10.4. Conductividad y concentración iónica .....	33
2.10.5. Efecto de la temperatura. ....	34

2.10.6. Instrumentos para medir conductividad.....	34
2.10.7. Conductímetro AB 30 .....	34
2.10.7.1. Características técnicas.....	34
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>37</b>
4.1. Objetivo general .....	37
4.2. Objetivos específicos .....	37
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>38</b>
5.1. Materiales.....	38
5.2. Equipos. ....	38
5.3. Métodos. ....	38
5.4. Muestras. ....	39
5.5. Diseño experimental.....	40
5.5.1. Validación de la técnica potenciométrica .....	40
5.5.1.1. Modelos predictivos.....	40
5.5.2. Cambio en la conductividad con respecto a la proporción .....	42
5.5.3. Cambio en la conductividad con respecto a la concentración y proporción .....	42
5.5.4. Efecto del tiempo en la solución.....	43
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
6.1. Mediciones preliminares.....	44
6.2. Validación de la técnica potenciométrica .....	45
6.2.1. Modelos predictivos.....	45
6.2.1.1. Análisis de regresión lineal teniendo como variable dependiente la conductividad .....	46
6.2.1.2. Análisis de regresión lineal teniendo como variable dependiente el pH .....	48
6.2.1.3. Estudio de los parámetros estadísticos .....	49
6.2.1.4. Relación entre las variables de respuesta; conductividad y pH....	51
6.2.2. Cambio en la conductividad con respecto a la proporción .....	52
6.2.3. Cambio en la conductividad con respecto a la concentración y la proporción.....	56
6.3. Procedimiento para ajustar la concentración de la solución preservante por medio de los modelos encontrados.....	61

6.4. Efecto del tiempo en la concentración de la solución.....	62
6.5. Estudio complementario.....	67
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Electrodos para la medición de pH.....	30
<b>Tabla 2:</b> Preparación de las soluciones experimento 1 .....	40
<b>Tabla 3:</b> preparación de las soluciones de concentración 5% m/V .....	42
<b>Tabla 4:</b> Posición de las canecas por zona. ....	43
<b>Tabla 5:</b> Mediciones de pH y conductividad del residuo del tanque de preservación de la hacienda Yarima. ....	44
<b>Tabla 6:</b> Mediciones de pH y conductividad. ....	45
<b>Tabla 7:</b> Promedios de las mediciones obtenidas en el experimento.....	45
<b>Tabla 8:</b> Resumen de los modelos. ....	46
<b>Tabla 9:</b> Modelos para determinar la concentración de la solución preservante mediante la conductividad.....	46
<b>Tabla 10:</b> Modelos para determinar la concentración de la solución preservante mediante el pH. ....	48
<b>Tabla 11:</b> Parámetros de calidad para la precisión. ....	49
<b>Tabla 12:</b> Error relativo para cada una de las concentraciones .....	50
<b>Tabla 13:</b> Limite de detección y cuantificación para cada uno de los modelos. ....	51
<b>Tabla 14:</b> Modelo de relación entre la conductividad y le pH. ....	52
<b>Tabla 15:</b> Datos promedio del experimento 2.....	53
<b>Tabla 16:</b> Estadísticos descriptivos de la proporción de bórax en el experimento 2 .....	53
<b>Tabla 17 :</b> Prueba de Kruskal-Wallis para los datos del experimento 2.....	54
<b>Tabla 18:</b> Prueba de Mann Whitney para los datos del experimento 2. ....	55
<b>Tabla 19:</b> Datos promedios del experimento 3.....	56
<b>Tabla 20:</b> Prueba de Kruskal-Wallis teniendo en cuenta la concentración.....	57
<b>Tabla 21:</b> Prueba de Mann Whitney teniendo en cuenta la concentración.....	57
<b>Tabla 22:</b> Prueba de Kruskal-Wallis teniendo en cuenta la proporción en bórax. .	58
<b>Tabla 23:</b> Prueba de Mann Whitney teniendo en cuenta la proporción de bórax. .	59
<b>Tabla 24:</b> Datos promedios de las inmersiones.....	63
<b>Tabla 25:</b> Prueba de Kruskal-Wallis para los datos de las inmersiones. ....	63

<b>Tabla 26:</b> Prueba de Kruskal-Wallis para los datos de la conductividad en función de la zona.....	64
<b>Tabla 27:</b> Prueba de Mann Whitney para los datos de la conductividad y pH en función de la zona de la <i>g. angustifolia</i> Kunth. ....	64

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Guadua angustifolia</i> Kunth, tomada de [8].	13
<b>Figura 2:</b> Estructura de la guadua, tomada de [10].	14
<b>Figura 3:</b> Corte transversal del culmo de la <i>guadua angustifolia</i> Kunth.	15
<b>Figura 4:</b> Corte longitudinal del culmo de la <i>guadua angustifolia</i> .	16
<b>Figura 5:</b> Haz vascular de <i>g. angustifolia</i> .	17
<b>Figura 6:</b> Curado al humo.	21
<b>Figura 7:</b> Tratamiento por inmersión de sales.	22
<b>Figura 8:</b> Método de Boucherie.	22
<b>Figura 9:</b> Método de Boucherie modificado.	23
<b>Figura 10:</b> Estructura química del ácido bórico.	25
<b>Figura 11:</b> Estructura química del tetraborato de sodio (Bórax)	26
<b>Figura 12:</b> Esquema de un potenciómetro.	28
<b>Figura 13:</b> Electrodo de Calomel.	29
<b>Figura 14:</b> Electrodo de Ag/AgCl.	29
<b>Figura 15:</b> Diagrama del principio de funcionamiento de un pH- metro con microprocesador	31
<b>Figura 16:</b> Conductímetro Fisher Scientific accument AB 30.	35
<b>Figura 17:</b> Canecas marca Fuller, propia.	38
<b>Figura 18:</b> Secciones de un culmo, propia	39
<b>Figura 19:</b> Muestras de guadua, propia	39
<b>Figura 20:</b> pH Vs Conductividad.	52
<b>Figura 21:</b> Gráfica de las medias conductividad y pH vs proporción de bórax.	55
<b>Figura 22:</b> Gráfica de las medias de la conductividad y el pH vs concentración.	58
<b>Figura 23:</b> Gráfica de las medias de la conductividad y pH vs proporción en bórax.	59
<b>Figura 24:</b> Gráfica de conductividad vs concentración separado por proporción de bórax.	60
<b>Figura 25:</b> Inmersión de los trozos de guadua, propia	62
<b>Figura 26:</b> inmersión de los trozos de guadua con ayuda de piedras, propia	62
<b>Figura 27:</b> Gráfica de las medias de conductividad y pH en función de los días.	64

**Figura 28:** Gráfica de las medias del pH y conductividad en función de la sección del culmo.....65

**Figura 29:** Gráfica de las medias de conductividad vs días por sección.....66

**Figura 30:** Media de pH vs días por sección.....66

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Estadísticos descriptivos para el experimento métodos predictivos ....	75
<b>ANEXO 2:</b> Supuestos de regresión lineal para el modelo 1 .....	76
<b>ANEXO 3:</b> Supuestos del modelo 2.....	79
<b>ANEXO 4:</b> Supuestos de regresión lineal para el modelo 3 .....	82
<b>ANEXO 5:</b> Supuestos de regresión lineal para el modelo 4 .....	85
<b>ANEXO 6:</b> Concentraciones halladas con los modelos predictivos .....	88
<b>ANEXO 7 :</b> Prueba de Mann Whitney para los datos de las inmersiones .....	89

## INTRODUCCIÓN

La Guadua es un bambú espinoso perteneciente a la familia Poaceae, a la sub-familia Bambusoideae y a la tribu Bambuseae, [1].

Preservar es la acción de proteger un elemento ante factores que puedan perjudicar y alterar su condición y características iniciales (Forma, calidad, color, resistencia, etc.), [2].

En Colombia la guadua es la especie forestal nativa con mayores posibilidades económicas, ya que su utilización en la construcción y la industria, permiten reducir costos cuando es empleada como materia prima, [3]. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas, por su durabilidad a pesar del ataque de insectos, mohos y hongos, por su belleza escénica y por lo más importante tal vez, la diversidad de aplicaciones no igualadas por ninguna especie forestal, representa una alternativa económica que ha coadyuvado a mitigar la problemática social en el campo, [4].

La preservación de culmos ha sido fundamental para reducir el ataque de insectos, mohos y hongos que puedan causar daños a éstos. Diferentes métodos como el corte en fase lunar, curado, secado, inmersión en sales, inyección de sales y Boucherie modificado, entre otros, son adaptados por el hombre con alta efectividad, [5]. Pero la inmersión salina es la más empleada para el tratamiento de tallos de guadua, debido a su economía, practicidad, simplicidad y alto grado de efectividad, [6].

En el presente trabajo se estudió el cambio de la concentración a través del tiempo de una solución a base de sales de boro empleada para preservar la *G. angustifolia*, con el fin de hacer un aporte al proceso de preservación que se realiza en la hacienda Yarima. Se implementó un método que permitió medir la concentración de la solución, tomando mediciones de pH, conductividad y temperatura.

Es de gran importancia este estudio debido a la problemática que afronta la hacienda Yarima, así como una amplia población que realiza comercialización de guadua preservada, sin contar con una técnica que permita realizar un monitoreo de la solución a través del tiempo, midiendo su concentración.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Planteamiento del problema

La hacienda Yarima se ha dedicado a la explotación agropecuaria desde hace 120 años, teniendo como una de sus actividades productivas la preservación de culmos de la *G. angustifolia* utilizando el método de inmersión con sales de boro, [7].

La solución preservante que se utiliza contiene dos químicos cuya actividad principal es fungicida para controlar la aparición de hongos que sirven de alimento a las larvas de los insectos xilófagos. Además, actúa en el culmo de la guadua modificando el pH de la misma, de manera que el insecto no encuentra el medio ideal para alimentarse. La ventaja de estas sales de boro radica en que tienen una acción residual perenne porque ellas una vez se introducen en las microcavidades de la guadua, se cristalizan y se fijan, alterando químicamente el contenido y el pH de las mismas, [2].

La solución utilizada por la hacienda Yarima se prepara al 5% m/V, para lo cual se mantiene una proporción 1:1 de ácido bórico y bórax, sin que se cuente con un método que permita conocer la concentración exacta, por lo que se vio la necesidad de validar e implementar una técnica potenciométrica tomando mediciones de pH, conductividad y temperatura, para realizar un estudio sobre el comportamiento de la solución a través del tiempo.

### 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la concentración real de la solución preservante obtenida a partir de mediciones potenciométricas y, cómo ésta se ve afectada a través del tiempo?

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. La guadua



**Figura 1:** *Guadua angustifolia* Kunth, tomada de [8].

El género guadua fue establecido en 1822, por el botánico alemán Karl Sigismund Kunth, quien utilizó el vocablo indígena “guadúa” empleado por los indígenas de Colombia y Ecuador. La especie *angustifolia* sobresale dentro del género por sus propiedades físico-mecánicas y por el tamaño de sus culmos que alcanzan hasta 30 metros de altura y 25 centímetros de diámetro. Ha sido seleccionada como una de las veinte especies de bambúes mejores del mundo por su capacidad para absorber energía y admitir una mayor flexión convirtiéndola en un material ideal para construcciones sismo resistentes, [1].

Se estima que en Colombia existe una área de 51,000 hectáreas cubiertas por *G. angustifolia*, de las cuales en el Eje Cafetero se encuentran 28,000 hectáreas, sin embargo, a pesar de sus múltiples usos y aplicaciones, a este recurso se le ha dado muy poco valor agregado y su injerencia en la economía nacional es mínima. Solamente desempeña un role más evidente en economías locales como el Eje Cafetero en Colombia, [1].

### 2.2. Clasificación taxonómica de la *G. angustifolia*

Reino: Vegetal

División: Spermatophyta

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Monocotiledoneae

Orden: Glumoflorales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Bambusoideae

Tribu: Bambuseae

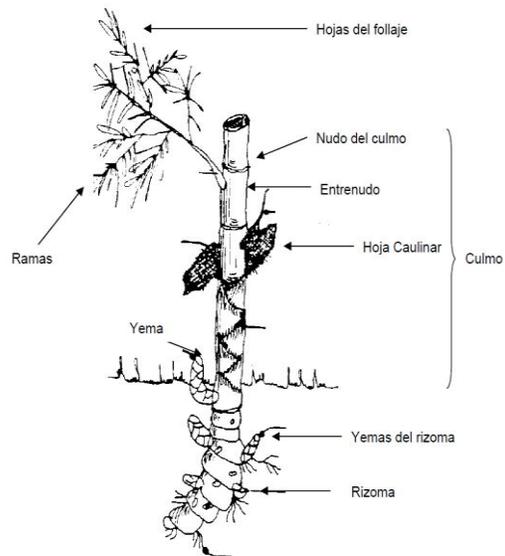
Subtribu: Guaduinae

Género: *Guadua*

Especie: *angustifolia*

Variedades: *bicolor* y *negra*

Forma: “macana”, “cebolla”, “cotuda” y “castilla”, [9].



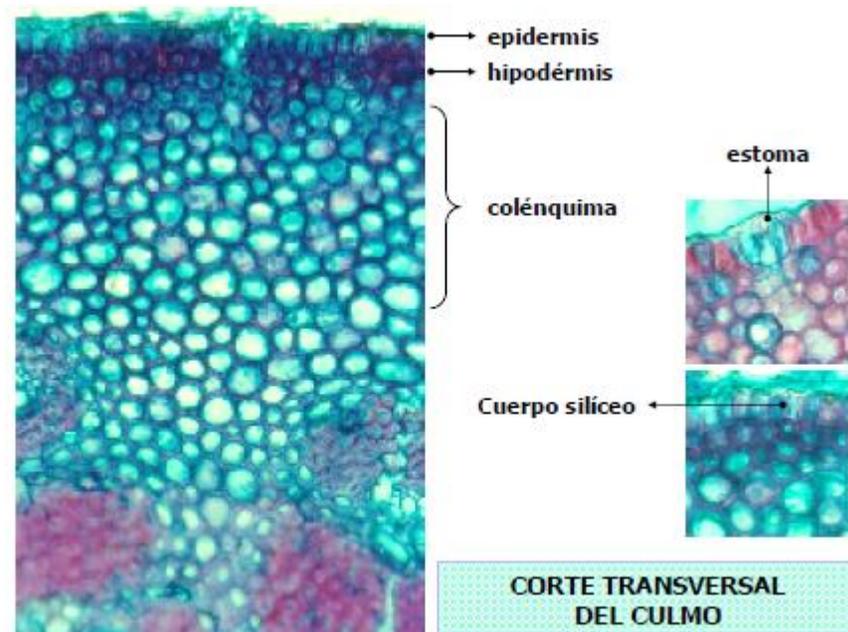
**Figura 2:** Estructura de la guadua, tomada de [10].

### 2.3. Tejidos y células que componen el culmo de *G. angustifolia*

**Corteza:** La corteza es la parte externa del culmo y sus funciones son prevenir la pérdida de agua y proteger el tejido. La corteza está compuesta por epidermis e hipodermis

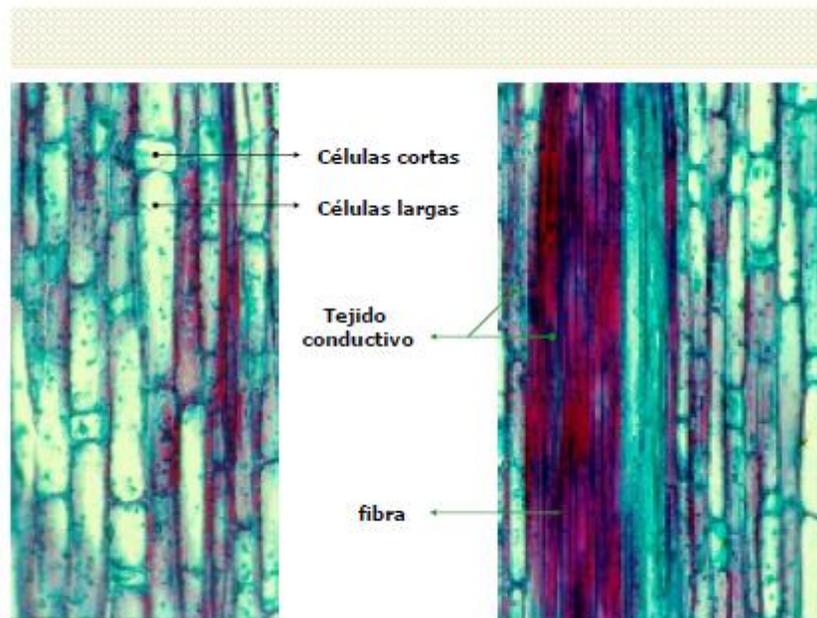
En la figura 3 se observa la epidermis de *G. angustifolia*, la cual está compuesta por células largas entremezcladas con células cortas y con estomas. Las células cortas, de corcho y de sílice, están agrupadas en pares entre las células largas. Las estomas, con sus células guardianes, tienen forma ovoide, siendo horizontalmente más largos que anchos (fig.3). La alta concentración de cuerpos silíceos en la epidermis del culmo de *G. angustifolia* contribuye a la dureza de su madera (fig.3), [11].

La hipodermis de *G. angustifolia* consiste de 2 a 3 capas de células esclerenquimatosas de pared gruesa. El parénquima cortical es homogéneo y está formado por 8 a 10 capas de células de paredes delgadas y gruesas. El tamaño de estas células se incrementa desde la periferia hacia la parte interna (fig.3), [11].



**Figura 3:** Corte transversal del culmo de la *guadua angustifolia* Kunth, tomada de [11].

**Parénquima:** En un corte longitudinal del culmo, se observa que el tejido de parénquima está compuesto por células largas y células cortas que se lignifican desde los estadios tempranos del crecimiento del renuevo. Las células largas generalmente tienen paredes más gruesas mientras que las células cortas son pequeñas, de forma cúbica y se caracterizan por tener citoplasmas más densos, paredes delgadas y no se lignifican con la edad. Las células del parénquima están conectadas unas con otras por simples orificios localizados en las paredes longitudinales. En la figura 4 se observan las células largas y cortas del parénquima, en un corte longitudinal del culmo de *G. angustifolia*.



**Figura 4:** Corte longitudinal del culmo de la *guadua angustifolia*, tomada de [11].

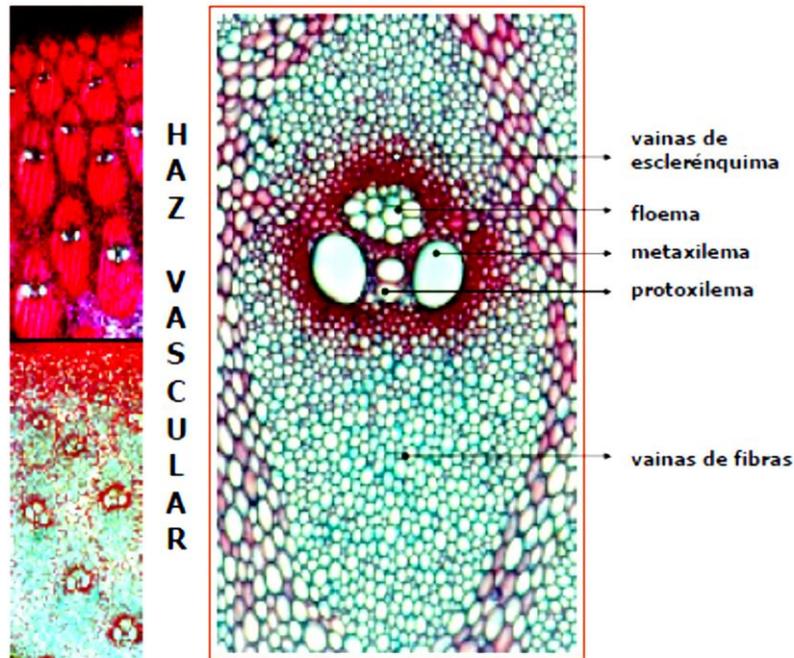
**Haz vascular:** Está compuesto por 2 grandes vasos de metaxilema, 1 o 2 elementos de protoxilema, por el floema y por las vainas de esclerénquima y de fibra (figura 5)

Es de tipo II. Hay mayor número de haces vasculares en la zona de periferia y transición ( $346-530 \text{ hv/cm}^2$ ) que en la zona central ( $81-194 \text{ hv/cm}^2$ ) e interna ( $52-96 \text{ hv/cm}^2$ ).

**Metaxilema:** tienen un diámetro que varía entre 0.02 mm y 0.22 mm. Aumentan de tamaño desde la periferia hacia la parte media e interna. Son más grandes en el segmento medio del culmo que en los segmentos basal y apical.

**Floema:** está compuesto por 14 a 25 tubos cribosos.

**Vainas de esclerénquima:** son 4 en total: 2 ubicadas a lado y lado de los vasos de metaxilema, otra alrededor del protoxilema y la última alrededor del floema, [9].



**Figura 5:** Haz vascular de *G. angustifolia*, tomada de [11].

**Fibras:** El porcentaje de fibra por haz vascular fluctúa entre 64.8% y 97.2%.

El porcentaje de fibra es mayor en los haces de la periferia y de la transición (90-97%) que en los haces de la zona media e interna (65-87%).

A lo largo del culmo el porcentaje de fibra es más alto en el segmento apical (56%) que en los segmentos basal (29%) y medio (26%), [12].

En *G. angustifolia*, las vainas de fibras del protoxilema, metaxilema y floema de la parte media e interna de la pared del culmo, no se tocan entre sí, mientras que en las zonas de periferia y transición se amalgaman entre sí encerrando el tejido conductivo [12].

Composición de tejidos

- Parénquima: 51%

- Fibras: 40%
- Haces vasculares: 9%

#### 2.4. Agentes biológicos que deterioran los bambúes

Al igual que las maderas, los bambúes son atacados por agentes biológicos que los destruyen o afectan su calidad y su resistencia. Estos agentes biológicos se pueden resumir en tres grupos:

- **Mohos y Hongos Cromógenos:** Son organismos que no afectan necesariamente la resistencia de la madera, puesto que se alimentan del contenido de las celdillas y no de las estructuras que la forman. Estos organismos, para atacar, requieren contenido de humedad superior a la saturación de la fibra, la cual oscila entre 27% y 32% de contenido de humedad, [6].

La presencia de los mohos es evidente por un crecimiento algodonoso en la superficie del área afectada. Su color varía desde el blanco hasta el negro.

Los hongos cromógenos penetran en las maderas impartándole diversas coloraciones y afectando la resistencia física, [6].

Para el desarrollo y crecimiento de hongos y mohos hay cuatro factores los cuales son: sustrato, humedad, oxígeno y temperaturas adecuadas, [13].

- **Hongos Xilófagos:** Estos organismos afectan las propiedades físicas y químicas de las paredes de las células, minando seriamente la resistencia de la madera y provocando pudriciones severas en las áreas infectadas.

En *G. angustifolia*, el grupo biológico de los hongos es causante de mayores deterioros, provocando pudrición, debilitamiento e inutilización de la guadua en periodos menores de 2 o 3 años. El ataque se presenta cuando los tallos están en contacto con el agua o cuando existen altas humedades y temperaturas mayores de 12 °C, [6].

- **Insectos:** En la guadua los insectos xilófagos son un problema importante, especialmente en tallos apeados y utilizados en la construcción.

Dependiendo de las condiciones climáticas, la guadua es uno de los elementos vegetales con gran resistencia a las termitas, siendo menor en áreas en donde hay mucha humedad y temperatura.

La resistencia natural de la guadua frente a las termitas no es igual a la que presenta frente a otros agentes biológicos. Si después del corte de los tallos, aún conservan mucha humedad, estos son atacados por coleópteros diminutos llamados comúnmente gorgojos o barrenadores de las maderas. Bajo estas condiciones, el ataque se inicia en los primeros meses de instalada la guadua, además de perder paulatinamente sus propiedades físicas en un lapso de 10 años, [6].

Las poblaciones de bambú en América son poco afectadas por plagas y enfermedades si se compara con otros cultivos como el de trigo, papa y soya. Sin embargo en el caso de la *G. angustifolia*, se han reportado dos plagas económicamente importantes que atacan la planta en su estado natural: el adulto del coleóptero *Pudichmus agemur* que perfora exclusivamente los renuevos, indispensables en la producción anual del guadua y la larva de una mariposa de la familia *Arctidae* o *Megallophidae* que defolia los rodales en un 80%-90% pero observándose una rápida recuperación, [14].

Bajo condiciones excesivas de humedad los hongos pueden atacar mortalmente al rizoma. En Colombia muy poco se conoce sobre las enfermedades causadas por hongos en las plantas vivas de *G. angustifolia* y específicamente sobre los hongos descomponedores que atacan los culmos mal cortados en un guadua. Otra fuente sería de daño en las poblaciones de bambú es el fuego. La quema de los cañaduzales en el Valle del Cauca es una causa real del deterioro de los guaduales en esta región del país, [14].

## **2.5. Tipos de tratamiento**

Los agentes biológicos como los mohos, hongos e insectos son organismos que en condiciones favorables para su desarrollo como temperatura, oxígeno, humedad y alimento, se desarrollan y causan deterioro notable a los bambúes perforando los culmos; los hongos afectan sobre todo el follaje; cuando atacan los culmos en su fase juvenil se observa una coloración especial. Bajo condiciones excesivas de humedad los hongos pueden atacar mortalmente al rizoma, [6].

Precisamente la preservación tiene por objeto modificar la constitución de los culmos dentro de sus haces; la solución se cristaliza y se almacena dentro de estos haciéndolos no apetecibles para los agentes biológicos y así evitando su desarrollo, [6].

Esto se lleva a cabo aplicando productos químicos conocidos como preservantes o utilizando métodos no químicos. Ambos métodos en esencia, buscan bajar el contenido de humedad y cambiar la posición bioquímica de los culmos que son los factores más importantes para el desarrollo progresivo de los agentes biológicos, [6].

### 2.5.1. Métodos no químicos

Estos métodos tradicionales han sido empleados en el campo por los campesinos quienes han desarrollado ampliamente su sabiduría empírica a través de múltiples experiencias en el recorrer de los años. Son métodos que requieren de poco esfuerzo y para los cuales no se necesitan compuestos ni implementaciones físicas o equipos especiales, [6].

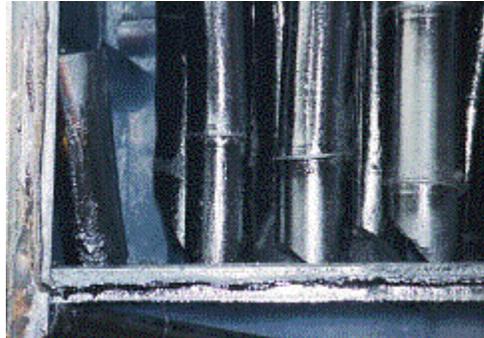
- **Corte en fase lunar:** Se realiza cuando la luna se encuentra en fase de menguante, por lo que si se corta la guadua con ausencia de luz, se obtendrá un material con bajos contenidos de humedad y azúcares. La fase lunar menguante son los únicos periodos que significarán obtener un material con más bajos contenidos de humedad. En la noche y la madrugada se obtiene la condición de oscuridad donde la guadua efectúa un proceso de reposo de su actividad fotosintética y se deshidrata, por consiguiente, la madrugada es la más adecuada para el corte porque los culmos de guadua se han deshidratado durante la noche, [2].
- **Curado:** se realiza posterior al corte de los culmos donde estos se dejan en el guadua verticalmente de 15 a 20 días para permitir que los azúcares que contiene la guadua se fermenten y así eviten el ataque de insectos al culmo. Posterior a esos días la guadua se arrastra hasta que cae al suelo, en el cual se cortan los trozos y se cortan las ramas para luego extraer los culmos del guadua. (Con la guadaña-sierra se cortan con las medidas requeridas, aproximadamente 400 unidades de 6 metros por día), [2].

Estos dos métodos son utilizados en la Hacienda Yarima por ser prácticas culturales pero no son muy confiables por lo que ellos lo respaldan con la parte técnica utilizando agentes químicos.

- **Curado al calor:** Se realiza colocando horizontalmente los tallos de guadua sobre brasas a una distancia apropiada para que las llamas no las quemem, girándolas constantemente. Es un proceso efectivo, pero de mucho cuidado con la distribución del calor, por lo que se pueden producir esfuerzos

diferenciales del interior al exterior, lo cual causa agrietamientos y fisuras en el tallo, además se puede quemar, [15].

- **Curado al humo:** Consiste en ahumar los tallos de guadua con la ayuda de una hoguera hasta que queden cubiertas exteriormente de hollín (Figura 6), [15].



**Figura 6:** Curado al humo, tomada de [16].

- **Secado:** Éste no es considerado como tal un método de preservación pero es muy importante para prevenir el ataque de hongos e insectos, mejorar las condiciones de aplicabilidad de los preservantes, reducir el peso de las piezas y hacerlas más fáciles en su manipulación. Es necesario reducir el contenido de humedad de los tallos, hasta alcanzar el 10% o el 15%, [17].

### 2.5.2. Métodos químicos

Los métodos químicos son generalmente más efectivos que los procesos no químicos, pero ellos no son siempre económicos y aplicables en la protección del bambú.

Para su utilización se necesitan equipos, infraestructuras adecuadas, empleo de mano de obra especializada y en lo posible preservadores químicos no tóxicos para los seres humanos y animales, [6].

- Tratamiento por inmersión

Esta técnica es considerada el método ideal a la preservación natural de la guadua. Consiste en el empleo de productos químicos (pesticidas y fungicidas) que se encuentran en el mercado y que tienen características específicas para las condiciones de textura y estructura de la guadua. En general, estos productos

deben ser muy activos, no deben afectar los tejidos, deben ser solubles en agua y no deben modificar las características externas de la guadua, [9].

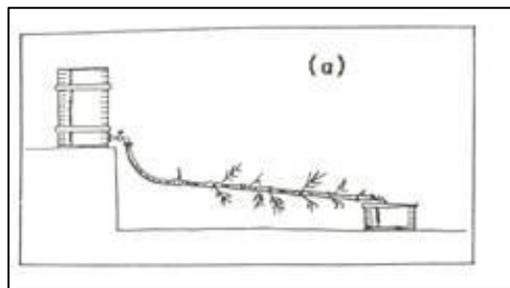
El método de inmersión con solución de ácido bórico y bórax consiste en introducir la guadua, previamente agujerada por los nudos de la guadua con una varilla puntiaguda de 12.7 mm, [18], en un tanque que contiene la solución de ácido bórico y bórax al 5% como se muestra en la figura 7.



**Figura 7:** Tratamiento por inmersión de sales, tomada de [16].

- Método de Boucherie

El método consiste en introducir un extremo del tallo del bambú (fig. 8), sin ramas ni hojas, en el extremo de un tubo de caucho o de una sección de neumático. Luego el tubo o neumático se llena con la solución de preservativo y se cierra por su extremo superior, [6].



**Figura 8:** Método de Boucherie, tomada de [19].

- Método de Boucherie modificado

Con ayuda de un compresor se inyecta al tallo el preservante, a través de una manguera neumática, para que la savia de la planta se desplace hacia afuera como se puede apreciar en la figura 9. El preservante se introduce por uno de los extremos de la troza, mediante la presión ejercida por una bomba centrífuga que se conecta a un recipiente con el líquido preservante; éste es bombeado a un tanque neumático y luego distribuido en mangueras plásticas flexibles a múltiples salidas con boca de hule, que conectan a uno de los extremos del tallo, [9].

El método Boucherie modificado es el más rápido y efectivo de los indicados y permite tratar varios bambúes al tiempo, [20].



**Figura 9:** Método de Boucherie modificado, tomada de [16].

- Tratamiento por inyección

Consiste en inyectar con bombas manuales la solución preservante de ácido bórico y bórax respectivamente en agua a las trozas de guadua a través de una perforación que se hace a cada canuto a 3 cm de distancia del nudo, [2].

- Preservación con empleo de vacío y presión

Se utiliza a escala industrial. Con este método pueden regularse la penetración y la absorción del preservante, lo que hace que el tratamiento sea más seguro y durable, [5].

- Método de Difusión Vertical

Este método consiste en colocar las Guaduas en forma vertical, romper todos sus canutos de arriba hacia abajo con una varilla puntiaguda de 12.7 mm, o con broca soldada a la punta de una varilla y utilizar taladro. Se debe tener cuidado de no romper el último canuto para que la guadua quede cumpliendo la función de vaso

o recipiente tubular, luego cada día adicionar la cantidad necesaria para siempre tener llena la guadua. Este procedimiento se hace durante 14 días. Se emplea una solución de pentaborato (ácido bórico y bórax) del 4% al 6%, en partes iguales; 3 y 3 respectivamente. Este método exige un buen manejo en el guadua, la guadua no se debe rayar ni desgarrar las ramas, porque por allí puede salir el preservante, [21].

- Hervido

El tratamiento de hervir las Guaduas con una temperatura de 94° a 100°C durante 30 min, en una solución de soda cáustica (NaOH) al 1%, es un método que se considera bueno, pero la acción de la soda cáustica puede atacar superficialmente las células parénquimas cuando se deja demasiado tiempo, dejando solo las fibras y una superficie irregular. También se puede emplear carbonato de sodio durante aproximadamente 60 min, [22].

- Lavado con cal

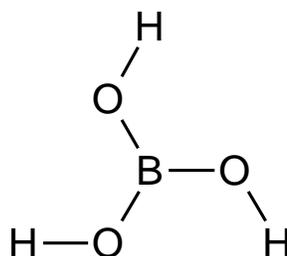
Se adiciona una cantidad del 30% de  $\text{Ca(OH)}_2$ ; esta solución puede ser aplicada con brocha o por inmersión, luego en el proceso de secado, la cal se transforma en carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  por absorción, [22].

## 2.6. Preservantes

Para el tratamiento de la guadua, según el medio de disolución de los preservantes se diferencian dos grupos:

- Preservantes oleosolubles, tales como: creosota alquitranada, creosota alquitranada libre de cristales, aceite de antraceno, creosota obtenida por la destilación de la madera, aceite y vapor de agua, soluciones de creosota, nafteno de cobre, [23].
- Preservantes hidrosolubles: son sales disueltas en agua y que entre sus ingredientes activos están: cloruro de zinc, bicromato de sodio, cloruro de cobre, cromato de zinc clorado, ácido bórico, bórax, sulfato de amonio, Fluoruro de sodio, sulfato de cobre, [23].

## 2.7. Ácido Bórico



**Figura 10:** Estructura química del ácido bórico.

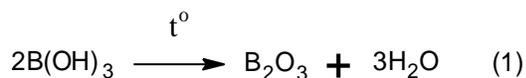
### 2.7.1. Estructura atómica

El ácido bórico es un compuesto de fórmula  $H_3BO_3$  y tiene una estructura en capas muy significativa e interesante. El átomo de boro tiene solo tres electrones de valencia y puede formar tres enlaces covalentes coplanares con una geometría de triángulo equilátero, utilizando sus orbitales híbridos  $sp^2$ . De esta manera, se une tres grupos  $-OH$  para formar la molécula de ácido bórico. En estado sólido, las moléculas vecinas, mediante enlaces de hidrógeno  $>B-O-H \cdots O(H)-B<$  forman capas de simetría hexagonal (pseudo-hexagonal), [24].

### 2.7.2. Propiedades físicas y químicas del ácido bórico

Polvo o gránulos blancos o cristales, inodoros y amargos. Su punto de fusión, al cual se descompone, es igual a  $170.9^\circ C$ , produciendo agua y anhídrido bórico irritante. Su densidad relativa es igual a 1.435 a  $15^\circ C$ . Su solubilidad en agua es igual a  $5 \times 10^4$  mg/L a  $25^\circ C$ . Es soluble en glicerol, etilenglicol, metanol, etanol, acetona y acetato de etilo. Se descompone al calentarse por encima de los  $100^\circ C$ . Su solución en agua es un ácido débil. Su pH en una solución 0.1M es igual a 5.1. Es incompatible con carbonatos básicos e hidróxidos, [25].

El ácido bórico se descompone como se muestra en la ecuación (1), [24].



### 2.7.3. El ácido bórico como preservante y plaguicida

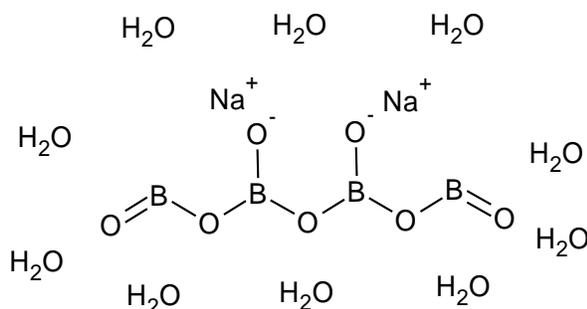
El ácido bórico y los boratos son muy efectivos en el control y exterminación de insectos y hongos. Aunque no son perjudiciales a mamíferos, son tóxicos contra

cucarachas, hormigas, escarabajos, larvas y otros insectos, teniendo como resultado la manipulación en toda ubicación y ambiente, [26].

## 2.8. Tetraborato de sodio (Bórax)

El bórax y demás compuestos de boro son ingredientes activos de numerosos preservantes. Son efectivos como ignífugos y contra hongos e insectos, al mismo tiempo son de uso seguro aplicados de acuerdo a buenas prácticas industriales y no constituyen un problema ambiental por su baja eco-toxicidad, [27].

Existen muchas similitudes entre el bórax y el ácido bórico tales como el aspecto, los usos y la toxicidad e incluso algunas propiedades físicas, [28].



**Figura 11:** Estructura química del tetraborato de sodio (Bórax)

### 2.8.1. Propiedades físicas y químicas del Tetraborato de sodio (bórax)

El bórax se suministra como inodoro, incoloro, cristales transparentes o gránulos blancos o polvo [g]. Tiene un punto de ebullición: 320°C. Su punto de fusión es 75°C. Densidad relativa (agua = 1): 1.7 y la solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 5.1, [29].

El bórax se prepara generalmente por el ácido bórico en ebullición con carbonato de sódico, [30], como se muestra en la siguiente reacción (2).



## 2.9. Potenciometría

Los métodos potenciométricos de análisis se basan en la medida del potencial o fuerza electromotriz de celdas electroquímicas sin paso de corriente apreciable.

Durante casi un siglo, la potenciometría se ha usado en la identificación de puntos finales de valoraciones. En los métodos más recientes, las concentraciones iónicas se miden directamente a partir del potencial de electrodos de membrana selectivos de iones. Estos electrodos están relativamente libres de interferencias y constituyen una forma, apropiada y no destructiva de determinación cuantitativa de numerosos aniones y cationes de importancia, [31].

La fuerza electromotriz de una celda puede utilizarse directamente, pero es más importante calcular, a partir de él, el potencial de una semicelda. Esto puede hacerse acoplado la semicelda problema con una de referencia (estándar) para formar, así una celda completa. Cuando se mide la fuerza electromotriz total de las dos semiceldas, la diferencia entre este valor y el del semielemento de referencia es el potencial de la otra semicelda. Así, pues, potencial de la celda total (observado) = potencial de la semicelda referencia + potencial de la semicelda como se observa en la siguiente ecuación (1).

$$E_{total} = E_{Referencia} + E_{Problema} \quad (1).$$

Las semiceldas estándar más comunes son la de hidrógeno y el electrodo de calomelanos. El semielemento de hidrógeno no es de difícil manejo, pero el de referencia de calomel es sólido y reproducible, por lo que es muy adecuado para este fin, [32].

La relación entre concentración iónica y potencial del semielemento constituye la **ecuación de Nernst (2)**, que tiene la forma, [33].

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln(\text{concentracion ionica molar}) \quad (2)$$

E= Potencial de la semicelda

E°= Potencial de la semicelda en condiciones estándar

R= Constante (8,314 J/grado)

T= Temperatura absoluta

N= Número de electrones puestos en juego en la reacción

F= Faraday

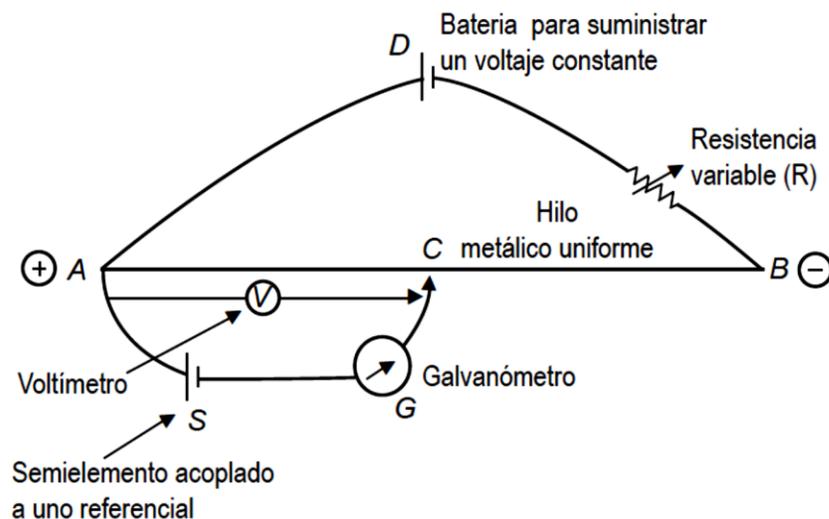
Ln= logaritmo en base e

C= Coulomb

### 2.9.1. Instrumentos para la medida de potencial

Los dispositivos para medir el potencial deben asegurar principalmente que no extraiga de la celda ninguna cantidad significativa de corriente. El voltaje se mide convenientemente con cualquiera de las dos alternativas de instrumento:

- El potenciómetro, un instrumento que utiliza un voltaje igual y opuesto para compensar el voltaje de la celda, en la figura 12 se muestra el esquema de un potenciómetro.
- El seguidor de voltaje, se ha convertido en el dispositivo de mayor uso y el potenciómetro se utiliza ocasionalmente en las mediciones de alta presión [32].



**Figura 12:** Esquema de un potenciómetro, tomada de [32].

### 2.9.2. Medición del pH

El instrumento de medición de pH tiene por objeto transformar el potencial del electrodo en una indicación correspondiente al pH de la solución a medir. Para este fin es necesario adaptar el instrumento de medición a la curva característica del respectivo electrodo de medición de pH utilizado, [32].

El instrumental necesario para las medidas potenciométricas comprende un electrodo de referencia, un electrodo indicador y un dispositivo de medida de potencial, [32].

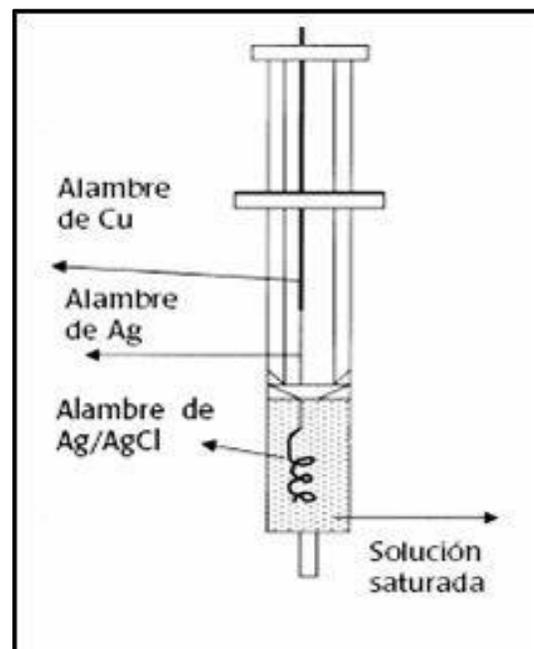
### 2.9.2.1. Electrodo de referencia

El electrodo de referencia ideal tiene un potencial que se conoce con exactitud y es constante y totalmente insensible a la composición de la disolución del analito, [31].

Un electrodo de referencia debe ser fácil de montar, proporcionar potenciales reproducibles y tener un potencial sin cambios. Dos electrodos comúnmente utilizados que satisfacen estos requisitos son el electrodo de calomel (fig. 13) y el electrodo de plata-cloruro de plata (fig. 14), [34].



**Figura 13:** Electrodo de Calomel, tomada de [33].



**Figura 14:** Electrodo de Ag/AgCl tomada de [33].

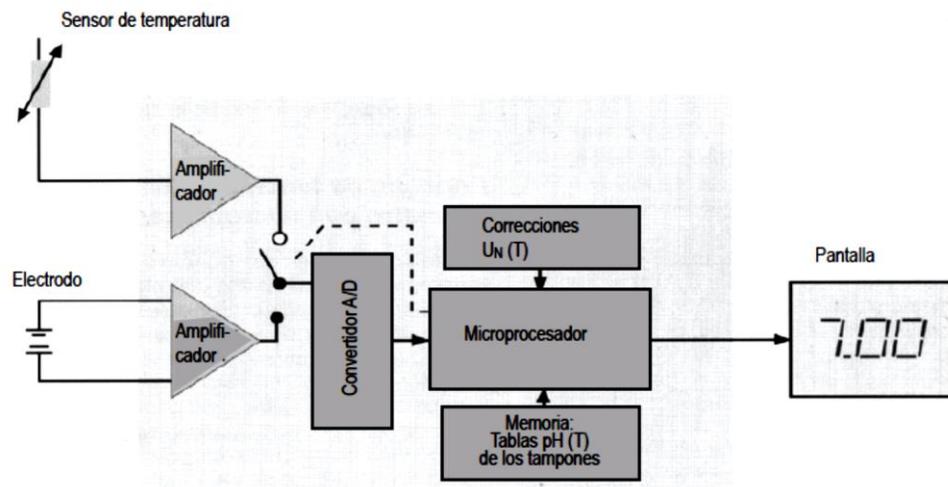
**Tabla 1:** Electrodo para la medición de pH

<b>Electrodos</b>			
<b>Indicadores</b>	<b>Indicadores metálicos</b>	<b>De membrana</b>	<b>De vidrio</b>
Un electrodo indicador ideal responde de manera rápida y reproducible a los cambios de concentración de un ion analito (o un grupo de iones analitos), [31].	Se dividen en: Electrodo de primera especie es un electrodo metálico puro que está en equilibrio directo con su catión en la disolución, [31]. Los electrodos de segunda especie, responden a las actividades de aniones que forman precipitados poco solubles o complejos estables con esos cationes, [31] Electrodo metálicos para sistemas inertes, existen varios conductores inertes que responden a los sistemas redox, [31].	Consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de ion hidrógeno, [33].	El electrodo de vidrio utiliza la dependencia del potencial de la membrana de vidrio de la actividad de los iones de hidrógeno. En uno de los extremos de un tubo de vidrio hay fundida una membrana esférica de vidrio como sensor del pH. Esta esfera se encuentra rellena con una solución tampón con un pH conocido. En esta solución tampón, que además contiene un electrólito (por lo general KCl), está sumergido un electrodo referencia, [32].

### **2.9.3. Principio de funcionamiento del pH-metro con microprocesador**

Los equipos modernos con microprocesadores están contruidos con electrónica digital. A un amplificador de entrada de alto ohmiaje le sigue un transformador A/D que convierte el potencial analógico en valores digitales. Este potencial de medición digitalizado es procesado por el microprocesador con los valores de calibración y compensación de temperatura, igualmente digitalizados. El resultado es trasladado entonces al display como se puede observar en la figura 15, [32].

El microcomputador trabaja matemáticamente dentro de éste están almacenados los valores del pH de los tampones de calibración más comunes incluyendo su dependencia de la temperatura. El microprocesador calcula a partir de los potenciales del electrodo de medición, en los diferentes tampones de calibración, el curso de la curva característica real y la compara matemáticamente con la trayectoria de la curva ideal, la cual está almacenada en la forma de los valores de los tampones. De igual manera procede el microprocesador con la compensación de la temperatura: éste calcula simplemente la dependencia de la temperatura del factor de Nernst. El microprocesador hace que la calibración y la medición sean más rápidas, cómodas y seguras, [32].



**Figura 15:** Diagrama del principio de funcionamiento de un pH- metro con microprocesador, tomada de [32].

#### 2.9.4. Definición operacional de pH

La utilidad del pH como una medida de la acidez o alcalinidad de los medios acuosos, la amplia disponibilidad comercial de electrodos de vidrio, y la proliferación relativamente reciente de pH-metros de estado sólido económicos, ha hecho de las medidas potenciométricas del pH una de las técnicas analíticas más usuales en toda la ciencia. Es por tanto extremadamente importante que el pH se defina de una manera que sea fácilmente reproducible en diversos momentos y por varios laboratorios en todo el mundo, [34].

### 2.10. Conductimetría

#### 2.10.1. Conductividad

En ausencia de un campo eléctrico los iones de una disolución se encuentran en un constante movimiento al azar. Este movimiento es debido a la acción de fuerzas térmicas y de convección. Cuando los iones son sometidos a la acción de un campo eléctrico (por la aplicación de una diferencia de potencial) se mueven, en un sentido u otro, de acuerdo con su carga, fenómeno que se conoce como migración iónica. En estas condiciones, se puede considerar a la disolución como un conductor electrónico homogéneo que sigue la Ley de Ohm ( $V = IR$ ), [34].

La conductividad de una disolución es una medida de su facilidad para transportar corriente, los electrones son transportados por los iones. Los positivos, como el  $M^+$  migran a través de la disolución, hacia el cátodo, los aniones  $A^-$  se dirigen hacia el ánodo dando como resultado un flujo de electrones, es decir, la disolución conduce la electricidad, [32].

La conductividad de la disolución depende de dos factores: primero, el número de electrones que cada ion puede desplazar (así  $A^{2-}$  transporta doble número de electrones que  $A^-$ ), segundo la velocidad del ion a través de la disolución.

A su vez la movilidad de un ion depende: primero, del disolvente en el cual se encuentre, por ejemplo, agua o un solvente orgánico. Segundo, del voltaje aplicado. Tercero, del tamaño del ion, (el más grande es menos veloz). Cuarto, la naturaleza del ion (si esta hidratado el tamaño efectivo aumenta). Quinto, viscosidad y temperatura del disolvente. En condiciones estándar, la movilidad es una propiedad física característica del ion. A dilución infinita, es el factor principal en la conductividad equivalente. A concentraciones más elevadas, los iones pueden formar moléculas no ionizadas y la conductividad disminuye, [32].

### 2.10.2. Medición de la conductividad

Una forma de conocer la capacidad de conducción de una disolución electrolítica es midiendo su resistencia y hallando su valor inverso ya que la conductividad es lo inverso a la resistencia. Pues mientras la primera denota la facilidad para conducir la corriente eléctrica y se simboliza por la letra mayúscula  $L$ , la segunda manifiesta la oposición al paso de la electricidad y se caracteriza con la letra mayúscula  $R$ . La unidad de resistencia en el sistema internacional es el Ohm (Ohmio), representado por la letra griega mayúscula  $\Omega$  (omega), igual a una resistencia que deja pasar una corriente de un amperio cuando hay una diferencia de potencial de un voltio a través de ella:  $1\Omega = 1V A^{-1}$ , la unidad de conductividad es el inverso de la unidad de resistencia el *mho* o simplemente el *ohm* a la menos uno ( $\Omega^{-1}$ ), [34].

### 2.10.3. La conductividad y su medición depende de factores

- a. Del área de los electrodos.
- b. De la forma geométrica de los electrodos.
- c. De la distancia de los electrodos.
- d. Del material de los electrodos.
- e. De la disposición de los electrodos entre sí en la disolución.
- f. Del tipo de especies iónicas en la disolución. (ion, tamaño y carga del ion)
- g. De la concentración de las especies iónicas.
- h. Del solvente.
- i. De la viscosidad de la solución.
- j. De la temperatura de la solución.
- k. Del voltaje aplicado

Como puede verse en esta lista, la medida de la resistencia no depende solamente de las propiedades de la disolución, sino también de la geometría de los instrumentos, esto es, de los puntos a, b, c y d en la lista, [32].

### 2.10.4. Conductividad y concentración iónica

La conductividad de las disoluciones depende de los tipos de iones presentes y de sus concentraciones. Todos los iones presentes en la disolución participan en el proceso de conducción. Para clasificar estas contribuciones, sirve de ayuda tener en cuenta la conductividad por cada ion equivalente (por cada carga iónica), y se denominan *conductividades equivalentes*, designadas por la letra griega  $\Lambda$ , [32].

La conductividad es directamente proporcional y lineal con la concentración. Sin embargo, la conductancia molar de las soluciones reales varía con la concentración del electrolito debido a que existen interacciones entre iones. El comportamiento general es el mismo para todos los electrolitos. Existe un aumento inicial de la conductividad a medida que aumenta la concentración hasta un valor máximo, lo cual se explica por existir un mayor número de iones

dispuestos para la conducción. A partir de un determinado valor de concentración (valor que es generalmente alto), la conductividad comienza a disminuir debido a que las interacciones asociativas entre los iones dificultan la conducción de la corriente, [34].

#### **2.10.5. Efecto de la temperatura.**

La conductividad de una disolución es altamente dependiente de la temperatura. Ésta tiene un doble efecto sobre los electrolitos, influye en su disolución y en la movilidad iónica.

La conductividad de una disolución aumenta con la temperatura. Este aumento normalmente se expresa en  $\%/^{\circ}\text{C}$ , y se denomina Coeficiente de Temperatura (CT), [34].

Los coeficientes de temperatura son siempre positivos. Esto es porque la velocidad de los iones aumenta con la temperatura, incrementando su movilidad. Al mismo tiempo, la viscosidad de la solución disminuye, resultando en menor resistencia a su movimiento, con lo que también se aumenta la movilidad, [34].

Para una solución salina iónica común el valor del coeficiente de temperatura es aproximadamente  $2\% \text{ }^{\circ}\text{C}$ , [33].

#### **2.10.6. Instrumentos para medir conductividad.**

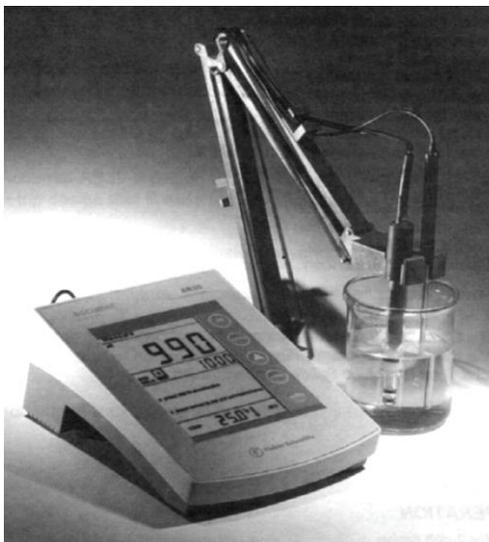
Para medir la conductividad absoluta o la conductividad específica, se requiere de un instrumento denominado conductímetro, de los cuales existen análogos y digitales, para sobre poner en mesa, portátiles y diseños especiales para medir la conductividad en titulaciones, procesos industriales y actuar como detectores en cromatografía de intercambio iónico. Según su utilización presentan diferentes configuraciones, [32].

Generalmente están constituidos por: una fuente de energía, un recipiente (celda, cuba o cubeta) y electrodos los cuales deben ser preferiblemente de platino recubiertos con negro de platino o platinizados para aumentar su superficie efectiva de contacto, [32].

#### **2.10.7. Conductímetro AB 30**

##### **2.10.7.1. Características técnicas**

- Óptimo para mediciones de conductividad, resistividad y sólidos totales disueltos (TDS).
- Fácil estandarización con dos teclas táctiles.
- Replatinizado de los electrodos de celda de conductividad.
- Compensación automática de temperatura (ATC).
- Chequeo automático de la celda de conductividad mediante un mensaje en la parte baja de
- la pantalla de buen electrodo o error de electrodo.
- Soporte para celda.
- Fuente de alimentación de corriente continua (CC).
- Completamente automático en la selección rápida de las condiciones para una operación
- intuitiva.
- Se puede operar con constantes de celdas de 0.1, en el rango de valores de 0.5 a 200.0  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , 1.0 en el rango de valores de 0.01 a 2.0  $\text{mS cm}^{-1}$  y 10.0  $\text{cm}^{-1}$ , en el rango de valores de 1 a 200  $\text{mS cm}^{-1}$ , [32].



**Figura 16:** Conductímetro Fisher Scientific accument AB 30, tomada de [32].

### 3. JUSTIFICACIÓN

La guadua es un producto forestal cuyo uso en la construcción del paisaje campesino colombiano ha sido tradicional durante muchos años. Sin embargo, sólo desde hace poco tiempo su importancia económica y social está siendo valorada. En la zona cafetera y en general en la región Andina colombiana, la guadua es un producto significativo en la construcción de viviendas, puentes, canaletas, acueductos y en la elaboración de artesanías, utensilios de cocina e instrumentos musicales, [1]. Por consiguiente la preservación, es uno de los eslabones críticos dentro del proceso de transformación y adición de valor a los productos obtenidos a partir de los culmos de guadua adulta cosechada. En general, los mercados de la guadua exigen adecuados métodos de preservación y secado que garanticen la permanencia del producto por largos periodos de tiempo, [18].

El método de preservación con sales de boro es uno de los más utilizados por los agricultores del eje cafetero, ya que se ha podido comprobar en estudios anteriores que el material preservado, a pesar de que puede presentar intentos de ataques por xilófagos, éstos no prosperan porque la acción del preservante es paulatina en el tiempo y el insecto muere.

Es bastante lo que se puede encontrar en la literatura acerca de preservación de bambúes enfocado directamente hacia el material preservado, pero es poco lo que se menciona sobre la correcta disposición y manejo del material preservante.

En la hacienda Yarima no se controla con precisión la concentración de la solución preservante y no se lleva un registro de ningún parámetro que permita evaluar la composición, sino que se toma el pH con un analizador para piscinas, el cual se ha establecido en 7 como punto de referencia. Esto generó interés en realizar estudios para validar e implementar una técnica potenciométrica que permita monitorear la solución, conociendo su concentración.

El material preservado, el tiempo y las condiciones ambientales a las que se expone la solución, inciden directamente sobre las características de la misma, por lo tanto es importante el estudio del comportamiento de la concentración de esta solución teniendo en cuenta los factores ya mencionados.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

Determinar el estado de eficacia de la solución preservante a base de bórax y ácido bórico para los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae) a través del tiempo.

### 4.2. Objetivos específicos

- Medir el pH y la conductividad a diferentes concentraciones y proporciones de ácido bórico y bórax en solución preservante de culmos de *G. angustifolia*
- Evaluar por métodos potenciométricos la eficacia de la solución preservante de la *G. angustifolia*.
- Establecer un modelo de ajuste para la eficacia de la solución preservante para los culmos de *G. angustifolia*

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Materiales.

Para la validación de la técnica potenciométrica, se utilizó material de vidrio suministrado por la escuela de química, tales como beakers, varillas, vidrios de reloj y matraces aforados. También se hizo uso de estufas para calentar la solución.

En el experimento de bloques aleatorizados, se dispuso de nueve canecas marca Fuller que tienen una capacidad de 75 litros cada una como se muestra en la figura 17. Éstas fueron suministradas por la Facultad de Ciencias Ambientales. Asimismo, material de vidrio como los descritos anteriormente y estufas eléctricas.



**Figura 17:** Canecas marca Fuller, propia.

### 5.2. Equipos.

Los equipos requeridos en este estudio fueron: un pH-metro Fisher Scientific accument AB 15, un conductímetro Fisher Scientific accument AB 30, balanzas analíticas marca Ohaus, una balanza triple brazo marca Accuweigh y un fotómetro Unicam UV 500 de marca Thermo Spectronic.

### 5.3. Métodos.

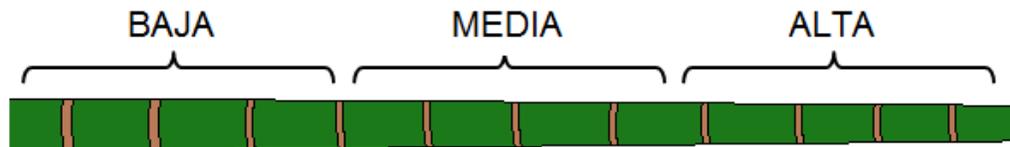
El método de preservación que se aplicó fue por inmersión en sales de boro al igual que en la hacienda Yarima.

Para la validación de la técnica, se recolectaron los datos por medio de métodos electroanalíticos los cuales son conductividad y pH, para su análisis se hicieron curvas de calibración obtenidas a partir de serie de patrones.

Para complementar este estudio, se envió al Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliarés cuatro soluciones diferentes con el objetivo de analizar el contenido del boro total las cuales son: una muestra de la solución preservante preparada en la hacienda Yarima y tres soluciones que se prepararon al 10% m/V para el experimento de las inmersiones, estas soluciones se dividen en: una inicial (sin hacer inmersiones), intermedia (4ta inmersión) y una final (8va inmersión). Se utilizó el método espectrofotométrico de la azometina-H.

#### 5.4. Muestras.

Las muestras de guadua fueron suministradas por la hacienda Yarima. Se solicitó 6 guaduas que posteriormente se dividieron en trozos de 12 cm definidos por sección alta, media y baja (fig. 18), 72 de cada una debidamente rotulados (fig. 19).



**Figura 18:** Secciones de un culmo, propia



**Figura 19:** Muestras de guadua, propia

También se recolectó muestras de la solución presente en el tanque de inmersión de la hacienda Yarima para medir el pH, conductividad y temperatura, determinando así las condiciones de estado de este residuo.

## 5.5. Diseño experimental

Se empleó el software SPSS<sup>®</sup> versión 19 y Excel Microsoft<sup>®</sup> Office 2010, para analizar los resultados de los experimentos descritos a continuación.

### 5.5.1. Validación de la técnica potenciométrica

#### 5.5.1.1. Modelos predictivos.

Se preparó soluciones de concentraciones 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10% y 11% en porcentajes m/V, mezclando ácido bórico y bórax en relación 1:1 para cada solución. A cada una se le midió el pH, la conductividad y la temperatura seis veces, en un número de cuatro réplicas.

**Tabla 2:** Preparación de las soluciones

Concentración (% m/V)	Ácido Bórico (g)	Bórax (g)
3	1,5	1,5
4	2,0	2,0
5	2,5	2,5
6	3,0	3,0
7	3,5	3,5
8	4,0	4,0
9	4,5	4,5
10	5,0	5,0
11	5,5	5,5

Se estudiaron los siguientes parámetros estadísticos con los softwares mencionados anteriormente.

- **Precisión:** Indica la reproducibilidad de las medidas; cercanía entre los resultados obtenidos exactamente de la misma manera. La precisión indica la medida del error aleatorio, o indeterminado, de un análisis. Los parámetros de calidad de la precisión son la desviación estándar

absoluta (s), la desviación estándar relativa (1), la desviación estándar de la media (2), coeficiente de la variación (3) y varianza ( $s^2$ ), [31].

$$RSD = \frac{s}{\bar{x}} \quad (1). \quad s_m = \frac{s}{\sqrt{N}} \quad (2). \quad CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% \quad (3).$$

- **Exactitud:** Indica la cercanía al valor aceptado o valor verdadero y se expresa mediante el error. Con frecuencia es más difícil determinar la exactitud, ya que por lo general se desconoce el valor verdadero. En su lugar, se debe usar un valor aceptado. La exactitud se expresa en términos del error relativo (1), [31].

$$\%E_r = \frac{x_i - \bar{x}}{x_i} * 100\% \quad (4).$$

- **Repetibilidad:** Precisión obtenida bajo las mismas condiciones de operación en un intervalo corto de tiempo (mismo día), por un mismo analista, en la misma muestra homogénea y en el mismo equipo. La repetibilidad se expresa matemáticamente por el coeficiente de variación (desviación estándar relativa) de una serie de medidas, [36].
- **Reproducibilidad:** la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian, [37].
- **Límite de detección:** es la mínima concentración o la mínima masa de analito que se puede detectar para un nivel de confianza dado. Este límite depende de la relación entre la magnitud de la señal analítica y el valor de las fluctuaciones estadísticas de la señal del blanco. El límite de detección se expresa habitualmente en forma de concentración de analito (5), [31].

$$LD = \bar{x}_{bl} + 3S_{bl} \quad (5).$$

Donde,

$\bar{x}_{bl}$  = señal media del blanco

$s_{bl}$  = desviación estándar de las señales del blanco.

- **Límite de cuantificación:** Cantidad más pequeña del analito en una muestra que puede ser cuantitativamente determinada con exactitud aceptable. Se expresa como concentración del analito, [31].

$$LC = \bar{x}_{bl} + 10S_{bl}$$

- **Sensibilidad:** en general se acepta que la sensibilidad de un instrumento o de un método es una medida de su capacidad de diferenciar pequeñas variaciones en la concentración del analito. Dos factores limitan a la sensibilidad: la pendiente de la curva de calibrado y la reproducibilidad o precisión del sistema de medida, [31].
- **Linealidad:** Habilidad (dentro de un ámbito dado) del procedimiento analítico de obtener resultados de prueba que sean directamente proporcionales a la concentración de analito en la muestra, [36]. La linealidad se refiere a la relación entre la concentración y la medida de valoración. El objetivo es obtener un modelo que describa con precisión la relación de la concentración versus respuesta, ya sea lineal o no, [37].

### 5.5.2. Cambio en la conductividad con respecto a la proporción

Se preparó soluciones al 5% (m/V) en diferentes proporciones de ácido bórico y bórax (1:1, 4:1, 3:2, 1:4 y 2:3) de cada una se tomaron mediciones de pH y conductividad.

**Tabla 3:** preparación de las soluciones de concentración 5% m/V

Relación	Ácido bórico (g)	Bórax (g)
1:1	2,5	2,5
4:1	4,0	1,0
3:2	3,0	2,0
1:4	1,0	4,0
2:3	2,0	3,0

### 5.5.3. Cambio en la conductividad con respecto a la concentración y proporción

Experimento diseñando con el fin de observar el comportamiento en la conductividad y el pH al variar tanto la concentración como la proporción. Se

preparó soluciones al 3%, 5% y 7% m/V a proporciones 1:4, 1:1, 4:1 de bórax y ácido bórico, para cada concentración. A estas soluciones se les midió el pH y la conductividad con sus respectivas temperaturas.

#### 5.5.4. Efecto del tiempo en la solución

Se dispuso las canecas con 25 L de solución preservante al 10% m/V en proporción 1:1 de ácido bórico y bórax. El experimento se realizó mediante tres bloques definidos por secciones del culmo (alta, media y baja). Se efectuó en las instalaciones del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira.

El tiempo de permanencia fue de 2 meses. Durante este periodo cada cinco días se cambió los trozos de culmo (tiempo que se deja la guadua en inmersión en la hacienda Yarima) y se tomaron mediciones de conductividad y pH.

**Tabla 4:** Posición de las canecas por sección.

Sección	Réplicas		
	1	2	3
Alta	C1	C4	C7
Media	C2	C5	C8
Baja	C3	C6	C9

\*C: Canecas

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Haciendo uso de los programas informáticos SPSS® versión 19 y Excel Microsoft Office 2010, se procedió a analizar los datos recolectados por medio de regresiones lineales y análisis no paramétricos en los casos en que no se cuenta con normalidad de datos ni homogeneidad de varianzas, siendo estos requisitos previos para poder llevar a cabo un análisis paramétrico. Se presenta los datos y el análisis de forma resumida en tablas, con soporte en anexos al final del documento.

### 6.1. Mediciones preliminares

Datos recolectados en la hacienda Yarima.

Se realizó mediciones de pH y conductividad al residuo encontrado en el tanque de preservación de la hacienda Yarima. Los resultados se encuentran registrados en la siguiente tabla.

**Tabla 5:** Mediciones de pH y conductividad del residuo del tanque de preservación de la hacienda Yarima.

pH	DS	T pH-m (°C)	DS	Conductividad (mS)	DS	T Cond-m (°C)	DS
8,48	0,008	22,6	0,562	24,46	0,029	20,8	0,172

Se preparó en el laboratorio una solución preservante con una conductividad de 5,95 mS y con un pH de 7,97, se mezcló con la muestra tomada en la hacienda Yarima en iguales proporciones, para determinar el efecto en la conductividad y pH después de mezclar una solución inicial con una ya usada durante un largo tiempo. Los resultados se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6:** Mediciones de pH y conductividad.

Solución	pH	DS	T °C (pH-m)	DS	Conductividad (mS)	DS	T °C (Con-m)	DS
Nueva	7,97	0,014	22,7	0,050	5,946	0,178	21,42	0,556
Yarima	8,40	0,008	23,0	0,572	22,15	0,026	21,3	0,176
Mezcla	8,35	0,041	22,8	0,303	14,55	0,069	21,22	0,084

Se puede apreciar en la tabla 6 que los valores de la conductividad de una mezcla se encuentran lejanos a la de una solución con concentración al 5 %m/V. No es práctico mezclar solución usada con una solución nueva ni tampoco hacer un ajuste mediante este método porque no se garantiza la concentración eficaz de la solución.

## 6.2. Validación de la técnica potenciométrica

### 6.2.1. Modelos predictivos

En la tabla 7, se presenta los datos obtenidos para la validación de las técnicas potenciométricas: Conductividad y pH.

**Tabla 7:** Promedios de las mediciones obtenidas de este experimento.

% m/V	pH	DS	T pH-m (°C)	DS	Conductividad (mS)	DS	T Con.-m (°C)	DS
Blanco	6,86	0,049	24,1	0,558	0,028	0,056	24,5	0,050
3	8,08	0,029	23,3	1,172	4,395	0,062	23,2	1,624
4	7,96	0,032	23,3	1,045	5,515	0,079	23,2	1,274
5	7,86	0,026	22,6	1,555	6,515	0,068	22,2	0,807
6	7,76	0,028	23,3	1,043	7,363	0,070	23,2	1,033
7	7,66	0,023	23,3	1,062	8,379	0,122	22,9	0,963
8	7,57	0,008	27,0	0,179	10,133	0,026	26,9	0,800
9	7,49	0,004	26,3	0,266	10,883	0,085	26,6	0,167
10	7,42	0,006	25,6	0,052	11,707	0,078	25,7	0,224
11	7,34	0,012	25,8	0,320	12,687	0,193	25,9	0,472

Utilizando el software SPSS® versión 19, mediante una regresión lineal se encontraron los modelos matemáticos teniendo como variable dependiente la conductividad y el pH.

### 6.2.1.1. Análisis de regresión lineal teniendo como variable dependiente la conductividad

**Tabla 8:** Resumen de los modelos.

Modelo	Variables y constantes	Coeficientes		Significancia
		*B	Error típico	
1	Constante	-0,874	0,170	0,000
	Concentración	1,005	0,006	0,000
	T pH-metro	0,101	0,008	0,000
2	Constante	-0,452	0,174	0,010
	Concentración	1,010	0,006	0,000
	T Cond.-metro	0,083	0,008	0,000
3	Constante	-1,013	0,174	0,000
	Concentración	1,000	0,006	0,000
	T pH-metro	0,030	0,010	0,004
	T Cond.-metro	0,078	0,011	0,000
4	Constante	-0,965	0,175	0,000
	Concentración	1,000	0,006	0,000
	T Promedio	0,106	0,008	0,000

\*B, coeficiente que acompaña cada variable

**Tabla 9:** Modelos para determinar la concentración de la solución preservante mediante la conductividad.

Modelos predictivos	$\sqrt{\text{MSE}}$	R	R <sup>2</sup>
1. $\sigma = -0,874 + 1,005 [\%m/V] + 0,101 T_{pH}$	0,141	0,999	0,997
2. $\sigma = -0,452 + 1,010 [\%m/V] + 0,083 T_{\sigma}$	0,158	0,998	0,996
3. $\sigma = -1,013 + 1,000 [\%m/V] + 0,030 T_{\sigma} + 0,083 T_{pH}$	0,141	0,999	0,997
4. $\sigma = -0,965 + 1,000 [\%m/V] + 0,106 \bar{T}$	0,141	0,999	0,997

MSE: error cuadrático medio R: coeficiente de Pearson

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

Para cada modelo se hizo la comprobación de los supuestos que se tienen en cuenta antes de proceder con una regresión lineal como son: igualdad de varianzas, normalidad y linealidad de los residuos; éstos se encuentran en los Anexos 2, 3, 4, 5. El cumplimiento de dichos supuestos garantizan un comportamiento adecuado, por lo tanto los modelos anteriormente descritos son válidos, [38].

Los valores de error cuadrático medio (MSE), representan una medida de variabilidad de la conductividad que no es explicada por la recta de regresión, es decir, lo que el modelo no puede predecir. Como se observa en la tabla 9, estos valores son pequeños, por lo que se puede deducir que el ajuste del modelo es adecuado. Este estadístico también indica que la técnica guarda un alto grado de la precisión.

El valor de R (coeficiente de Pearson), para los modelos anteriores se encuentran muy próximos a  $R = 1,000$  indicando una fuerte correlación directa. El coeficiente de determinación  $R^2$ , en el caso del modelo 1 por ejemplo, indica que el 99,7% de la variable dependiente (conductividad) se explica por el modelo de regresión obtenido, [39].

Para hacer uso de los modelos se debe despejar la variable de interés, que en este caso es la concentración como se muestra a continuación:

$$1. \left[ \% \frac{m}{V} \right] = \frac{\sigma + 0,874 - 0,101T_{pH}}{1,005}$$

$$2. \left[ \% \frac{m}{V} \right] = \frac{\sigma + 0,452 - 0,083T_{\sigma}}{1,010}$$

$$3. \left[ \% \frac{m}{V} \right] = \sigma + 1,013 - 0,030T_{\sigma} - 0,078T_{pH}$$

$$4. \left[ \% \frac{m}{V} \right] = \sigma + 0,965 - 0,106\bar{T}$$

Donde,

$\sigma$ , es la conductividad en mS

$\% m/V$ , es la concentración

$T_{pH}$ , es la temperatura reportada del pH-metro

$T_{\sigma}$ , es la temperatura reportada del conductímetro

$\bar{T}$ , es la temperatura promedio entre las temperaturas descritas anteriormente (también puede ser la temperatura medida directamente en la solución con un termómetro común)

Todos los modelos propuestos para determinar la concentración son válidos. El modelo 4 es más práctico al momento de realizar el cálculo, puesto que solo involucra la medición de la conductividad y una temperatura que puede ser tomada con un termómetro común.

En el Anexo 6 se muestra un contraste entre las concentraciones de las soluciones que se prepararon en el laboratorio y las concentraciones dadas por los modelos.

### 6.2.1.2. Análisis de regresión lineal teniendo como variable dependiente el pH

Se repitió el mismo tratamiento para los datos, tomando esta vez el pH como variable de respuesta.

**Tabla 10:** Modelos para determinar la concentración de la solución preservante mediante el pH.

Modelos predictivos	$\sqrt{\text{MSE}}$	R	$R^2$
1. $\text{pH} = -0,091 [\%m/V] - 0,007 T_{\text{pH}} + 8,497$	0,026	0,994	0,988
2. $\text{pH} = -0,093 [\%m/V] - 0,002 T_{\sigma} - m + 8,378$	0,027	0,993	0,987
3. $\text{pH} = -0,092 [\%m/V] - 0,12 T_{\text{pH}} + 0,007 T_{\sigma} \cdot m + 8,466$	0,025	0,995	0,989
4. $\text{pH} = -0,092 [\%m/V] - 0,005 \bar{T} + 8,447$	0,027	0,994	0,987

Como se puede observar en la tabla 10, los modelos matemáticos a partir del pH presentan un coeficiente de correlación y determinación más bajos que los de la conductividad, por lo tanto la medición de conductividad es más factible para determinar la concentración, además se debe tener en cuenta que siendo una solución amortiguadora, puede soportar cambios de pH. Por otra parte la forma en que se registra el dato de pH, teniendo en cuenta su escala logarítmica, no permite apreciar un cambio significativo, dándose dentro de un rango de variación

bajo (entre 7,34 y 8,08); mientras que la medición de la conductividad se realiza dentro de un rango de variación más amplio (entre 4,395 y 12,687). También se debe tener en cuenta que aunque no haya presencia de sales siempre se va tener un valor de pH, que si se introduce en el modelo de regresión se presta para confusión y error debido a que el valor de concentración obtenido no se refiere a presencia de sales, lo que no sucede con la conductividad siempre y cuando el solvente no presente características electrolíticas.

### 6.2.1.3. Estudio de los parámetros estadísticos

- **Precisión:** los parámetros de calidad calculados se encuentran en la siguiente tabla.

**Tabla 11:** Parámetros de calidad para la precisión.

<b>Conductividad</b>									
<b>Concentración (%m/V)</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>N</b>	24	24	24	24	24	15	15	15	15
<b>Promedio</b>	4,395	5,514	6,514	7,563	8,378	10,13	10,886	11,706	12,686
<b>RSD</b>	0,014	0,014	0,010	0,009	0,015	0,003	0,008	0,007	0,015
<b>S de la media</b>	0,013	0,016	0,014	0,014	0,025	0,007	0,022	0,020	0,050
<b>% CV</b>	1,411	1,433	1,044	0,926	1,456	0,257	0,781	0,666	1,521
<b>Varianza S<sup>2</sup></b>	0,004	0,006	0,005	0,005	0,015	0,001	0,007	0,006	0,037

Observando los resultados de %CV obtenidos en la tabla 11, se deduce que la técnica es precisa, puesto que los valores son menores a 5% para todas las concentraciones. Por lo tanto la técnica es repetible y reproducible; hay poca variación entre los datos tomados en un mismo día y los que fueron tomados en condiciones diferentes.

- **Exactitud:** se reporta como error relativo para cada concentración. Estos se pueden apreciar en la tabla 12.

**Tabla 12:** Error relativo para cada una de las concentraciones

<b>Conductividad</b>		
<b>Concentración (%m/V)</b>	<b>Error relativo</b>	<b>% Error relativo</b>
3	0,0127	1,27
4	0,0162	1,62
5	0,0140	1,40
6	0,0143	1,43
7	0,0248	2,48
8	0,0066	0,66
9	0,0219	2,19
10	0,0201	2,01
11	0,0499	4,99

Como se puede observar los valores del % error relativo son menores de 5% por lo que se puede indicar que la técnica de conductimetría es precisa y exacta.

- **Límite de detección y cuantificación:** estos se calcularon con la desviación estándar de las concentraciones del blanco, en este caso el agua destilada, su concentración se determinó con los modelos predictivos de conductividad.

Con el modelo 1 la concentración es:

$$\text{Concentración} = \frac{0,0282 + 0,874 - 0,101(24,1)}{1,005} = - 1,5242 \%m/V$$

A partir de las concentraciones del blanco se halló la desviación estándar para calcular el límite de detección.

$$LD = 3 * 0,0562\% m/V$$

$$LD = 0,1687 \%m/V$$

El límite de cuantificación es diez veces la desviación estándar de estas concentraciones.

$$LC = 10 * 0,0562 \% \text{ m/V}$$

$$LC = 0,5624 \% \text{ m/V}$$

En la tabla 13 se muestra las concentraciones, el límite de detección y el límite de cuantificación para los modelos.

**Tabla 13:** Limite de detección y cuantificación para cada uno de los modelos.

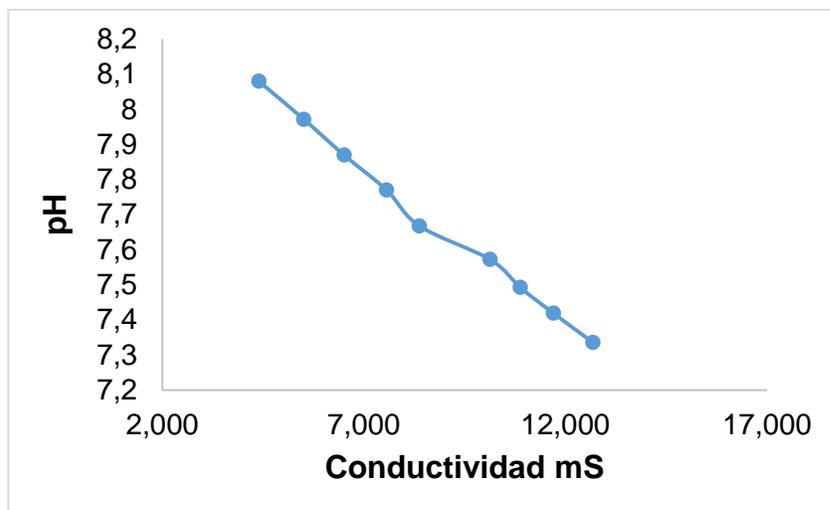
Modelo	Concentración del blanco (% m/V)	Desv. Estándar	LD (% m/V)	LC (% m/V)
1	-1,5242	0,0562	0,1687	0,5624
2	-1,5346	0,0045	0,0136	0,0455
3	-1,5771	0,0442	0,1327	0,4423
4	-1,5869	0,0245	0,0734	0,2447

Estos resultados indican que la técnica aplicada por medio de los modelos consigue detectar y cuantificar bajas concentraciones del analito. Por ejemplo, para el modelo 1 la cantidad más pequeña del analito que puede ser detectada en la medición de es de 0,1686 % m/V y la cantidad más pequeña del analito en una muestra que puede ser cuantitativamente determinada es 0,5624% m/V, por lo tanto el cálculo de la concentración con esta técnica es muy adecuada partiendo de que la concentración mínima que utilizan para preservar es de 3% m/V.

- Linealidad: es de gran ayuda el coeficiente de Pearson y el coeficiente de determinación para observar la linealidad del método, los cuales son muy cercanos a 1. Esto indica muy buena relación lineal entre las variables.

#### **6.2.1.4. Relación entre las variables de respuesta; conductividad y pH**

Teniendo en cuenta que para cada valor de conductividad existe un valor de pH asociado, se procedió a evaluar la relación existente entre estas variables por medio de un gráfico de dispersión simple, empleando el software Excel Microsoft® Office 2010.



**Figura 20:** pH Vs Conductividad.

Se evidencia una relación lineal inversamente proporcional. Empleando el software SPSS versión 19, se procede hacer una regresión lineal.

**Tabla 14:** Modelo de relación entre la conductividad y le pH.

Modelo	R	R <sup>2</sup>	√MSE
pH = 8,456 - 0,089Conductividad	0,993	0,986	0,028

Este se modelo será utilizado al momento de hacer el ajuste a la solución preservante.

### 6.2.2. Cambio en la conductividad con respecto a la proporción

En la siguiente tabla se presentan los datos promedio de este experimento.

**Tabla 15:** Datos de conductividad recolectados a partir del cambio en la proporción

Solución al 5% (m/V)								
Proporción Bórax: Ac. bórico	pH	DS	T pH-m (°C)	DS	$\sigma$ (mS)	DS	T Cond-m (°C)	DS
1,0 : 4,0	6,58	0,059	22,4	1,741	2,964	0,050	22,2	1,356
2,0 : 3,0	7,51	0,019	22,4	1,679	5,251	0,063	22,6	1,501
2,5 : 2,5	7,90	0,040	22,3	1,743	6,493	0,160	22,3	1,301
3,0 : 2,0	8,25	0,041	22,4	1,589	7,683	0,179	22,5	1,326
4,0 : 1,0	8,87	0,051	22,3	1,749	9,747	0,175	22,2	1,323

**Tabla 16:** Estadísticos descriptivos teniendo como referencia la proporción de bórax.

Proporción Bórax	Conductividad (mS)			pH		
	Media	Desviación típica	N	Media	Desviación típica	N
1,00	2,9641	0,0502	24	6,5796	0,0591	24
2,00	5,2514	0,0625	24	7,5117	0,0188	24
2,50	6,4934	0,1600	24	7,9004	0,0399	24
3,00	7,6833	0,1792	24	8,2538	0,0407	24
4,00	9,7470	0,1751	24	8,8688	0,0506	24
<b>Total</b>	6,4278	2,2929	120	7,8228	0,7697	120

Debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad para un análisis de varianza paramétrico, se procedió a hacer un análisis no paramétrico utilizando la prueba de Kruskal- Wallis.

La hipótesis nula de la prueba de Kruskal-Wallis es:

$H_0$ : Las muestras provienen de poblaciones con medias iguales.

$H_1$ : Las muestras provienen de poblaciones con medias que no son iguales.

**Tabla 17** : Prueba de Kruskal-Wallis para los datos.

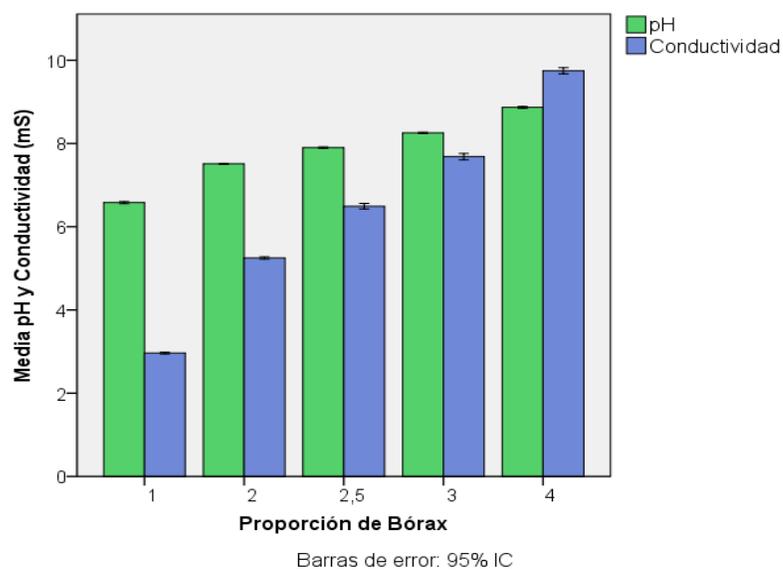
<b>Estadístico</b>	<b>Conductividad (mS)</b>	<b>pH</b>
Chi-cuadrado	114,255	114,411
Grados de libertad	4	4
Sig. asintótica	0,000	0,000

Según el resultado de la prueba de Kruskal - Wallis la hipótesis nula se rechaza; la significancia es menor a 0,05. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre al menos dos de los rangos, [40]. El procedimiento para efectuar comparaciones múltiples y de esta manera saber qué grupos dentro del tratamiento difieren entre sí, se conoce como la prueba de Mann Whitney para dos muestras independientes, acompañada de la corrección de Bonferroni para controlar la tasa de error. Los grupos de comparación que deben realizarse teniendo en cuenta la proporción de bórax son: {1-2}, {1-2,5}, {1-3}, {1-4}, {2-2,5}, {2-3}, {2-4}, {2,5-3}, {2,5-4} y {3-4}. La aplicación de la corrección de Bonferroni basará las decisiones en un nivel de significación de  $0,05/10 = 0,005$ ; es decir, dos grupos difieren significativamente cuando el nivel crítico obtenido sea menor de 0,005, [40].

**Tabla 18:** Prueba de Mann Whitney para los datos de conductividad y pH

Prueba de Mann Whitney					
Conductividad (mS)			pH		
Comparaciones i-j		Significancia	Comparaciones i-j		Significancia
i	j		i	j	
1,0	2,0	0,000	1,0	2,0	0,000
	2,5	0,000		2,5	0,000
	3,0	0,000		3,0	0,000
	4,0	0,000		4,0	0,000
2,0	2,5	0,000	2,0	2,5	0,000
	3,0	0,000		3,0	0,000
	4,0	0,000		4,0	0,000
2,5	3,0	0,000	2,5	3,0	0,000
	4,0	0,000		4,0	0,000
3,0	4,0	0,000	3,0	4,0	0,000

El valor crítico es menor a 0,005 para todos los grupos. Se deduce que son significativamente diferentes entre sí. Estas diferencias se aprecian mejor en el siguiente gráfico.



**Figura 21:** Gráfica de las medias conductividad y pH vs proporción de bórax.

Como se observa en la figura 21, al aumentar la proporción de bórax aumenta la conductividad y el pH, debido a que este compuesto es mejor conductor que el ácido bórico, además es una base que predomina sobre este ácido débil.

Se tiene presente que el experimento se encuentra fundamentado por la ecuación de Handerson – Halselbalch (1), en donde el pH depende de una relación entre la sal y el ácido, [31], por tanto la aproximación en cuanto a la proporción de mezcla ácido bórico-bórax en la solución se hará por medio del pH.

$$pH = pK_a + \log \left( \frac{[Sal]}{[Ácido]} \right) \quad (1)$$

Al momento de realizar el ajuste en la concentración de la solución (expuesto en el numeral 6.3.), se tendrá en cuenta que un aumento en el pH representa una tendencia de la solución a volverse más básica, correspondiente a una mayor proporción en bórax que de ácido y, una disminución en el pH significa una tendencia a volverse más ácida, correspondiente a una mayor proporción de ácido bórico que de bórax.

### 6.2.3. Cambio en la conductividad con respecto a la concentración y la proporción

**Tabla 19:** Datos de la conductividad y el pH con respecto a la concentración y la proporción.

%m/V	Proporción Bórax : A. Bórico	pH	DS	T pH-m (°C)	DS	$\sigma$ (mS)	DS	T Cond-m (°C)	DS
3	1,0 : 4,0	7,03	0,023	24,2	0,584	1,972	0,033	24,4	0,776
	2,5 : 2,5	8,08	0,029	23,3	1,172	4,395	0,062	23,2	1,625
	4,0 : 1,0	8,86	0,021	24,7	0,599	6,822	0,041	24,6	0,362
5	1,0 : 4,0	6,58	0,059	22,4	1,741	2,964	0,050	22,2	1,356
	2,5 : 2,5	7,87	0,026	22,6	1,555	6,514	0,068	22,2	0,807
	4,0 : 1,0	8,87	0,051	22,3	1,748	9,747	0,175	22,2	1,323
7	1,0 : 4,0	6,28	0,216	23,8	2,135	4,327	0,923	24,2	0,495
	2,5 : 2,5	7,67	0,023	23,3	1,062	8,378	0,122	22,9	0,963
	4,0 : 1,0	8,84	0,023	24,3	0,480	12,485	0,085	24,4	0,614

Se hace independientemente un análisis no paramétrico utilizando la prueba de Kruskal-Wallis para la concentración en un rango de 3% a 7% y la proporción de 1 a 4, con el fin de observar el comportamiento en las mediciones de conductividad y pH en función de estas dos variables combinadas

**Tabla 20:** Prueba de Kruskal-Wallis teniendo en cuenta la concentración.

<b>Estadísticos</b>	<b>Conductividad (mS)</b>	<b>pH</b>
Chi-cuadrado	45,846	8,207
Grados de libertad	2	2
Sig. asintót.	0,000	0,170

La significancia de la prueba para la conductividad es menor a 0,05 por lo que se toma la hipótesis alternativa de que los datos provienen de poblaciones con rangos diferentes. La significancia de la prueba para el pH es mayor a 0,05 lo que indica que los datos provienen de poblaciones con medias iguales. A continuación se hace la prueba de Mann Whitney para encontrar entre qué grupos de comparación existen las diferencias.

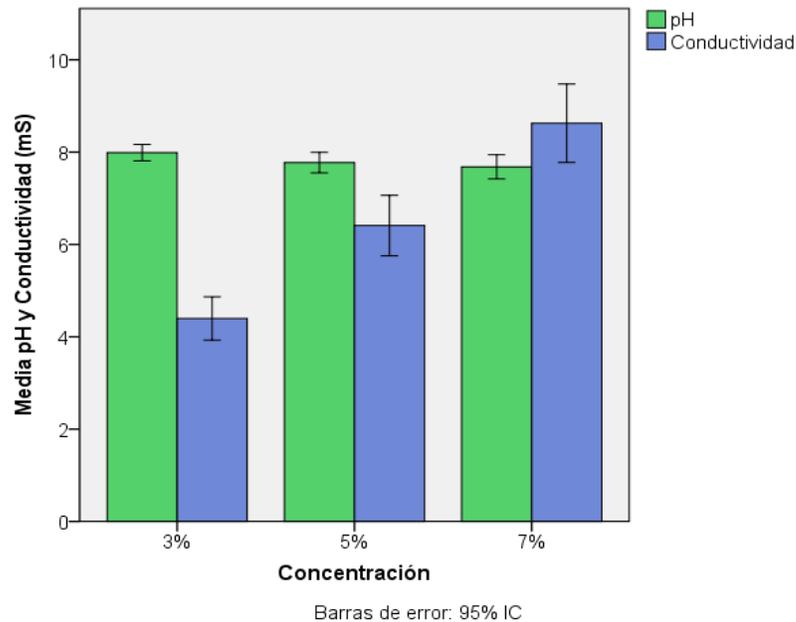
**Tabla 21:** Prueba de Mann Whitney teniendo en cuenta la concentración.

<b>Conductividad</b>		
<b>Comparaciones i-j</b>		<b>Significancia</b>
<b>I</b>	<b>J</b>	
3%	5%	0,001
	7%	0,000
5%	7%	0,001

Aplicando la corrección de Bonferroni, el valor crítico para hacer las conclusiones de la prueba es 0,017, por lo que se concluye que en todos los grupos hay diferencias significativas para el caso de la conductividad. En el caso del pH no

hay diferencias significativas reafirmando lo anteriormente descrito con la prueba de Kruskal – Wallis.

En la figura 22 se puede visualizar estas diferencias.



**Figura 22:** Gráfica de las medias de la conductividad y el pH vs concentración.

**Tabla 22:** Prueba de Kruskal-Wallis teniendo en cuenta la proporción en bórax.

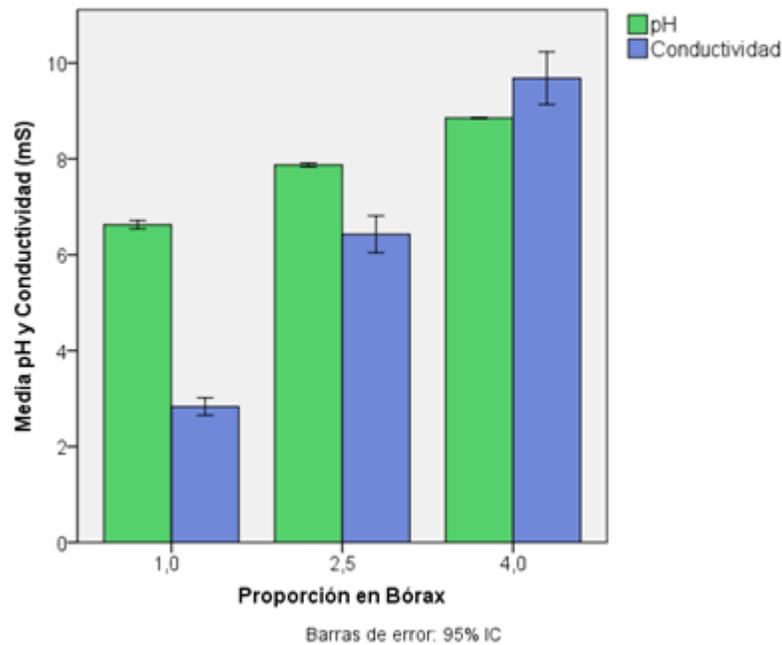
Estadísticos	Conductividad (mS)	pH
Chi-cuadrado	165,711	185,842
Grados de libertad	2	2
Sig. asintót.	0,000	0,000

El resultado de esta prueba nos indica que hay diferencias significativas entre al menos dos de los grupos, por lo que se procede a realizar la prueba de Mann Whitney.

**Tabla 23:** Prueba de Mann Whitney teniendo en cuenta la proporción de bórax.

Prueba de Mann Whitney					
Conductividad (mS)			pH		
comparaciones i-j		Significancia	Comparaciones i-j		Significancia
I	J		I	J	
1,0	2,5	0,000	1,0	2,5	0,000
	4,0	0,000		4,0	0,000
2,5	4,0	0,000	2,5	4,0	0,000

Según los resultados todos los grupos son diferentes debido a que la significancia es menor a 0,017 (corrección de Bonferroni  $0,05/3= 0,017$ ). Esto se puede apreciar en la figura 23



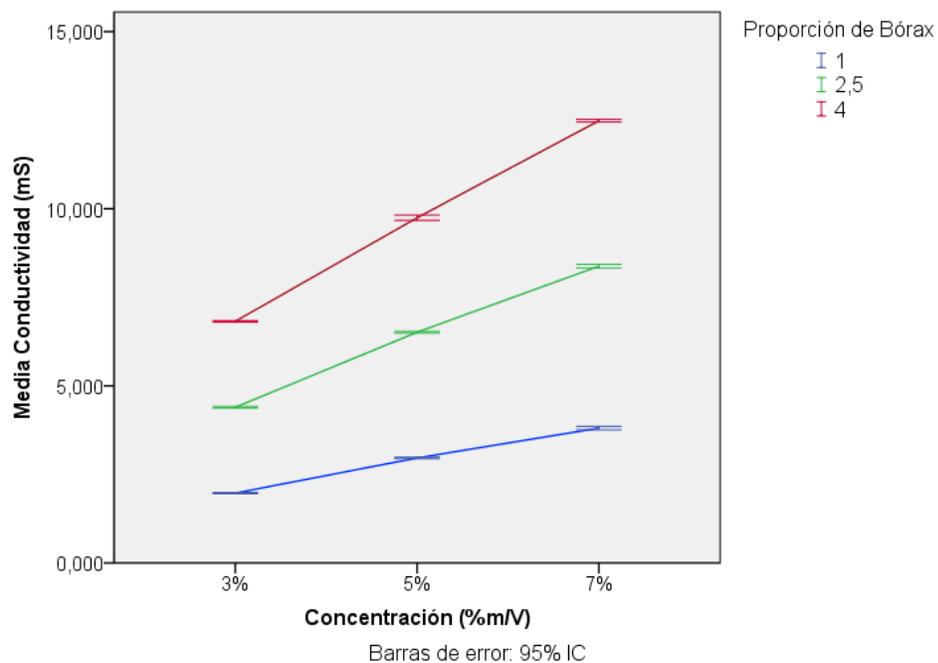
**Figura 23:** Gráfica de las medias de la conductividad y pH vs proporción en bórax.

Teniendo en cuenta que la conductividad como variable de respuesta se utilizó para obtener modelos predictivos presentados en la tabla 9, en el numeral

6.2.1.1., con este experimento se puede apreciar que aunque se cambie la proporción dentro de una concentración determinada y se compare con una concentración inferior de cualquier proporción, la conductividad siempre será mayor como se evidencia en las barras correspondientes a la conductividad en la figura 22. Asimismo el comportamiento es igual que en el experimento de modelos predictivos; la conductividad aumenta y el pH disminuye.

Teniendo en cuenta que en el experimento referente al cambio en la conductividad respecto a la proporción, pudo apreciarse que hay un incremento directamente relacionado con el aumento en la proporción de bórax. Este patrón se sigue observando para diferentes concentraciones como se demuestra en las barras correspondientes a la conductividad en la figura 23.

Con respecto a la concentración se puede notar que el pH tiende a disminuir de forma similar como se analizó en la sección 6.2.1.2., sin embargo, con respecto a la proporción de bórax el pH aumenta, ratificando su importancia al momento de realizar el ajuste de la concentración en la solución.



**Figura 24:** Gráfica de conductividad vs concentración separado por proporción de bórax

De la figura 24 se puede inferir que sin importar el cambio en la proporción dentro de una determinada concentración, se sigue presentando un comportamiento lineal sin darse interacciones entre las variables, independientemente del cambio en la concentración y/o la proporción de ácido bórico y bórax, lo que permitirá realizar un monitoreo de la solución haciendo uso de los modelos predictivos cuando se realice preservación de *Guadua angustifolia* Kunth a una concentración diferente de la solución preservante.

### **6.3. Procedimiento para ajustar la concentración de la solución preservante por medio de los modelos encontrados**

Este ajuste se debe hacer para mantener la solución en un estado eficaz de concentración, por medio de los pasos que se describen a continuación:

1. Extraer del tanque una muestra de solución de volumen conocido y medir pH, conductividad y temperatura.
2. Elegir uno de los modelos presentados en la tabla 9 que mejor se acople con los datos recolectados y hallar la concentración.
3. Con el dato de la conductividad obtenido hallar el pH asociado empleando el modelo presentado en la tabla 14.
4. Si el pH medido en la solución es mayor al pH asociado hallado, el ajuste deberá realizarse con ácido bórico, adicionándolo poco a poco hasta obtener el pH correspondiente. De lo contrario si el pH medido en la solución es menor, el ajuste deberá realizarse con bórax.
  - Tomar apunte de la cantidad de ácido bórico o bórax utilizado.
5. Si se requiere ajustar la solución a una concentración mayor de la hallada, el ajuste deberá realizarse con una mezcla sólida 1:1 de ácido bórico y bórax, adicionando poco a poco hasta obtener la conductividad de la concentración deseada.
  - Si se requiere ajustar a una concentración menor, el ajuste se deberá realizarse adicionando agua.
6. Posteriormente efectuar el cálculo estequiométrico que permita conocer la cantidad del compuesto adicionado que se debe suministrar a toda la

solución presente en el tanque, ya sea bórax, ácido bórico, mezcla 1:1 o agua.

**Nota:** Para disolver la mezcla de sales en los pasos 1 y 2, se debe hacer agitando mecánicamente sin importar el tiempo que tome, puesto que si se calienta la solución, en consecuencia se incrementa la conductividad induciendo al error. Para disolver las sales efectuado el paso 6, se debe hacer en una cantidad de solución extraída del tanque; durante este procedimiento sí se puede calentar la solución.

#### 6.4. Efecto del tiempo en la concentración de la solución



**Figura 25:** Inmersión de los trozos de guadua, propia

En la tabla 24 se resumen el experimento con los datos promedios.



**Figura 26:** inmersión de los trozos de guadua con ayuda de piedras, propia

Debido a que los trozos de guadua flotaban y no tenían un buen contacto con la solución se les colocó piedras previamente lavadas, para ayudar a que estuvieran bien sumergidas dentro de la solución (figura 26).

**Tabla 24:** Datos de la conductividad y el pH en función del tiempo.

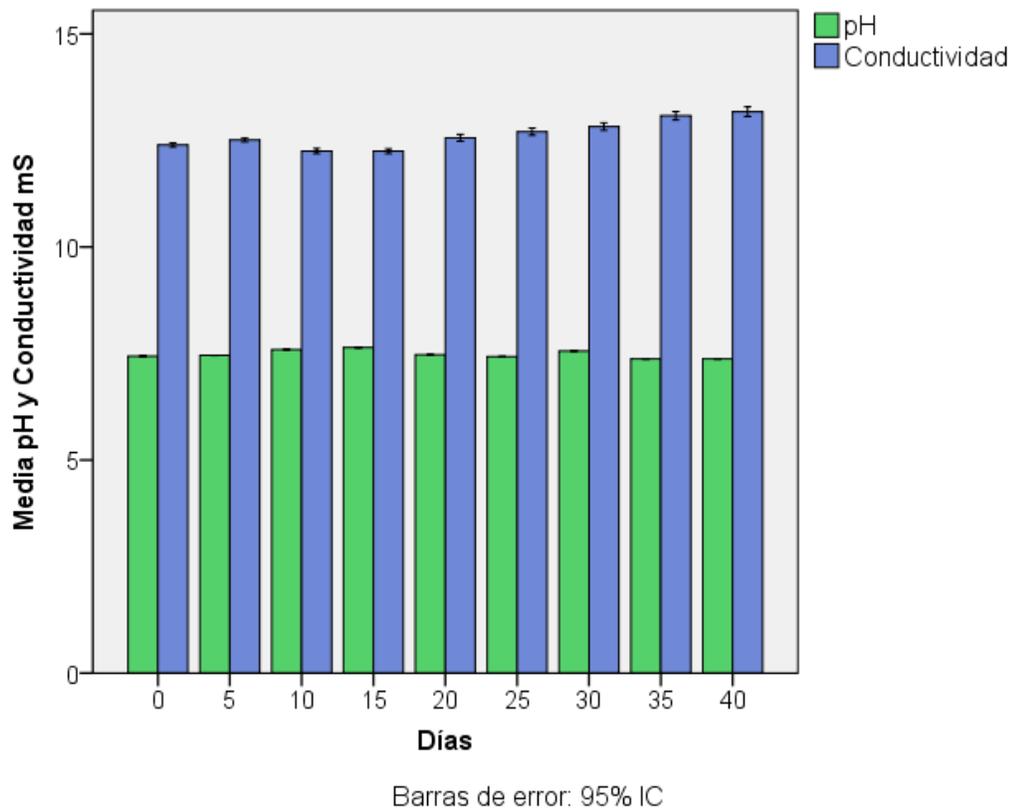
Días	Sección											
	Alta				Media				Baja			
	pH	DS	$\sigma$ (mS)	DS	pH	DS	$\sigma$ (mS)	DS	pH	DS	$\sigma$ (mS)	DS
0	7,45	0,010	12,283	0,059	7,43	0,018	12,466	0,261	7,43	0,013	12,441	0,046
1	7,45	0,010	12,401	0,092	7,45	0,014	12,619	0,196	7,46	0,010	12,515	0,070
2	7,58	0,030	12,114	0,203	7,61	0,022	12,381	0,271	7,59	0,017	12,258	0,041
3	7,63	0,040	12,132	0,129	7,65	0,032	12,343	0,237	7,64	0,043	12,268	0,047
4	7,48	0,042	12,367	0,187	7,47	0,032	12,699	0,332	7,47	0,022	12,616	0,092
5	7,42	0,014	12,482	0,205	7,43	0,020	12,835	0,343	7,44	0,010	12,800	0,114
6	7,55	0,023	12,580	0,194	7,56	0,008	12,945	0,362	7,56	0,012	12,951	0,106
7	7,37	0,018	12,801	0,202	7,37	0,023	13,210	0,359	7,38	0,016	13,228	0,128
8	7,37	0,013	12,878	0,234	7,38	0,022	13,243	0,458	7,38	0,023	13,403	0,146

En el análisis no paramétrico para la conductividad en función de las inmersiones y para la conductividad en función de la zona del culmo de *G. angustifolia* Kunth, se obtuvo que hay diferencias significativas.

**Tabla 25:** Prueba de Kruskal-Wallis para los datos de conductividad y pH.

Estadísticos	Conductividad (mS)	pH
Chi-cuadrado	269,302	388,461
Grados de libertad	8	8
Sig. asintót.	0,000	0,000

Se encuentran diferencias significativas entre al menos dos de los grupos, por lo que se analiza con la prueba de Mann Whitney (Anexo 7), en donde se puede apreciar que no hay diferencias significativas entre cuatro grupos siendo estos: {1-4}, {2-3}, {5-6} y {7-8} teniendo en cuenta la conductividad, mientras que para el pH los grupos que no difieren {0-5}, {1-4}, {7-8}, dando evidencia de que las mediciones de conductividad y pH en estas inmersiones son muy similares, la cual se puede observar en la figura 27.



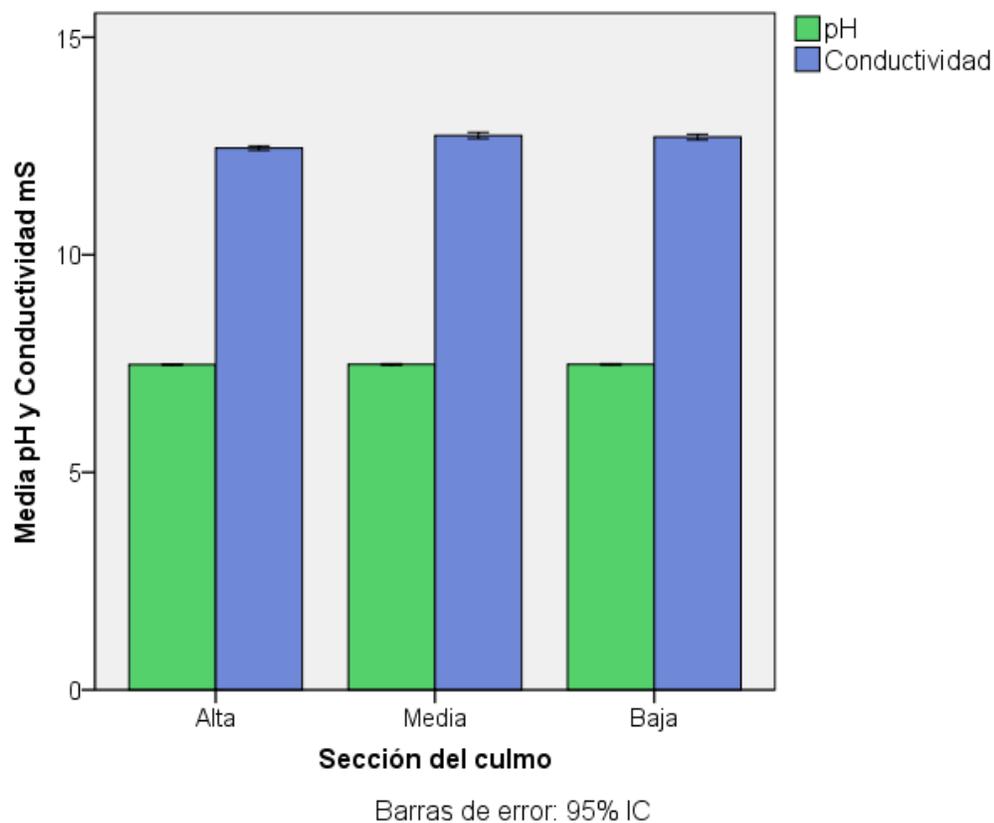
**Figura 27:** gráfica de las medias de conductividad y pH en función de los días.

**Tabla 26:** Prueba de Kruskal-Wallis para los datos de la conductividad en función de la sección del cumo.

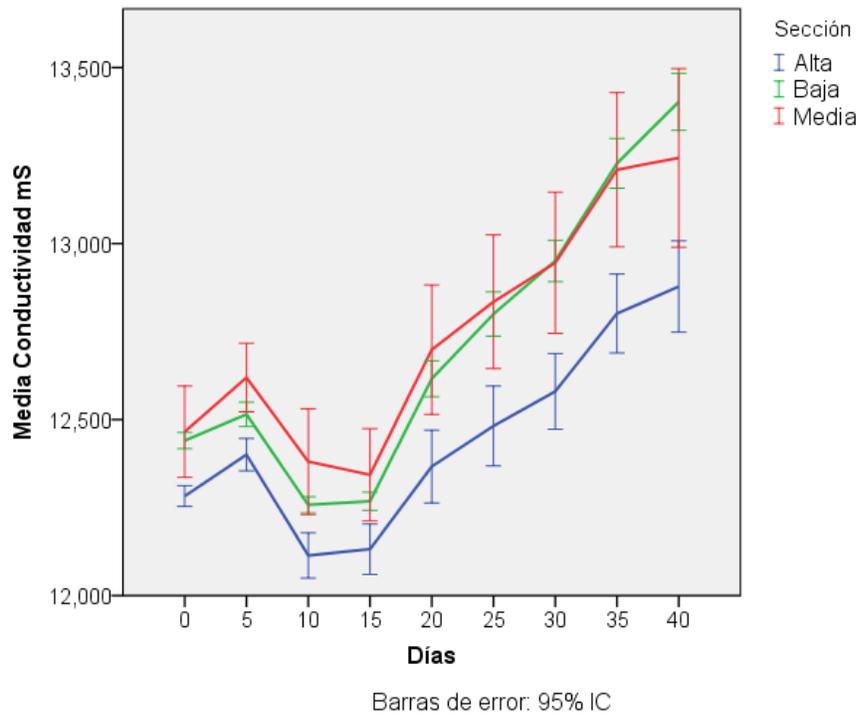
Estadísticos	Conductividad (mS)	pH
Chi-cuadrado	42,025	0,402
Grados de libertad	2	2
Sig. asintót.	0,000	0,818

**Tabla 27:** Prueba de Mann Whitney para los datos de la conductividad y pH en función de la sección de la *G. angustifolia* Kunth.

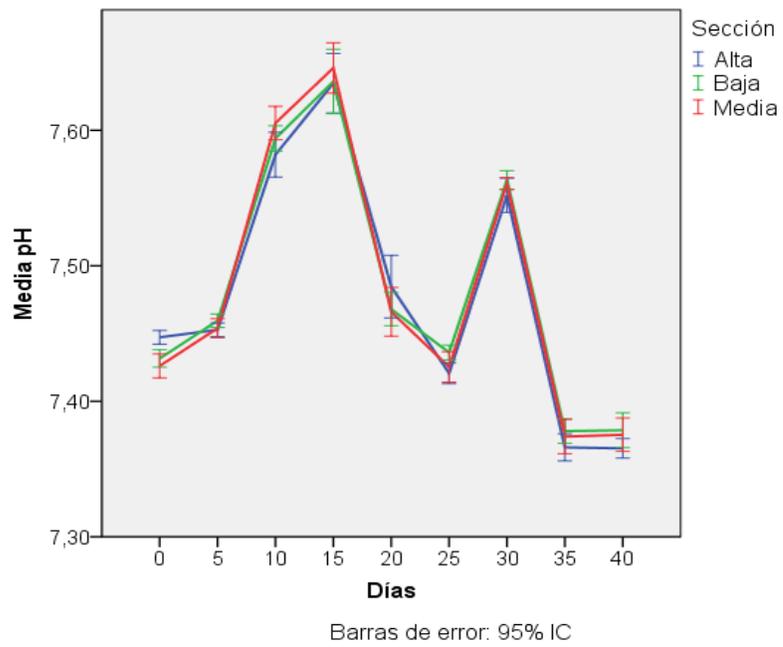
Conductividad		
Comparaciones i - j		Significancia
I	j	
Alta	Media	0,000
	Baja	0,000
Media	Baja	0,647



**Figura 28:** gráfica de las medias del pH y conductividad en función de la sección del culmo.



**Figura 29:** Gráfica de las medias de conductividad vs días por sección



**Figura 30:** Media de pH vs días por sección

En este estudio se observa que aunque no se presenta un patrón de comportamiento proporcional, direccionado por el tiempo, hay tendencia de aumentar la conductividad y disminuir el pH, conforme se produce en el experimento de modelos predictivos. Esto puede ser debido a que el material a preservar esté introduciendo un factor que altere la medición de la conductividad, como también que de alguna u otra forma se esté retirando más solvente que soluto, puesto que no podría ser ocasionado por un incremento en ácido bórico y/o bórax dentro de la solución.

### 6.5. Estudio complementario

**Tabla 28:** Reporte de resultados desde el Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliare comparados con los obtenidos en los modelos.

Solución	Caneca	Inmersión	Concentración en mezcla Á. bórico, bórax		
			Laboratorio (%m/V)	Promedio en los Modelos (%m/V)	Teórica (%m/V)
Inicial	1	0	15,22	10,82	10,64
Intermedia	9	4ta	14,73	11,15	10,64
Final	3	8va	15,59	11,97	10,64
Inicial Yarima	Tanque	0	3,36	2,28	5,00

Se observa que en la solución final la concentración se reporta más alta al igual que con los modelos obtenidos a partir de la conductividad.

La concentración de la solución preparada en el tanque de inmersión de la hacienda Yarima, reporta que no se encuentra en la ideal de 5%, tanto con los modelos a partir de la conductividad, como con el análisis hecho en el laboratorio de suelos. Esta información implica que debe hacerse un ajuste real de la solución después de haberse preparado teóricamente. Las diferencias pueden radicar en la cantidad de agua calculada por medio de las dimensiones del tanque, lo que indicaría que calcular el volumen de esta forma genera imprecisión.

La diferencia entre los datos de concentración hallados por medio de las técnicas aplicadas, puede deberse a que en fotometría el método de la Azometina H. genera un color amarillo muy similar al de las solución después de un tiempo de inmersiones, lo que induciría un error en la lectura de la absorbancia que es la variable de respuesta.

## 7. CONCLUSIONES

- Se logró validar e implementar modelos predictivos tomando datos de pH, conductividad y temperatura mediante una técnica potenciométrica para medir la concentración de la solución preservante y asimismo, realizar un monitoreo a través del tiempo, para determinar el estado de eficacia de la solución preservante a base de bórax y ácido bórico para los culmos de *G. angustifolia* Kunth.
- El cambio en la conductividad que se experimenta en la solución después de dos meses de inmersiones, es influenciado por un factor desconocido que posiblemente no puede ser controlado y depende de la cantidad de material a preservar. La única forma que la concentración puede ser afectada es retirando solvente, o adicionando sales del analito en cuestión u otro tipo de sustancia con capacidad de conducir la electricidad.
- Se logró establecer unos pasos para realizar el ajuste a la concentración de la solución preservante con el propósito mantener la eficacia a través del tiempo.

## 8. RECOMENDACIONES

- Antes de preservar se debe limpiar muy bien la guadua para evitar algún tipo de contaminación en la solución la cual puede afectar la medición de la conductividad.
- Se debe garantizar un mezclado homogéneo en todo el tanque de preservación.
- Para predecir la concentración a partir de los modelos que involucran la medición de la conductividad y proceder a ajustar la solución, es necesario al menos un equipo que mida la conductividad y el pH. La temperatura puede ser tomada con un termómetro común.
- Esta investigación deja claro que se debe seguir investigando sobre los factores que afectan a la solución en la preservación de *guadua angustifolia* Kunth, como por ejemplo estudiar sobre los factores que estén incidiendo en el aumento de la conductividad a través del tiempo después de varias inmersiones.
- Aunque en este trabajo se expuso una serie de pasos teóricos para ajustar la concentración de la solución, es necesario ratificarlo mediante un experimento que permita comprobar la validez del método o establecer uno que dé mejores resultados.

## Bibliografía

- [1]. MARTINEZ, Héctor. (2005). La cadena de la guadua. Una mirada global de su estructura y dinámica. Bogotá – Colombia. 26p.
- [2]. ROJAS, Rafael. (2003). Preservación de la guadua. Universidad San Buenaventura. Cali – Colombia. 10p.
- [3]. PÉREZ, Carolina. (2003). La cadena de la guadua en Colombia. Bogotá – Colombia. 28p.
- [4]. VELEZ., Simón. La guadua angustifolia “bambú colombiano”. [En línea]. Consultado junio 2012. En: <http://www.tdx.cat>
- [5]. MONTOYA, Jorge Augusto. (2008). Evaluación de métodos para la preservación de la *guadua angustifolia* Kunth. Scientia Et Technica, vol XIV, Núm. 38, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira – Colombia 5p.
- [6]. CRUZ, Hormilson. (1994). La guadua: nuestro bambú. FUDEGRAF. Armenia-Colombia. 291p.
- [7]. MEJIA, Lucia. Unidad de manejo forestal N° 006. (2006). 120p
- [8]. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE MEDITACIÓN. Bambú en bosque de Paz. [En línea]. Consultado julio 2013. En: [http://www.bospas.org/bospas/index.php?option=com\\_content&task=view&id=63&Itemid=104](http://www.bospas.org/bospas/index.php?option=com_content&task=view&id=63&Itemid=104)
- [9]. CASTAÑO, Francisco. (2004). Guadua para todos. Proyecto manejo sostenible de bosques de Colombia. Panamericana formas en impresos S.A. Bogotá – Colombia. 188p.
- [10]. MONROY, Melina (2006). Tratamiento químico de cuatro especies de bambú para su preservación, utilizando ácido bórico bórax- dicromato de sodio por el método de inmersión y baño caliente-frío. Universidad de San Carlos. Guatemala. 99p.
- [11]. LONDOÑO, X., CAMaAYO G., RIAÑO, N., y LÓPEZ Y. Caracterización anatómica del culmo de *guadua angustifolia* Kunth (Poaceae – Bambusoideae). Colombia. 12p

- [12]. LIESE, Walter. (1998). The Anatomy of Bamboo Culms. Simposio internacional de guadua. Cartagena - Colombia. 204 p.
- [13]. CORDOBA, Ketty. (2009). Resistencia natural de *guadua angustifolia* Kunth al ataque de hongo ligninolíticos como alternativa hacia nuevas posibilidades de uso. Pontificia Universidad Javeriana. Bogota - Colombia. 97 p.
- [14]. LONDOÑO, Ximena. (2002). Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. Bogotá- Colombia. [En línea]. Consultado julio 2013. En <<http://www.hof-landlust.de/scb/taller.html>>
- [15]. CASTRILLÓN, Brigitte. (2004). Procedimientos de ensayo para la determinación de las propiedades físico mecánicas de la guadua. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia. 110p.
- [16]. GIORDANELLI, Pablo. (2011). Sistema inmersor de guadua para pequeños y medianos cultivos que utilicen el proceso de curado en piscinas de sales. Pereira – Colombia. 49p.
- [17]. Marco teórico y propiedades de la guadua. [En línea]. Consultado junio 2012. En:< <http://www.guadua.biz/documentos/tesis/01.pdf>>
- [18]. MORALES, Tito. (2006). Evaluación y ajuste del proceso de preservación de guadua por inmersión. Scienta Et Technica, vol XII, Núm. 32, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira - Colombia 5p.
- [19]. Tratamiento de la madera. *Guadua angustifolia* Kunth, un hierro verde. [En línea]. Consultado junio 2013. En: <<http://web.catie.ac.cr/guadua/tratamien.htm>>
- [20]. HIDALGO, Oscar. Manual de construcción con bambú. Estudios técnicos colombianos Ltda.- Editores. Universidad Nacional de Colombia, centro de investigaciones de bambú y madera CIBAM. Bogotá – Colombia. 87p.
- [21]. MONTROYA, Jorge Augusto. (2005). Técnicas de preservación de la guadua. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [22]. BURGOS, Amarilis. (2003). Revisión de las técnicas de preservación del bambú. Mérida – Venezuela. 10p.

- [23]. CONTRERAS, Jaime. Inmunización de la guadua. Universidad Nacional de Colombia. [En línea]. Consultado abril 2013. En: <<http://guaduybambu.es.tl/Inmunizacion-de-la-Guadua.htm>>
- [24]. CASABÓ, Jaime. (1996). Estructura atómica y enlace químico. Editorial reverté. Barcelona - España. 397p.
- [25]. Hoja de seguridad. Ácido bórico. [En línea]. Consultado abril 2013. En: <[www.2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/acido\\_bor2ico.pdf](http://www.2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/acido_bor2ico.pdf)>
- [26]. MINERA SANTA RITA. Ficha del producto. Ácido bórico. [En línea]. Consultado 2013. En: <[www.santaritasrl.com/esp/pdf/boric-acid-esp.pdf](http://www.santaritasrl.com/esp/pdf/boric-acid-esp.pdf)>
- [27]. IBÁÑEZ, C., MONTERO, C., SILVA, L., RAVINOVICH, M., ESCUDERO, R. y FRANCO, J. (2012). Preservación de madera tratada con Zn y Mn y efectividad de tratamiento antilixiviante con bórax. Maderas, ciencia y tecnología, Vol XIV. Núm. 2. [En línea]. Consultado abril 2013. En: <[www.scielo.cl/pdf/maderas/v14n2/art04.pdf](http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v14n2/art04.pdf)>
- [28]. COLDWELL, Michelle. El bórax versus el ácido bórico. [En línea]. Consultado abril 2013. En: <[http://www.ehowenespanol.com/borax-versus-acido-borico-sobre\\_165839/](http://www.ehowenespanol.com/borax-versus-acido-borico-sobre_165839/)>
- [29]. MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL. Fichas internacionales de seguridad química. España. [En línea]. Consultado abril 2013. En: <[www.insht.es](http://www.insht.es)>
- [30]. Bórax (sodium tetraborate  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). [En línea]. Consultado abril 2013. En: <[www.tutorialz360.com](http://www.tutorialz360.com)>
- [31]. SKOOG, Douglas. (2005). Fundamentos de química analítica. 8 Edición Cengage Learning Editores, S.A. de C.V. México 1065 p.
- [32]. CASTRO, Federmán. (2011). Análisis instrumental. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira – Colombia. 471 p.
- [33]. SKOOG, Douglas. (2001). Principios de análisis instrumental. Edición 5. Editorial. McGraw-Hill. España. 1024p.
- [34]. GÓMEZ, Clara. (2010). Conductividad de las disoluciones electrolíticas. 8p.

[35]. Ministerio del medio ambiente, IDEAM. Sistemas de análisis. Análisis de conductividad. Colombia. 7p.

[36]. Ministerio de la salud. Guía de validación de métodos analíticos. [En línea]. Consultado en septiembre. En:

<<http://www.ministeriodesalud.go.cr/empresas/protocolos/guiavalidacionmetodosanaliticos.pdf>>

[37]. CASTAÑO, A., y VELEZ, L.,. (2012). Validación de la metodología para el análisis de los metales cadmio y plomo en agua tratada por absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la universidad tecnológica de Pereira. Pereira. 113p.

[38]. MILLER, N., y MILLER J., (2002). Estadística y quimiometría para química analítica. Cuarta edición. Editorial Prentice Hall. España. 286p.

[39]. CABERON, T., QUINTÍN, M., y SANTANA, Y. (2008). Tratamiento estadístico de datos con SPSS. Thomson Editores. España. 450p.

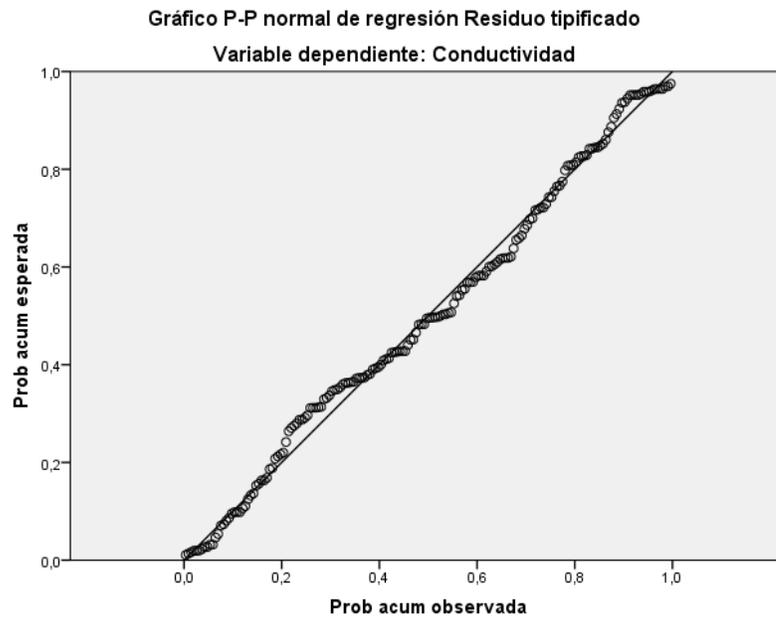
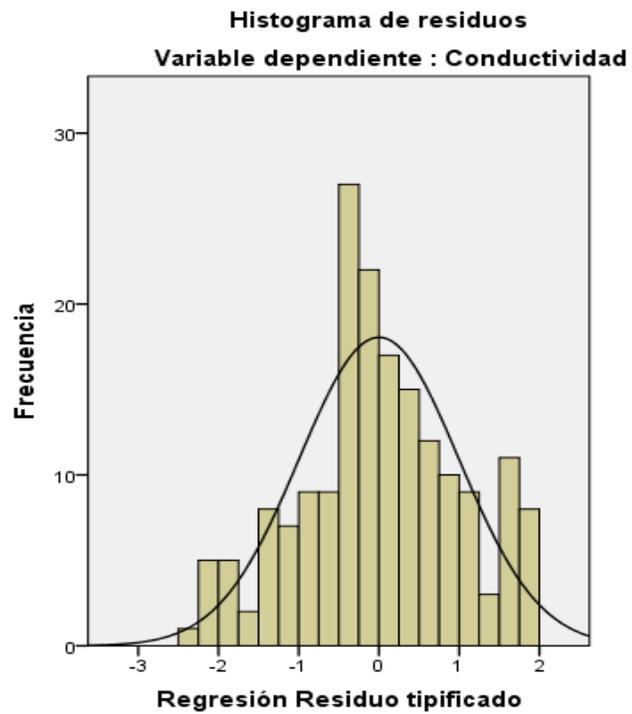
[40]. MONTGOMERY, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Segunda edición. Editorial Limusa wiley. México. 692p.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Estadísticos descriptivos para el experimento 1

Concentración %m/V	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
<b>Conductividad (mS)</b>	3	24	4,395	0,062	0,012	4,368	4,421
	4	24	5,514	0,079	0,016	5,481	5,548
	5	24	6,514	0,068	0,014	6,485	6,543
	6	24	7,563	0,070	0,014	7,533	7,592
	7	24	8,378	0,122	0,025	8,327	8,429
	8	15	10,130	0,026	0,006	10,120	10,148
	9	15	10,886	0,085	0,022	10,840	10,933
	10	15	11,706	0,078	0,020	11,663	11,749
	11	15	12,686	0,193	0,050	12,579	12,793
	<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>8,099</b>	<b>2,642</b>	<b>0,197</b>	<b>7,711</b>	<b>8,488</b>
	<b>pH</b>	3	24	8,083	0,029	0,006	8,071
4		24	7,971	0,032	0,006	7,957	7,985
5		24	7,869	0,026	0,005	7,858	7,880
6		24	7,770	0,028	0,006	7,758	7,782
7		24	7,667	0,023	0,005	7,657	7,677
8		15	7,572	0,008	0,002	7,567	7,577
9		15	7,492	0,004	0,001	7,489	7,494
10		15	7,418	0,006	0,002	7,415	7,422
11		15	7,335	0,012	0,003	7,328	7,342
<b>Total</b>		<b>180</b>	<b>7,733</b>	<b>0,237</b>	<b>0,017</b>	<b>7,698</b>	<b>7,768</b>

**ANEXO 2:** Supuestos de regresión lineal para el modelo 1, experimento 1



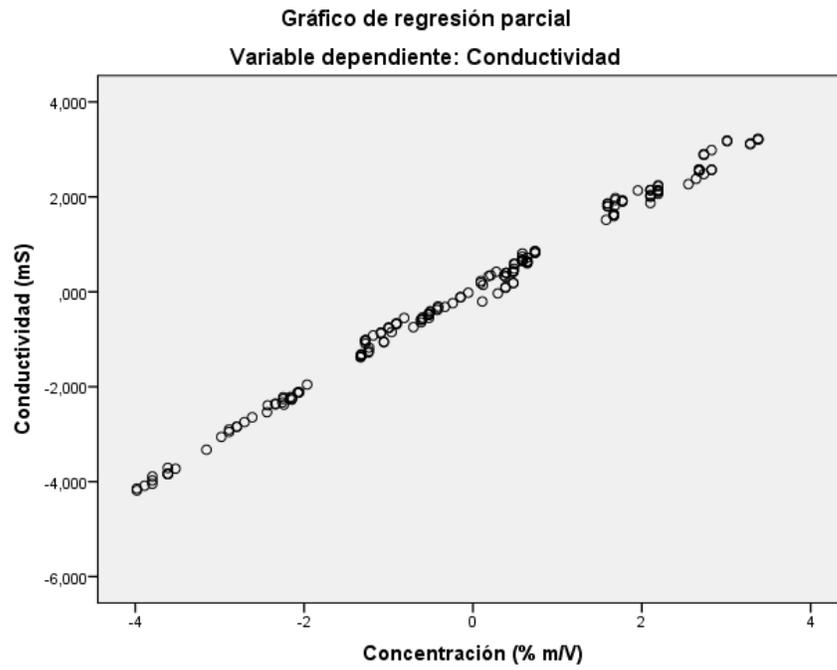
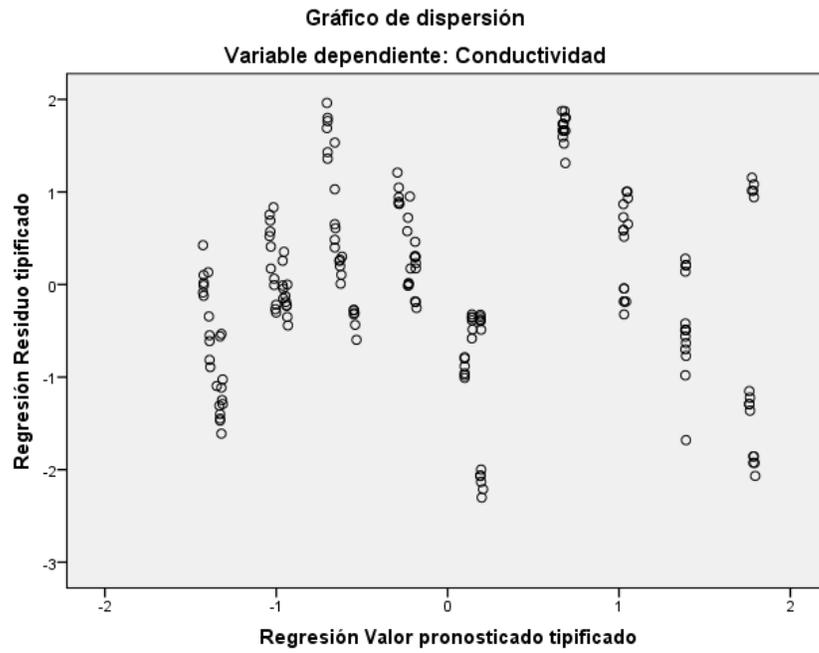
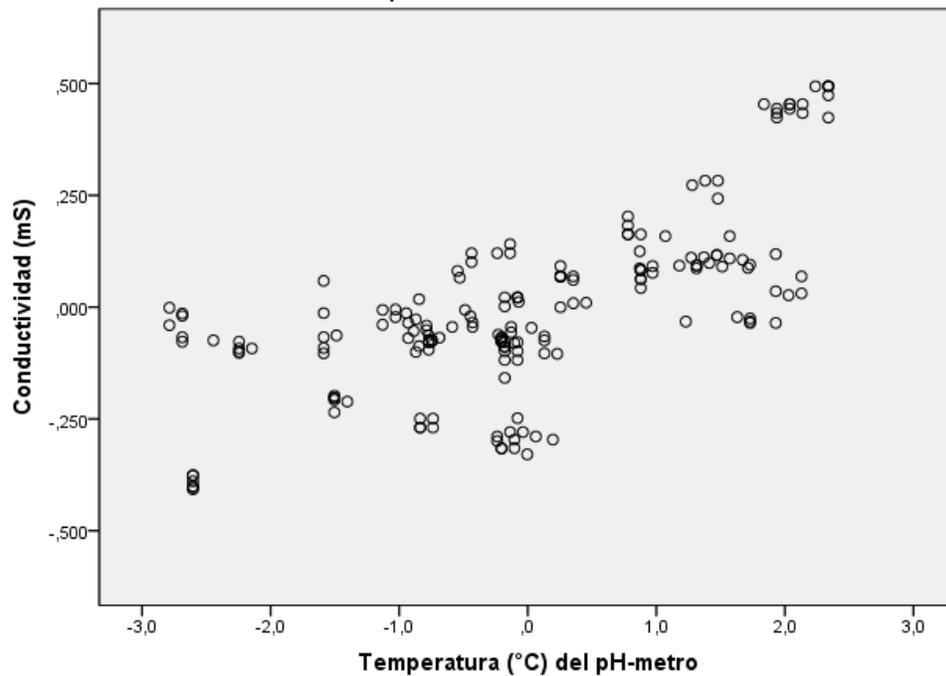
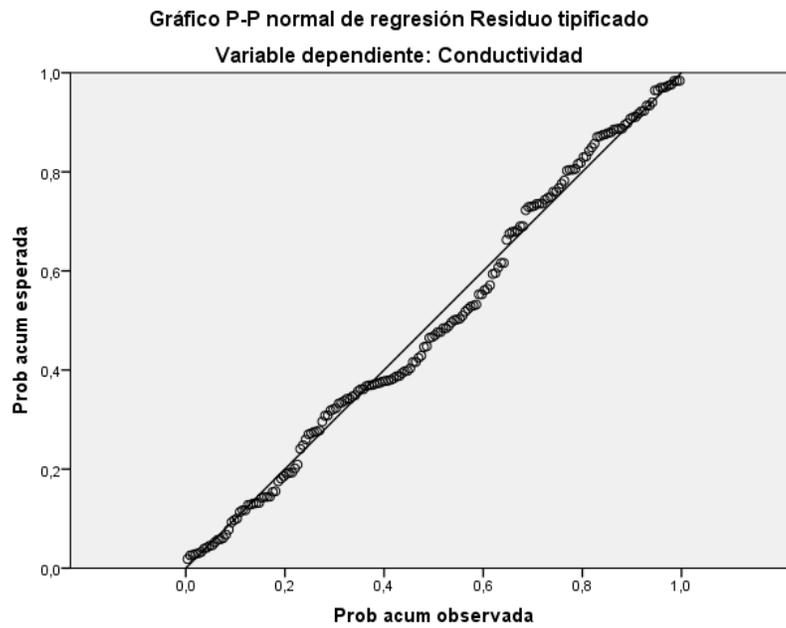
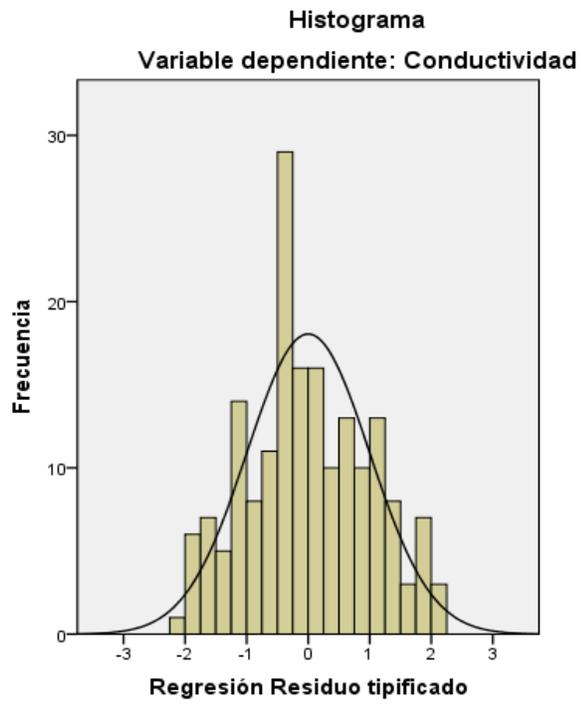


Gráfico de regresión parcial  
Variable dependiente: Conductividad



**ANEXO 3:** Supuestos del modelo 2, experimento 1.



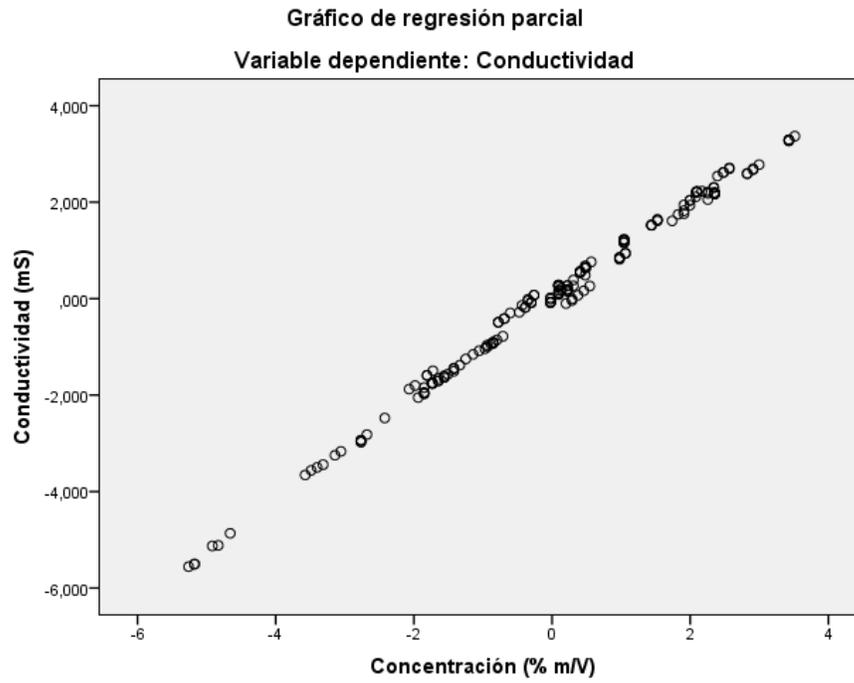
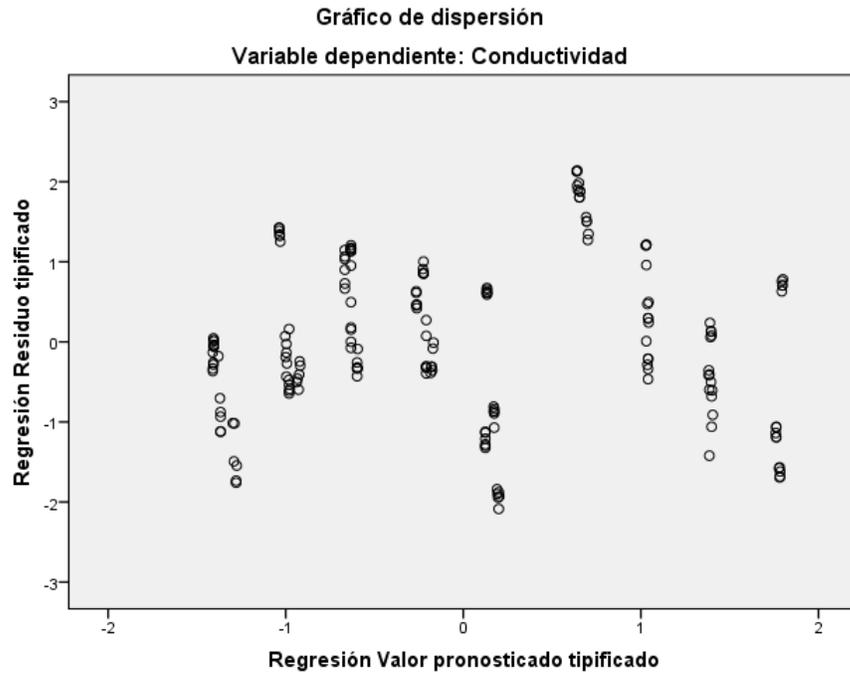
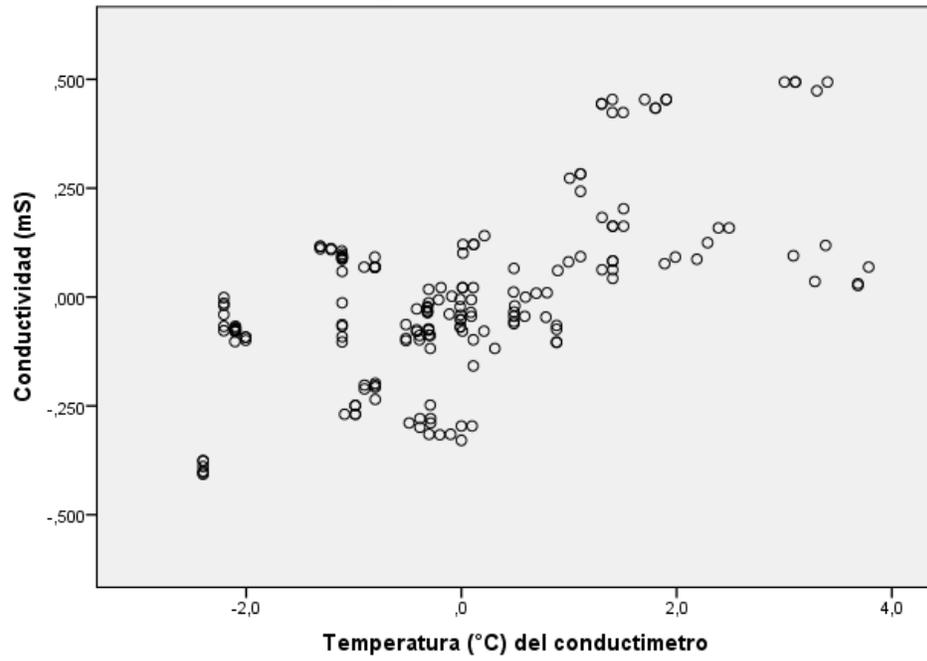


Gráfico de regresión parcial  
Variable dependiente: Conductividad



**ANEXO 4: Supuestos de regresión lineal para el modelo 3, experimento 1**

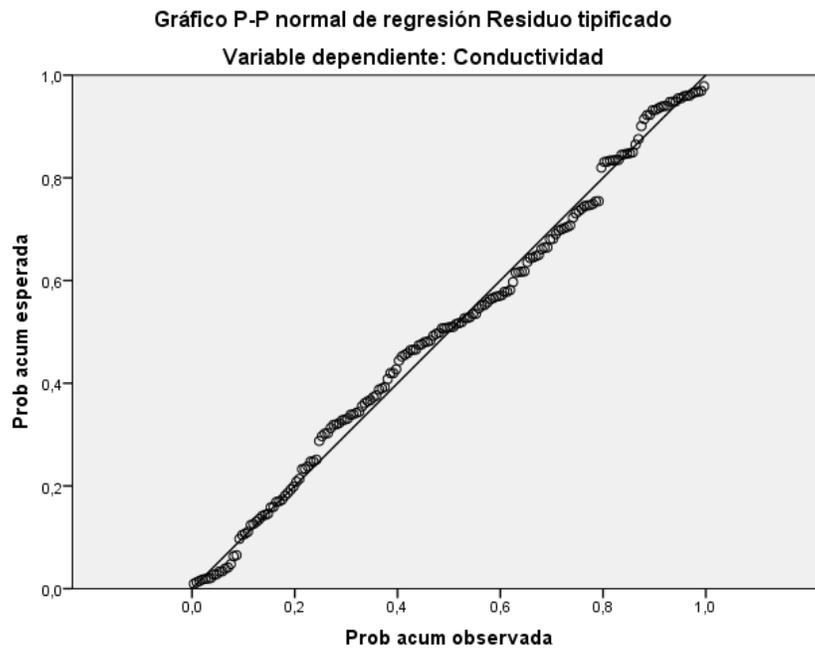
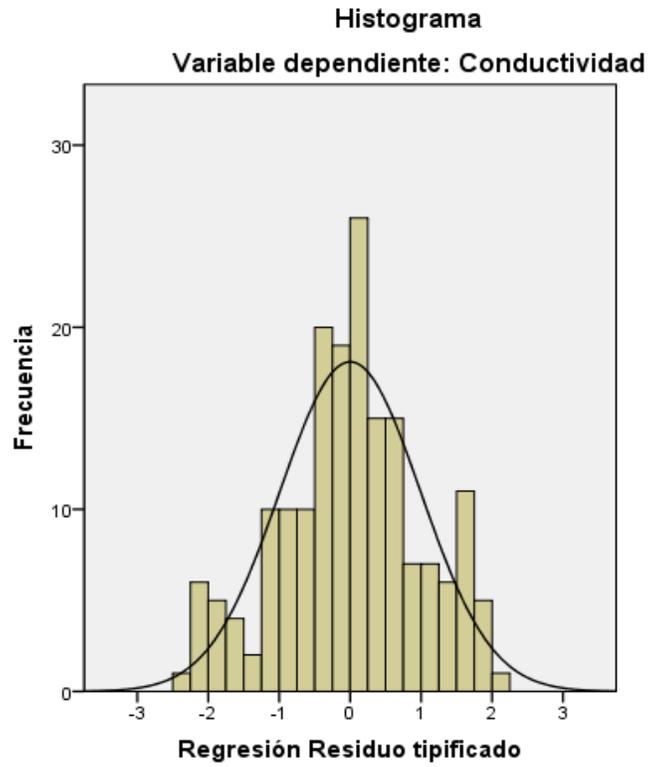


Gráfico de dispersión  
Variable dependiente: Conductividad

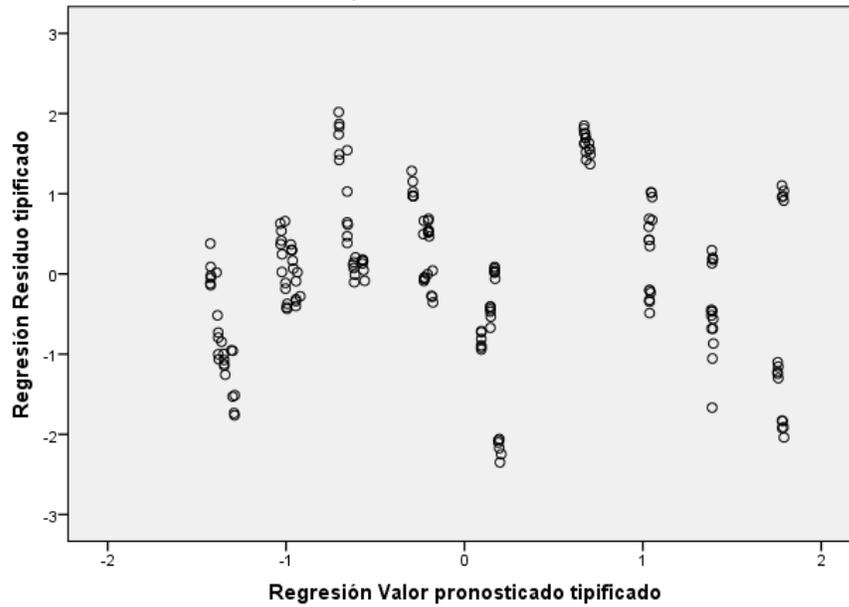


Gráfico de regresión parcial  
Variable dependiente: Conductividad

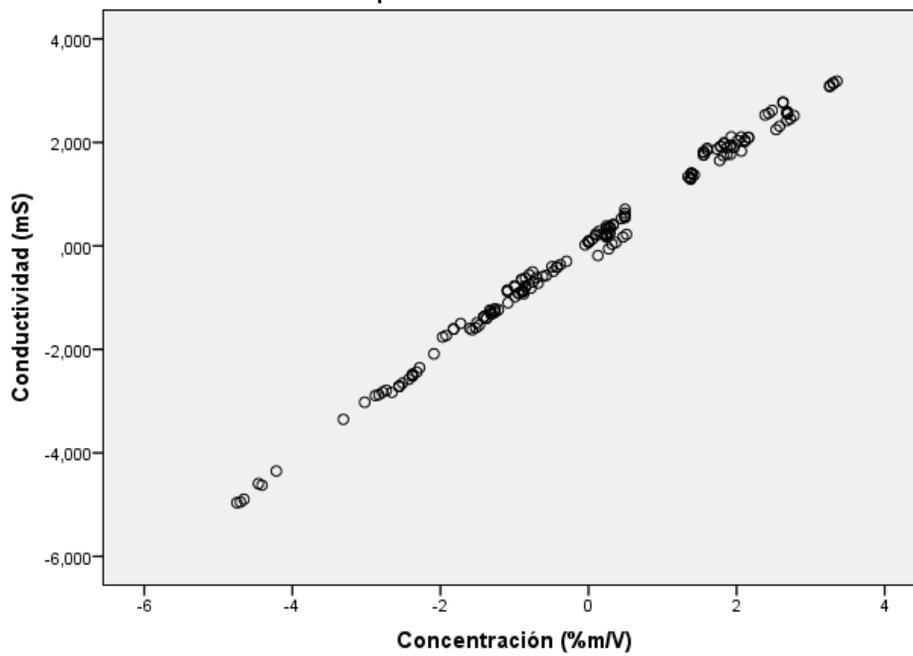


Gráfico de regresión parcial  
Variable dependiente: Conductividad

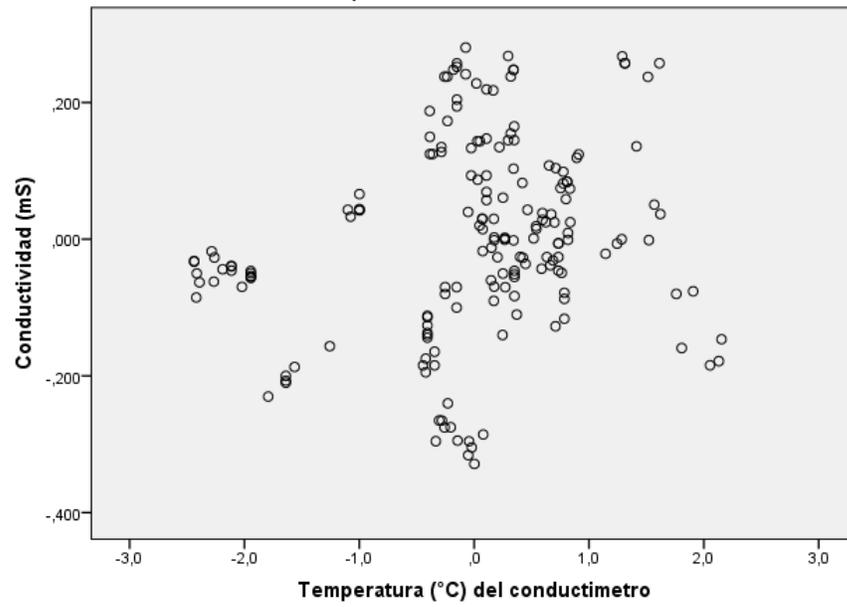
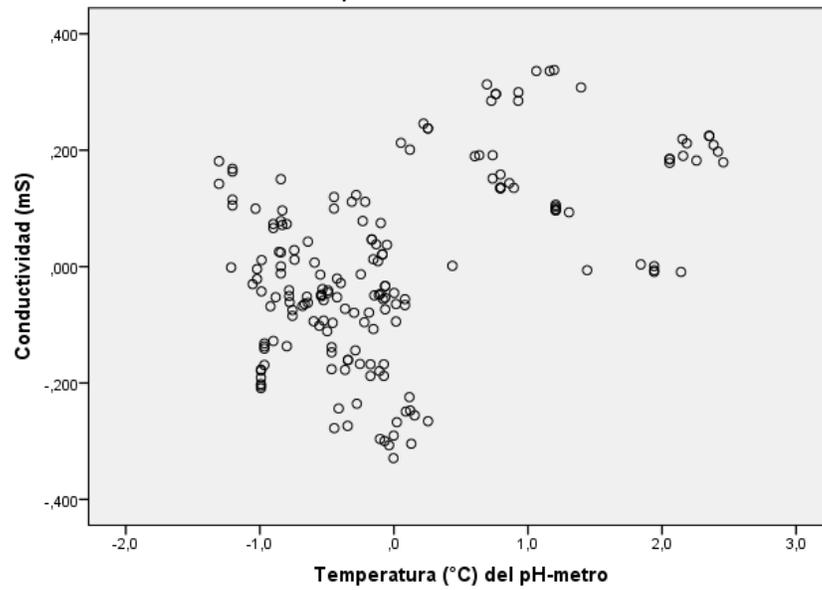
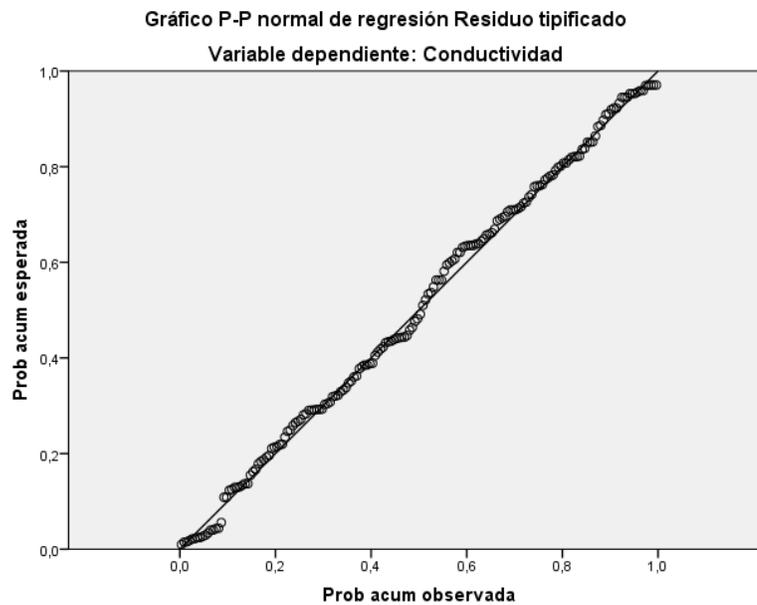
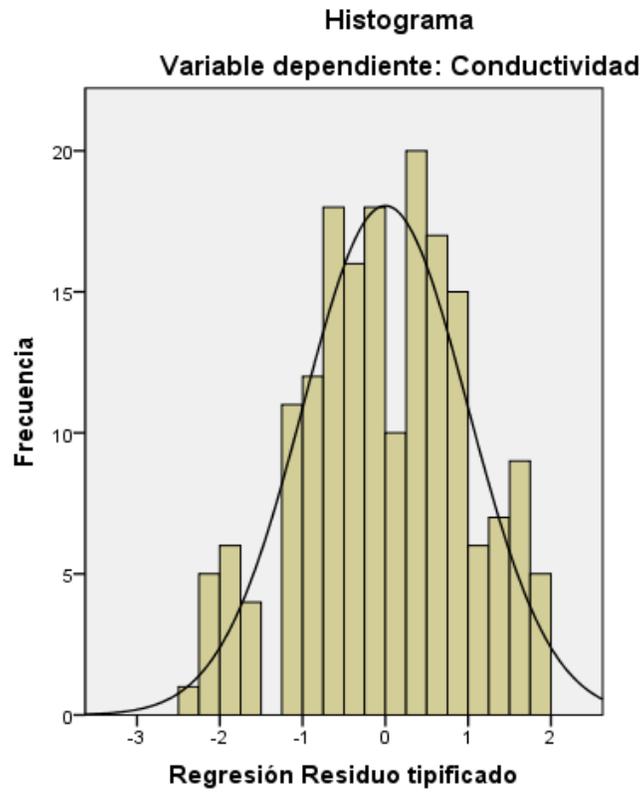


Gráfico de regresión parcial  
Variable dependiente: Conductividad



**ANEXO 5:** Supuestos de regresión lineal para el modelo 4, experimento 1.



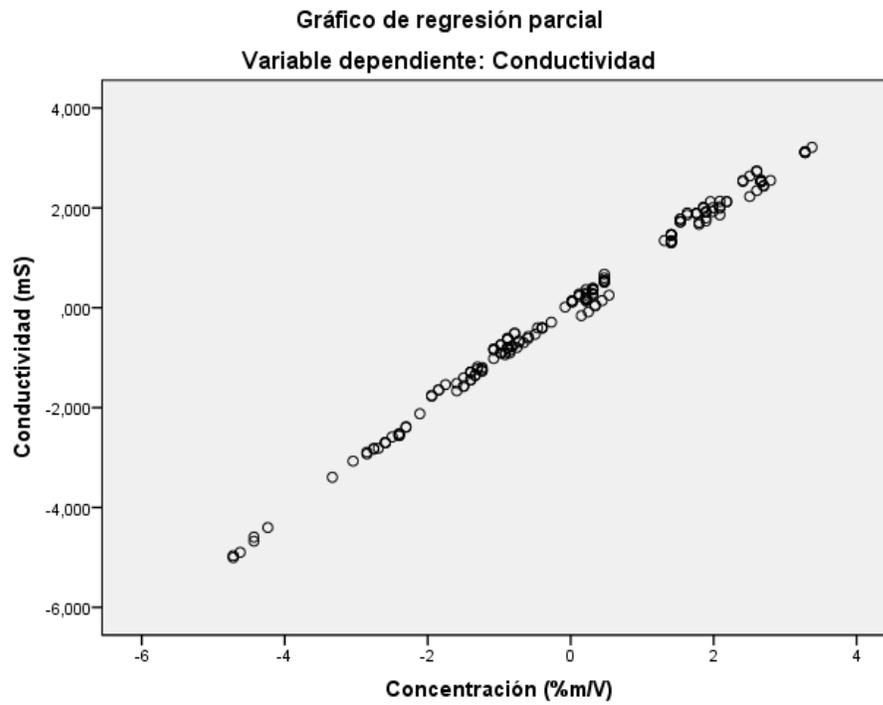
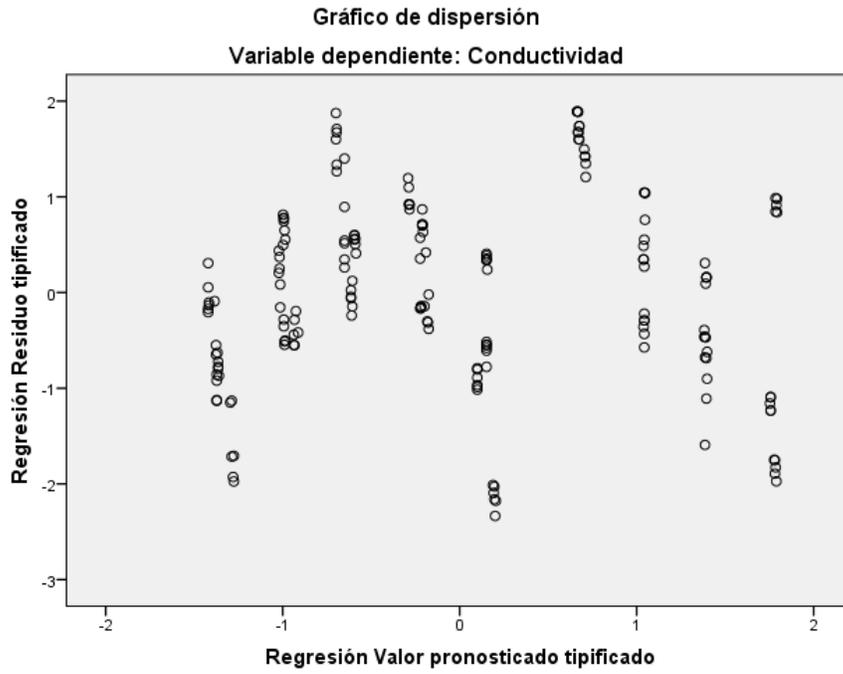
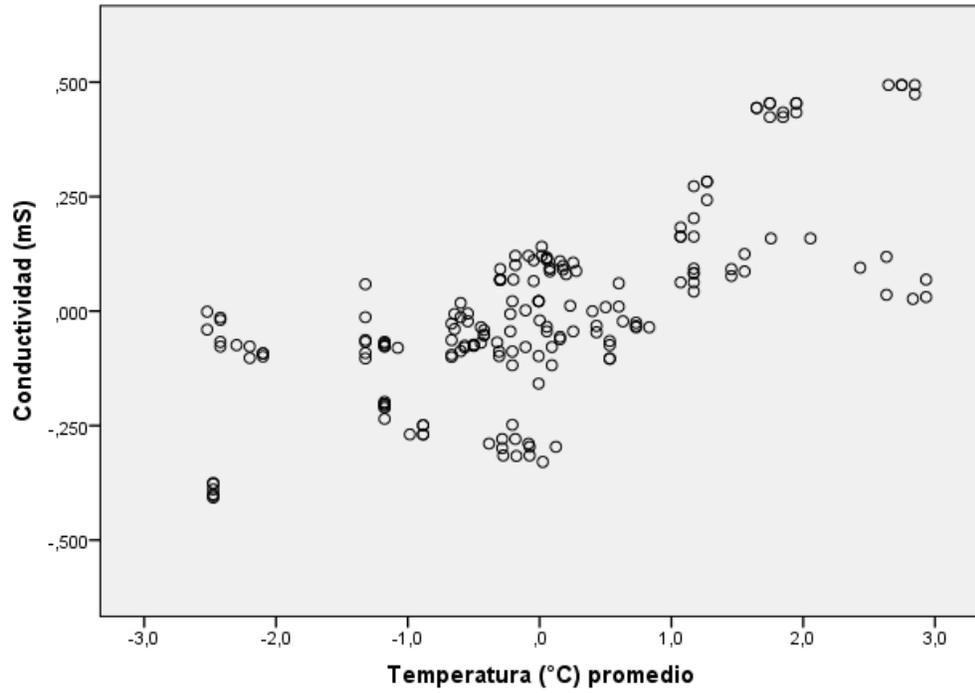


Gráfico de regresión parcial  
Variable dependiente: Conductividad



**ANEXO 6:** Concentraciones halladas con los modelos predictivos

% m/V	Modelo	$\sigma$	TpH	TC	CTpH	CTC	K	CC	%m/V
3%	1	4,395	23,3	23,2	0,101	0,000	-0,874	1,005	2,901
	2	4,395	23,3	23,2	0,000	0,083	-0,452	1,010	2,893
	3	4,395	23,3	23,2	0,078	0,030	-1,013	1,000	2,895
	4*	4,395	23,2		0,106		-0,965	1,000	2,901
4%	1	5,515	23,3	23,2	0,101	0,000	-0,874	1,005	4,015
	2	5,515	23,3	23,2	0,000	0,083	-0,452	1,010	4,001
	3	5,515	23,3	23,2	0,078	0,030	-1,013	1,000	4,014
	4*	5,515	23,2		0,106		-0,965	1,000	4,020
5%	1	6,514	22,6	22,2	0,101	0,000	-0,874	1,005	5,080
	2	6,514	22,6	22,2	0,000	0,083	-0,452	1,010	5,073
	3	6,514	22,6	22,2	0,078	0,030	-1,013	1,000	5,099
	4*	6,514	22,4		0,106		-0,965	1,000	5,105
6%	1	7,563	23,3	23,2	0,101	0,000	-0,874	1,005	6,053
	2	7,563	23,3	23,2	0,000	0,083	-0,452	1,010	6,029
	3	7,563	23,3	23,2	0,078	0,030	-1,013	1,000	6,063
	4*	7,563	23,2		0,106		-0,965	1,000	6,069
7%	1	8,378	23,3	22,9	0,101	0,000	-0,874	1,005	6,865
	2	8,378	23,3	22,9	0,000	0,083	-0,452	1,010	6,861
	3	8,378	23,3	22,9	0,078	0,030	-1,013	1,000	6,887
	4*	8,378	23,1		0,106		-0,965	1,000	6,895
8%	1	10,134	27,0	26,9	0,101	0,000	-0,874	1,005	8,240
	2	10,134	27,0	26,9	0,000	0,083	-0,452	1,010	8,271
	3	10,134	27,0	26,9	0,078	0,030	-1,013	1,000	8,234
	4*	10,134	27,0		0,106		-0,965	1,000	8,237
9%	1	10,886	26,3	26,6	0,101	0,000	-0,874	1,005	9,058
	2	10,886	26,3	26,6	0,000	0,083	-0,452	1,010	9,040
	3	10,886	26,3	26,6	0,078	0,030	-1,013	1,000	9,050
	4*	10,886	26,5		0,106		-0,965	1,000	9,042
10%	1	11,706	25,6	25,7	0,101	0,000	-0,874	1,005	9,945
	2	11,706	25,6	25,7	0,000	0,083	-0,452	1,010	9,926
	3	11,706	25,6	25,7	0,078	0,030	-1,013	1,000	9,951
	4*	11,706	25,7		0,106		-0,965	1,000	9,947
11%	1	12,687	25,8	25,9	0,101	0,000	-0,874	1,005	10,901
	2	12,687	25,8	25,9	0,000	0,083	-0,452	1,010	10,880
	3	12,687	25,8	25,9	0,078	0,030	-1,013	1,000	10,911
	4*	12,687	25,9		0,106		-0,965	1,000	10,907

\*La temperatura es el promedio entre las temperaturas registradas.

**ANEXO 7 : Prueba de Mann Whitney para los datos de las inmersiones**

<b>Prueba de Mann Whitney</b>					
<b>Conductividad</b>			<b>pH</b>		
<b>Comparaciones i-j</b>		<b>Sig.</b>	<b>comparaciones i-j</b>		<b>Sig.</b>
<b>i</b>	<b>j</b>		<b>i</b>	<b>j</b>	
0	1	0,000	0	1	0,000
	2	0,000		2	0,000
	3	0,000		3	0,000
	4	0,000		4	0,000
	5	0,000		5	0,012
	6	0,000		6	0,000
	7	0,000		7	0,000
	8	0,000		8	0,000
1	2	0,000	1	2	0,000
	3	0,000		3	0,000
	4	0,195		4	0,007
	5	0,000		5	0,000
	6	0,000		6	0,000
	7	0,000		7	0,000
	8	0,000		8	0,000
2	3	0,734	2	3	0,000
	4	0,000		4	0,000
	5	0,000		5	0,000
	6	0,000		6	0,000
	7	0,000		7	0,000
	8	0,000		8	0,000
3	4	0,000	3	4	0,000
	5	0,000		5	0,000
	6	0,000		6	0,000
	7	0,000		7	0,000
	8	0,000		8	0,000
4	5	0,005	4	5	0,000
	6	0,000		6	0,000
	7	0,000		7	0,000
	8	0,000		8	0,000
5	6	0,021	5	6	0,000
	7	0,000		7	0,000
	8	0,000		8	0,000
6	7	0,000	6	7	0,000
	8	0,000		8	0,000
7	8	0,157	7	8	0,941

