



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE SOL DE SÍLICE ( $H_2SiO_3$ ), UTILIZANDO  
SILICATO DE SODIO ( $Na_2SiO_3$ ) CON ÁCIDO SULFÚRICO ( $H_2SO_4$ ),  
PARA LA INDUSTRIA DE LA CURTIEMBRE.”**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: TERESA ELIZABETH LEMA MACAS**

**DIRECTOR: ING. CÉSAR ARTURO PUENTE GUIJARRO. PhD**

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Teresa Elizabeth Lema Macas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Teresa Elizabeth Lema Macas, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo del 2021

**Teresa Elizabeth Lema Macas**  
**060486451-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Proyecto de Investigación, OBTENCIÓN DE SOL DE SÍLICE ( $H_2SiO_3$ ), UTILIZANDO SILICATO DE SODIO ( $Na_2SiO_3$ ) CON ÁCIDO SULFÚRICO ( $H_2SO_4$ ), PARA LA INDUSTRIA DE LA CURTIEMBRE.”, realizado por la señorita: TERESA ELIZABETH LEMA MACAS, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-05-13
Ing. César Arturo Puente Guijarro. PhD <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021-05-13
Ing. Johanna Enith Aguilar Reyes <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-05-13

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	v
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE GRÁFICOS.....	xii
INDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
CAPITULO I .....	4
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación .....	4
1.2 Marco teórico .....	5
1.2.1 Piel .....	5
1.2.2.1 Principales tipos de piel .....	5
1.2.3 División superficial de la piel.....	6
1.2.3.1 El crupón. ....	6
1.2.3.2 Cuello .....	7
1.2.3.3 Faldas.....	7
1.2.4 Operaciones del proceso de curtición.....	8
1.2.5 Curtición.....	9
1.2.2 Curtición Mineral.....	9

1.2.3 Curtición Vegetal .....	10
1.2.4 Curtición con Silicato de sodio .....	10
1.2.4.1 Silicato de Sodio.....	10
1.2.4.1 Sol de sílice .....	11
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>12</b>
<b>2. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Tipos y diseños de investigación.....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Tipos de investigación .....	12
2.1.1.1 Investigación explicativa:.....	12
2.1.1.2 Investigación experimental:.....	12
2.1.1.3 Método Inductivo.....	12
<b>2.2 Enfoque de la investigación.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Identificación de las variables .....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Variables Dependientes.....	13
2.3.2 Variables Independiente .....	13
<b>2.4 Operacionalización de las variables.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Matriz de consistencia .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Diseño de la investigación .....</b>	<b>18</b>
<b>2.7 Unidad de Análisis.....</b>	<b>19</b>
<b>2.8 Población de Estudio (muestra) .....</b>	<b>19</b>
<b>2.9 Tamaño de Muestra .....</b>	<b>19</b>
<b>2.10 Selección de muestra .....</b>	<b>19</b>
<b>2.11 Técnicas de recolección de datos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.12 Procedimiento experimental .....</b>	<b>20</b>
2.12.1 Obtención de sol de sílice .....	20

2.12.2 Proceso de curtición.....	21
2.12.2.1 Remojo.....	21
2.12.2.2 Pelambre y Calero.....	22
2.12.2.3 Desencalado y Rendido .....	22
2.12.2.4 Piquelado.....	22
2.12.2.5 Curtido.....	22
2.12.2.6 Neutralizado.....	23
2.12.2.7 Re-curtido .....	23
2.12.2.8 Tinturado y engrase.....	24
2.12.2.9 Secado, estacado y recortado .....	24
2.12.2.10 Operaciones de acabado.....	24
2.12.3 Pruebas de calidad.....	24
2.12.3.1 Resistencia a la tensión.....	24
2.12.3.2 Porcentaje de elongación .....	26
2.12.3.3 Porcentaje de contracción .....	27
2.12.3.4 Abrasión al frote en seco .....	27
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>29</b>
<b>3, MARCO DE RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Resultados de obtención de sol de sílice .....</b>	<b>29</b>
3.1.1 Influencia del pH.....	29
3.1.2 Espectros Infrarrojos .....	33
Figura 4-3: Espectro infrarrojo de sal de cromo comercial utilizada para la curtición.....	35
3.1.4 Efecto de la temperatura de operación .....	35
<b>3.2 Resultados de prueba de calidad del cuero.....</b>	<b>36</b>
3.2.1. Resistencia a la tensión .....	36

3.2.1.1 Comparación T1-T3 .....	37
3.2.1.2 Comparación T2-T3 .....	39
3.2.2 Porcentaje de elongación .....	41
3.2.2.1 Comparación T1-T3 .....	42
3.2.2.2 Comparación T2-T3 .....	44
3.2.3 Porcentaje de contracción.....	46
3.2.3.1 Comparación T1-T3 .....	47
3.2.3.2 Comparación T2-T3 .....	49
3.2.3. Resultados prueba de abrasión al frote en seco .....	51
<b>3.3 Análisis de Costo .....</b>	<b>53</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Operacionalización de variables Independientes. ....	14
<b>Tabla 2-2:</b> Operacionalización de variables Dependientes.....	15
<b>Tabla 3-2:</b> Matriz de consistencia .....	16
<b>Tabla 4-2:</b> Características del silicato .....	20
<b>Tabla 5-2:</b> Proporciones de mezcla silicato/agua para diluciones.....	20
<b>Tabla 6-2:</b> Proporción de ácido sulfúrico/agua para dilución.....	21
<b>Tabla 7-2:</b> Escala de calificación para resistencia a la abrasión .....	28
<b>Tabla 1-3:</b> Influencia del pH sobre estado físico de la sol muestra 1/4.....	30
<b>Tabla 2-3:</b> Influencia del pH en el estado físico de la sol muestra 1/5.....	31
<b>Tabla 3-3:</b> Influencia del pH sobre el estado físico de la sol muestra 1/6.....	32
<b>Tabla 4-3:</b> Efecto de la temperatura de operación .....	36
<b>Tabla 5-3:</b> Resultados de la resistencia a la tensión.....	36
<b>Tabla 6-3:</b> Resultados de la prueba ANOVA para comparación T1-T3 .....	37
<b>Tabla 7-3:</b> Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%.....	38
<b>Tabla 8-3:</b> Prueba de múltiples rangos para comparación T1-T3.....	39
<b>Tabla 9-3:</b> Resultados de la prueba ANOVA para comparación T2-T3 .....	39
<b>Tabla 10-3:</b> Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0% T2-T3.....	40
<b>Tabla 11-3:</b> Prueba de múltiples rangos para comparación T2-T3 .....	41
<b>Tabla 12-3:</b> Resultados para la prueba Porcentaje de elongación.....	41
<b>Tabla 13-3:</b> Tabla ANOVA comparación T1-T3 porcentaje de elongación. ....	42
<b>Tabla 14-3:</b> Tabla de Medias para porcentaje de elongación T1-T3 .....	43
<b>Tabla 15-3:</b> Prueba de múltiples rangos de porcentaje de elongación T1-T3 .....	44
<b>Tabla 16-3:</b> Tabla ANOVA porcentaje de elongación comparación T2-T3 .....	44
<b>Tabla 17-3:</b> Tabla de medias de porcentaje de elongación T2-T3.....	45
<b>Tabla 18-3:</b> Tabla de múltiples rangos de porcentaje de elongación T2-T3 .....	46

<b>Tabla 19-3:</b> Resultados porcentaje de contracción a 90 °C. ....	46
<b>Tabla 20-3:</b> Tabla ANOVA porcentaje de contracción T1-T3 .....	47
<b>Tabla 21-3:</b> Tabla de medias para porcentaje de contracción T1-T3 .....	48
<b>Tabla 22-3:</b> Prueba de múltiples rangos porcentaje de contracción T1-T3 .....	49
<b>Tabla 23-3:</b> Tabla ANOVA porcentaje de contracción T2-T3 .....	49
<b>Tabla 24-3:</b> Tabla de medias porcentaje de contracción T2-T3 .....	50
<b>Tabla 25-3:</b> Prueba de múltiples rangos de porcentaje de contracción T2-T3 .....	51
<b>Tabla 26-3:</b> Resultados Prueba Abrasión al Frote Seco .....	51
<b>Tabla 27-3:</b> Tabla ANOVA de abrasión al frote en seco. ....	52
<b>Tabla 28-3:</b> Prueba de Kruskal-Wallis .....	53
<b>Tabla 29-3:</b> Costos del proceso de Curtido .....	54
<b>Tabla 30-3:</b> Costos de proceso de re-curtido y tintura y engrase.....	55

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> División de la superficie de la piel .....	6
<b>Figura 2-1:</b> Diagrama del proceso .....	8
<b>Figura 1-2</b> Diseño de la Investigación .....	18
<b>Figura 1-3:</b> Espectro Infrarrojo de la sol obtenida a partir de la muestra $\frac{1}{4}$ y sal de cromo .....	33
<b>Figura 2-3:</b> Espectro Infrarrojo de la sol obtenida a partir de la muestra $\frac{1}{5}$ y sal de cromo .....	34
<b>Figura 3-3:</b> Espectro Infrarrojo de la sol obtenida a partir de la muestra $\frac{1}{6}$ y sal de cromo .....	34
<b>Figura 4-3:</b> Espectro infrarrojo de sal de cromo comercial utilizada para la curtición. ....	35

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico 1-3:</b> Grafico de medias comparación T1-T3.....	38
<b>Grafico 2-3:</b> grafico de medias comparación T2-T3.....	40
<b>Grafico 3-3:</b> Grafico de medias de porcentaje de elongación T1-T3.....	43
<b>Grafico 4-3:</b> Grafico de medias de porcentaje de elongación T2-T3.....	45
<b>Grafico 5-3:</b> Grafico de medias de porcentaje de contracción T1-T3 .....	48
<b>Grafico 6-3:</b> Grafico de medias porcentaje de contracción T2-T3 .....	50

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Descripción del proceso de pelambre en las pieles caprinas

**ANEXO B:** Descripción del proceso de curtición de las pieles caprinos con el 15% sol de sílice en proporción de 1/4.

**ANEXO C:** Descripción del proceso de curtición de las pieles caprinos con el 15% sol de sílice en proporción de 1/5.

**ANEXO D:** Descripción del proceso de re – curtición y neutralización de las pieles caprinos con el 15% sol de sílice.

**ANEXO E:** Pruebas de calidad del cuero físico-mecánicas.

**ANEXO F:** Reactivos utilizados para la obtención de la sol de sílice.

**Anexo G:** Estado físico de las soluciones a diferentes pH

**Anexo H:** Efecto de la temperatura de operación.

**ANEXO I:** Proceso de obtención de los cueros.

**ANEXO J:** Equipo de espectrometría infrarroja.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo sintetizar la sol de sílice a partir de la acidificación de ácido sulfúrico más silicato de sodio. Para lograr esto se preparó tres soluciones de silicato de sodio a diferentes concentraciones, estos se mezclaron con una solución de ácido sulfúrico diluida al 17%, hasta obtener una suspensión coloidal blanquecina. Se determinó el pH, de las soluciones finales obtenidas. Posteriormente se realizaron pruebas a diferentes temperaturas para encontrar la influencia de esta sobre el proceso, las suspensiones coloidales obtenidas, así como el gel formado fueron analizados en un espectrofotómetro infrarrojo, para comparar los grupos funcionales que presentan frente a los grupos funcionales que presenta una sal de cromo convencional. Finalmente se realizaron pruebas de curtición con la sol de sílice obtenida más un aldehído donde se analizaron los parámetros de calidad típico de un cuero que son: abrasión al frote en seco, porcentaje de elongación, contracción a la temperatura y resistencia a la tensión, estos resultados fueron comparados con los datos de un cuero curtido con las sales de cromo. Para la comparación se realizaron pruebas estadísticas como la de los rangos múltiples, anova, y determinación de medias. Se obtiene como resultado que el proceso se debe realizar a temperatura ambiente llegando hasta un pH de 2,5, el espectro infrarrojo revela que los grupos funcionales del silicato de sodio son similares a las sales de cromo utilizadas para el proceso de curtición. El análisis estadístico muestra que la sol de sílice obtenida a partir de una solución de 1/5 de silicato de sodio presenta los parámetros de calidad estadísticamente similares a los que se obtienen de una curtición de sales de cromo convencional.

**Palabras clave:** <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <SOL DE SÍLICE>, <CURTICIÓN>, <CALIDAD DEL CUERO>, <ESPECTRO INFRARROJO>, <TEMPERATURA>, <CONCENTRACIONES >

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Financiado digitalmente por IIG  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Rector de la Universidad  
UTP - C.C. - BOGOTÁ,  
COLOMBIA  
CÓDIGO ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.04.05 10:19:06  
-0500



0923-DBRAI-UTP-  
2021

## SUMMARY

The objective of this study was to synthesize silica sol from the acidification of sulfuric acid plus sodium silicate. To achieve this, three sodium silicate solutions were prepared at different concentrations, these were mixed with a 17% dilute sulfuric acid solution, until a whitish colloidal suspension was obtained. The pH of the final solutions obtained was determined. Subsequently, tests were carried out at different temperatures to find the influence of this on the process, the colloidal suspensions obtained, as well as the gel formed were analysed in an infrared spectrophotometer to compare the functional groups that they present versus the functional groups that a conventional chromium salt present. Finally, tanning tests were carried out with the silica sol obtained plus an aldehyde where the typical quality parameters of leather were analysed, which are abrasion to dry rubbing, percentage of elongation, shrinkage at temperature and tensile strength, these results were compared with the data of leather tanned with chromium salts. Statistical tests such as multiple ranges, anova, and determination of means were carried out for comparison. The result is that the process must be carried out at room temperature reaching a pH of 2.5, the infrared spectrum reveals that the functional groups of sodium silicate are like the chromium salts used for the tanning process. Statistical analysis shows that the silica sol obtained from a solution of 1/5 of sodium silicate presents statistically similar quality parameters to those obtained from a conventional chromium salt tanning.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <SILICA SOL>, <CURTITION>, <LEATHER QUALITY>, <INFRARED SPECTRUM>, <TEMPERATURE>, <CONCENTRATIONS>

# INTRODUCCIÓN

## Identificación del Problema

En la actualidad las curtiembres ofertan productos de cuero a base de sales de cromo, representando una gran amenaza al medio ambiente y al ser humano debido a sus efectos nocivos, puesto que el cromo se utiliza en el proceso de curtición en el cual solo se fija una determinada cantidad en la piel y el resto se queda en las aguas residuales, cuando el cromo hexavalente ( $Cr^{6+}$ ), tiene contacto con el suelo esta aumenta los niveles de DBO5 y DQO provocando su desgaste y disminuyendo la producción agrícola.

El cuero curtido con cromo ( $Cr^{3+}$ ) se utiliza en las prendas de vestir, cuando esta cumple con su vida útil es desechado convirtiéndose en basura y estos al ser depositados en los vertederos se oxidan del cromo trivalente ( $Cr^{3+}$ ) al cromo hexavalente ( $Cr^{6+}$ ), generando contaminación ambiental.

Al tener contacto con las personas ocasiona grandes enfermedades ya sea por inhalación, a través de la piel o por ingestión puede ocasionar cáncer e inclusive la muerte según el contacto que tenga con el ser humano.

¿Es posible sustituir a las sales de cromo como agente curtiente de la industria de curtiembre para así evitar los problemas ambientales y de salud las mismas que generan desde el inicio del proceso hasta cumplir con su vida útil?

Es posible combatir esta problemática con la obtención de Sol de Sílice, haciendo reaccionar Silicato de Sodio con Ácido Sulfúrico ya que es una agente curtiente vegetal que no causa afecciones a la salud y es amigable con el medio ambiente.

## **Justificación de la Investigación**

Los avances tecnológicos en la industria han permitido alcanzar un estilo de vida cómodo que ha brindado confort y seguridad a las personas. Como ejemplo de lo anterior se encuentra el desarrollo y avances que se ha producido en la industria del cuero. Dicho desarrollo ha permitido el adquirir y usar prendas de cuero a precios razonables y de alta calidad.

Lamentablemente el aumento en la producción de artículos a base de pieles de animales no solo trae consigo un aumento en el uso de estos, sino que también provoca serios problemas ambientales. Para elaborar los productos a base de cuero es necesario el uso de sales de cromo como agente curtiente, estas sales si son desechadas en aguas residuales al medio ambiente provocan grandes daños al mismo produciendo la muerte de todo ser vivo que se entre en contacto con el mismo. Como medida de control se han implementado trabajos donde se realiza la recirculación de las aguas residuales del proceso de curtiembre donde se recicla el cromo no adherido a la piel, a pesar de ser una buena medida ambiental este aumenta considerablemente el costo de producción de las pieles curtidas.

Los problemas descritos anteriormente se podrían evitar si en el proceso de curtición se utilizara curtientes vegetales, pero el uso de estos resulta un proceso más largo y costoso a la vez que se obtienen cueros de calidad inferior a aquellos que se fabricaron utilizando sales de cromo. Debido a esto se hace necesario la investigación de un agente curtiente alternativo el cual pueda competir con la industria a base de sales de cromo y que sea amigable con el medio ambiente. Según el trabajo de (Meléndrez, 2019). La sol de sílice puede actuar como un agente curtiente dando productos de razonable calidad, sin embargo, este es poco estable en ciertas condiciones como para ser comercializada y producida masivamente, por lo que este trabajo se enfocara en desarrollar un proceso que permita obtener de manera estable el sol de sílice, determinando así las variables y parámetros que nos permita obtener el sol de sílice a nivel piloto y posterior a ellos a nivel industrial.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General**

- Obtener Sol de Sílice a partir del Silicato de Sodio con Ácido Sulfúrico para la industria de la curtiembre.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar las variables y parámetros del proceso para la obtención de Sol de Sílice a escala piloto.
- Comparar los parámetros de Sol de Sílice obtenido con el agente curtiente a base de cromo.
- Realizar una prueba de curtición con el Sol de Sílice obtenido más la combinación de un aldehído.
- Determinar los costos de producción del curtido en pieles con la Sol de Sílice.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

El proceso de curtido del cuero es una de las industrias más antiguas de la humanidad, ya que surgió de la necesidad de protección para el cuerpo humano de nuestros ancestros, utilizaban la piel de los mamíferos grandes como vestimenta, la desventaja de usar estas pieles es la putrefacción rápida de la misma para ello se desarrolló un método casero para conservarlas que consistía en utilizar el humo de la casa como un agente curtiente dándole más resistencia a la piel.

El cromo es un metal pesado que se utiliza hace más de un siglo, en combinación con agentes químicos, que se combinan con las fibras de colágeno para darnos como resultado un cuero resistente y flexible. El 80% de las industrias de las curtiembres utilizan este método para curtir las pieles siendo un proceso muy rápido y obteniendo las propiedades adecuadas para la fabricación de diferentes artículos (Raisman et al. 2002).

La industria del cuero es una de las más importantes del país generando considerables ganancias en lo económico, sin embargo, trae consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud debido a que contienen sales de cromo.

Para solventar esta información, según (Narvaez,2020) “Curtición de pieles bovinas utilizando diferentes niveles de sol de sílice para cueros de calzado” describe la utilización de diferentes niveles de sol de sílice para el proceso de curtición (9%, 12%, 15%, 18%), obteniendo los mejores resultados cuando se aplicó valores altos de sol de sílice con el 18% se alcanzó una resistencia de tensión de  $2342.14 \text{ N/cm}^2$  logrando un cuero de buena calidad con la blandura necesaria para la elaboración de calzado.

En base a las pruebas que se realizó con este agente curtiente se obtuvo resultados positivos en el proceso de curtición de pieles causando menos contaminación ambiental y obteniendo un cuero de alta calidad con las características similares al cuero que obtuvo el mismo proceso con sales de cromo.

## 1.2 Marco teórico

### 1.2.1 Piel

La piel es la estructura externa del cuerpo de un animal que sirve como protección. Está cubierto principalmente de pelo o lana y formado por pocas capas una encima de la otra. La piel responde a los cambios orgánicos del animal y expresa un sin número de propiedades importantes y específicas sobre él, como: edad, sexo, dieta, medio ambiente y estado de salud (Adzet et al. 1985).

La piel es el órgano más grande del cuerpo que actúa como barrera natural en los mamíferos, entre el cuerpo y el ambiente externo, protegiendo al animal de las influencias físicas, químicas y microbiológicas. Este recubrimiento externo cumple una función de defensa como:

- Regula la temperatura corporal.
- Eliminar residuos.
- Alojamiento de órganos sensoriales que facilitan la percepción de sensaciones térmicas, táctiles y sensoriales.
- Almacenar sustancias grasas.
- Protege el organismo del ingreso de bacterias.

### 1.2.2 Tipos de piel

Existen diferentes tipos de pieles de animales, cuya estructura porcentual cambia entre la capa superior "flor" y la capa inferior "carne". En los animales existentes las estructuras de colágeno varían entre especies, ya que una piel de vaca es muy diferente a una piel de oveja y cambia de la misma forma entre una misma especie en función de la edad, el origen y el tipo de forraje consumido por todos los animales, por ello, en base a su experiencia, los curtidores mencionan que no existen dos pieles que sean exactamente iguales (Salguero 2013).

#### 1.2.2.1 Principales tipos de piel

- **Piel de vaca:** el cuero de la vaca es muy versátil y se utiliza mayoritariamente en el campo del curtido, es muy espesa, menos propensa a romperse, su estructura es compacta y además es suave al tacto. Este cuero es adecuado para la fabricación de bolsos, ropa, sombreros, cinturones y zapatos (González 2013).
- **Piel de oveja:** Este tipo de cuero de curtido vegetal se llama cuero de gamuza, es un cuero más fino y flexible que el de vaca o cabra. No es perfecto para trabajar en la industria del curtido con este tipo de pieles, es difícil grabarlo o repujarlo, en la fabricación de zapatos tienden a romperse

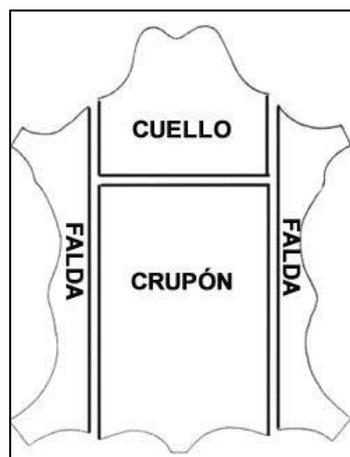
con facilidad, en general es un cuero elástico, fino, con un poco de brillo, se utiliza principalmente en la fabricación de chaquetas o guantes (González 2013).

- **Piel de cabra:** Es una capa muy fina, su estructura es muy compacta y contiene una gran cantidad de fibras elásticas que le confieren buenas propiedades en el cuero acabado, más flexibilidad y resistencia. Este tipo de cuero se utiliza para productos de marroquinería (Barreto 2006).

### ***1.2.3 División superficial de la piel***

La piel recuperada de los animales sacrificados se conoce como piel fresca, por lo que la diferencia entre grosor y capacidad se puede observar en pieles grandes. Se distinguen 3 zonas que son:

- El crupón.
- El cuello.
- Las faldas.



**Figura 1-1:** División de la superficie de la piel

Fuente:(Cueronet.com 2013)

#### ***1.2.3.1 El crupón.***

El crupón corresponde al fragmento de piel del lomo y la región lumbar del animal. Es la parte más semejante, tanto en grosor como en composición cutánea. También es el más resistente y, por tanto, el más valioso. Su peso aproximado es del 46% con interacción con la piel fresca total, la piel de la parte superior de la cabeza se llama testuz y las piezas laterales se llaman carillos (Cotance 2004).

### *1.2.3.2 Cuello*

El cuello corresponde a la piel del propio cuello y cabeza del animal. Su grosor y consistencia son de composición irregular y flácida. La región del cuello tiene arrugas profundas que dependerán de la edad del animal. La piel del cuello representa el 26% del peso total de la piel (Villagran et al. 2012).

### *1.2.3.3 Faldas*

Las faldas corresponden a la porción de piel que cubre el abdomen y las patas del animal. Presenta grandes irregularidades en cuanto a su grosor y capacidad, ubicándose en las regiones de las axilas, las partes más blandas de la piel y las piernas están algo carnificadas. El peso de las faldas corresponde al 28% del total. En una piel también se distinguen: el lado exterior de la piel que contiene el pelaje del animal, y una vez retirado se le llama el lado de la flor. El lado interno de la piel, que estaba con la carne del animal, se llama lado de la carne (Artigas 1987).

### 1.2.4 Operaciones del proceso de curtición



**Figura 2-1:** Diagrama del proceso

Fuente: (Meléndrez 2019)

### **1.2.5 Curtición**

Es un régimen muy antiguo que surgió por la necesidad de los antepasados ya que utilizaban las pieles de los animales grandes como medio de vestimenta de protección para los cambios climáticos, sin la aplicación de ningún tratamiento previo por lo cual la piel se deterioraba muy rápido desprendiendo malos olores e incluso causando algún tipo de infección, debido a esta complicación los antepasados buscaron una solución que fue utilizar el humo del hogar como un tipo de agente curtiente obteniendo así características más resistentes en el cuero. (Acabados 2014).

Los avances tecnológicos han sido de gran importancia en el transcurso del tiempo ya que se busca encontrar el mejor proceso de curtición, descubriendo el agente curtiente ideal sin alterar las características deseadas en el cuero además que sea amigable con el medio ambiente y la salud humana.

Los tipos de curtición son los siguientes:

### **1.2.2 Curtición Mineral**

Es un proceso que tiene una duración muy corta a diferencia de la curtición vegetal, se lleva a cabo con agentes curtientes metálicos entre los más utilizados tenemos: a las sales de cromo, aluminio y hierro, produciendo así generosas ganancias económicas dentro de la industria del cuero en comparación a las obtenidas con los agentes vegetales, estas sales minerales son de bajo costo presentando un cuero de calidad especialmente en cuero finos ideales para realizar artículos de vestir, zapatos, suelas, marroquinería etc.

- **Sales de cromo:** la fórmula química es sulfato básico de cromo ( $Cr_2(OH)_2(SO_4)_2$ ), en las industrias de la curtiembre estos tipos de agentes son los más utilizados debido a su bajo costo y un tiempo de curtición menor a la común. A este proceso se le conoce como wet blue porque después del curtido el cuero se torna de un color verde/azul. (Saldaña 2009).
- **Sales de aluminio:** es un proceso muy antiguo, se lo recomienda utilizar en la elaboración de productos de peletería ya que el cuero es más flexible y suave, su uso es poco frecuente debido a que el proceso durante la etapa de curtición tarda más tiempo que los procesos que se realizan comúnmente.

A este proceso también se lo conoce como wet White porque luego del proceso de curtición de la piel tiene un color blanco opaco, la desventaja de realizar el curtido con estas sales es que al momento de realizar un lavado el cuero se descurte con facilidad. (Martínez 2015).

### **1.2.3 Curtición Vegetal**

Es el proceso más ambiguo que impide la putrefacción de las pieles luego de ser curtidas volviéndose más estables al ataque de bacterias y microorganismos, para ello se emplean taninos vegetales de árboles y arbustos como son el quebracho, castaño, roble etc. Son sustancias orgánicas que al tener contacto con las proteínas (moléculas) del colágeno de la piel se obtiene un cuero más resistente al calor (Reinventando elcalzado.es 2012).

### **1.2.4 Curtición con Silicato de sodio**

Los silicatos son los minerales que constituyen el 92% de la corteza terrestre caracterizada por presentar una elevada dureza esto se debe a su estructura tetraédrica, son solubles a pH de 9 o superiores y precipitan en pH alcanzados entre 9 y 3, con un pH inferior a 3 se forma una solución coloidal de ácido silícico que garantiza su estabilidad con la ayuda de agentes curtientes minerales como son las sales de cromo o aluminio empleándose en la recurtición del cuero.

Los cueros curtidos con sílice son de color blanco con buenas características sensoriales como es la resistencia al calor y llenura, facilitando la combinación con las fibras de colágeno con la combinación de agentes químicos (Cotance 2004).

#### **1.2.4.1 Silicato de Sodio**

Es un compuesto inorgánico acuoso que está formado por la combinación de diferentes proporciones de óxido de sodio ( $Na_2O$ ) y óxido de silicio ( $SiO_2$ ). La síntesis del silicato de sodio se la obtiene mediante la reacción del carbonato de sodio y dióxido de silicio como se detalla a continuación:



El pH está relacionado directamente con el comportamiento del silicato de sodio que la solución presenta, como se observa(Claramunt et al. 2013):

- (pH  $\geq$  9), los silicatos de sodio son solubles.
- (9 < pH > 3), los silicatos de sodio precipitan.
- (pH < 3), los silicatos de sodio forman una solución coloidal de ácido silícico estable.

#### 1.2.4.1 Sol de sílice

También conocido como hidrosol de sílice, es una solución coloidal de alta hidratación molecular de partículas de sílice dispersas en el agua. Cuando las proporciones de ácido es mayor que las soluciones de silicato los aniones se polimerizan hasta formar un gel(Calle 2018).

Se los considera soles activados a las soluciones cuyas concentraciones sean relativamente diluidas en ácido presentando las siguientes ventajas como son incoloro, insípido y en especial no tóxico. El hidrosol de sílice reacciona especialmente con flúor, ácidos y bases fuertes(Nuñez 2019).

La polimerización de los aniones del silicato depende principalmente de su concentración, pH, humedad y temperatura. El sol de sílice coloidal se lo realiza a partir de silicato de sodio con la acidificación del ácido sulfúrico mediante un intercambio de iones una vez activada la sílice se lo utiliza en el tratamiento de aguas residuales, municipales, terminado de telas, reforzamiento de polímeros sintéticos y principalmente en la curtición de diferentes tipos de pieles(Calle 2018).

La sol de sílice es un compuesto inorgánico al que se lo acidifica a un pH menor a 3 el cual nos indica estabilidad(Luis et al. 1996), lo cual es utilizado en la curtición y recurtición de pieles, formando estructuras estables y complejas con las fibras de colágeno de la piel. Obteniendo la siguiente reacción:



## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Tipos y diseños de investigación

##### *2.1.1 Tipos de investigación*

###### *2.1.1.1 Investigación explicativa:*

Este tipo de investigación se centra en encontrar la relación causa y efecto existente entre las variables. En este estudio busca establecer las causas de los hechos, así como los escenarios en los que ocurren los fenómenos a estudiar (Murillo et al. 2010).

En el presente trabajo de integración curricular se estudiará la influencia que tienen las variables dependientes sobre la formación del sol de sílice estudiado, así como las condiciones en las que se pierde la estabilidad formando geles en dos fases.

###### *2.1.1.2 Investigación experimental:*

En esta investigación se busca manipular las variables independientes y estudiar sus efectos sobre la variable estudiada. El experimento llevado a cabo se lo realiza en ambientes lo más controlados posibles para disminuir la influencia de variables intervinientes sobre la variable estudiada. (Ruiz 2010).

Para el desarrollo del presente proyecto se manipulará de manera sistemática las variables independientes en un ambiente controlado. Por otra parte, se utilizarán instrumentos de laboratorio que garanticen que el valor de las variables manipuladas coincida con los valores propuestos por la literatura. Esto permitirá obtener un estudio confiable en cuanto a la estabilidad presentada por las soluciones de ácido silícico preparados.

###### *2.1.1.3 Método Inductivo*

El método inductivo busca crear generalizaciones a partir de experiencias particulares, para esto se basa en la experimentación directa de la cual se extraen conclusiones que permiten describir de manera general el problema estudiado. Es decir, este método va de lo particular a lo general.

A partir de los experimentos de curtición de diferentes pieles caprinas con silicato de sodio y aldehído combinados produce diferencias en la calidad final obtenido.

## **2.2 Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación consta del tipo cualitativo y cuantitativo: es de enfoque cualitativo debido a que mediante identificación visual y con ayuda de un espectrofotómetro infrarrojo se procederá a la determinación de la presencia de ácido silicio en forma de una suspensión coloidal blanquecina y el espectro infrarrojo permitirá la identificación de los grupos funcionales silicato.

Enfoque cuantitativo se realizará una caracterización físico química del cuero obtenido por curtación de sol de sílice, el valor de los parámetros de resistencia a la tensión, porcentaje de elongación y temperatura de contracción permitirá comparar este cuero con aquel obtenido usando sales curtientes típicas a base de cromo.

## **2.3 Identificación de las variables**

### ***2.3.1 Variables Dependientes***

- Estado físico
- Costos de producción
- Ácido sulfúrico consumido
- Porcentaje de elongación
- Resistencia a la tensión
- Abrasión al frote en seco

### ***2.3.2 Variables Independiente***

- pH
- Concentración de silicato
- Temperatura de operación

## 2.4 Operacionalización de las variables.

Tabla 1-2: Operacionalización de variables Independientes.

Variable	Concepto	Unidad de medida	Instrumentos
pH	El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. Comprende una escala de medición entre 0 y 14.	Unidades	pH-metro
Temperatura	La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro.	°C	Termómetro
Concentración de silicato de sodio	La concentración de una sustancia en solución indica las partes del soluto presente por cada parte de la solución total (soluto +solvente).	<i>ml sto/mlsol</i>	

Realizado por: Lema Teresa 2021

**Tabla 2-2:** Operacionalización de variables Dependientes.

<b>Variable</b>	<b>Concepto</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumentos</b>
Estado físico	Estado físico que se obtiene una vez se acidificado la solución de silicato de sodio con ácido sulfúrico.		
Costos de producción	Es el valor monetario que se requiere invertir para producir un cierto bien o servicio. Este incluye los costos de aprovisionamiento, materia prima, etc.	\$/unidad	
Ácido sulfúrico consumido	Cantidad de ácido sulfúrico gastado para obtener una suspensión de sol de sílice estable y sin melificación inmediata.	ml	Bureta graduada
Temperatura de contracción	Temperatura a la cual las dimensiones del cuero se reducen de forma significativa.	°C	Termómetro
Porcentaje de elongación	Porcentaje en el cual las dimensiones del cuero pueden crecer antes de sufrir ruptura por acción de una carga unidireccional.	%	Dinamómetro
Resistencia a la tensión	Máxima carga unidireccional que puede soportar el cuero antes de sufrir ruptura.	N/cm <sup>2</sup>	Dinamómetro
Abrasión al frote en seco	Define la resistencia de la pintura, barniz, desgaste y la pérdida de colores mediante abrasión.	Ciclos	Abrasímetro

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

## 2.5 Matriz de consistencia

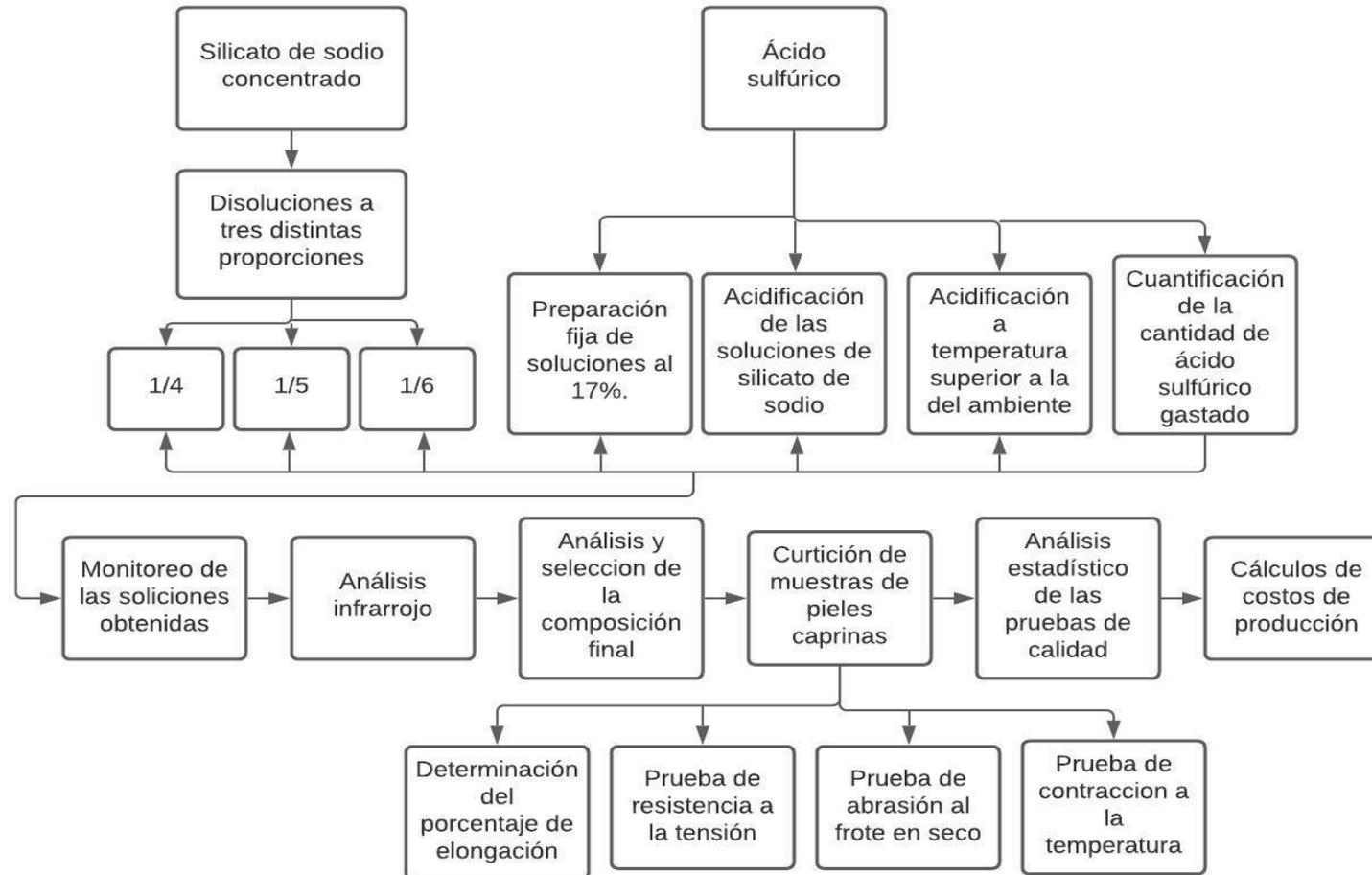
**Tabla 3-2:** Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
Formulación del Problema		Objetivos		Hipótesis
¿Es posible sustituir a las sales de cromo como agente curtiente de la industria de curtiembre para así evitar los problemas ambientales y de salud las mismas que generan desde el inicio del proceso hasta cumplir con su vida útil?		Obtención de Sol de Sílice a partir del Silicato de Sodio con Ácido Sulfúrico para la industria de la curtiembre.		La sol de sílice una vez estabilizado puede sustituir a los diferentes curtientes tradicionales a base de cromo llegando así a disminuir la contaminación ambiental y riesgos de la salud.
ASPECTOS ESPECIFICOS				
Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Instrumento
¿Qué parámetros de fácil manipulación pueden influir en el proceso de obtención de una suspensión de sol de sílice a escala piloto?	Identificar las variables y parámetros del proceso para obtener Sol de Sílice a escala piloto.	Las variables de proceso estudiado que son pH y concentración de silicato, son los factores más importantes que influyen en la obtención del gel estable (sol de sílice) para ser utilizado con un agente curtiente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración de silicato</li> <li>- Termómetro</li> <li>- pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bureta graduada</li> <li>- Termómetro</li> <li>- PH-metro</li> </ul>
¿Existe diferencias químicas y físicas entre el sol de sílice obtenido en comparación con las sales de cromo tradicionales?	Comparar los parámetros de Sol de Sílice obtenido con el agente curtiente a base de cromo.	La sol de sílice que es un curtiente vegetal posee características distintas a las sales de cromo que es un curtiente mineral.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupos funcionales presentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectrofotómetro infrarrojo</li> </ul>
¿Es posible sustituir a las sales tradicionales de cromo usadas como agente curtiente para producir cueros de igual calidad?	Realizar una prueba de curtición con el Sol de Sílice obtenido más la combinación de un aldehído.	La sol de sílice puede ser un complemento para los demás agentes curtientes con el propósito de obtener una buena curtición del cuero.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Porcentaje de elongación</li> <li>- Resistencia a la tensión</li> <li>- Pruebas de encogimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dinamómetro</li> <li>- Termómetro</li> <li>- Calibrador</li> </ul>

¿El precio asociado a la producción de sol de sílice es capaz de competir con el precio a la cual se comercializan las sales de cromo?	Determinar los costos de producción del curtido en pieles con la Sol de Sílice.	El costo de producción de este agente curtiente es sumamente bajo en comparación con el de un curtiente de tipo mineral.	- Costos	
--	---	--	----------	--

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

## 2.6 Diseño de la investigación



**Figura 1-2** Diseño de la Investigación

Realizado por: Lema Teresa 2021

## **2.7 Unidad de Análisis**

Los sujetos de estudio en el presente proyecto son las suspensiones obtenidas luego de la acidificación de soluciones a distintas concentraciones de silicato de sodio. También se estudiarán los cueros curtidos con el sol de sílice a dos diferentes concentraciones en relación de 1/4 y 1/5 (volumen/volumen).

## **2.8 Población de Estudio (muestra)**

La población de este proyecto de investigación está compuesta por la Empresa Cueros el ALCE, donde mediante el análisis y manipulación de las variables seleccionadas se obtendrán suspensiones de sol de sílice para ser utilizadas en el proceso de curtición como un agente alternativo a los tradicionales el cual será monitoreado.

## **2.9 Tamaño de Muestra**

Se estudiarán como muestra soluciones acuosas de 25 ml de silicato de sodio a partir de las cuales se preparan diluciones añadiendo agua a las distintas proporciones establecidas de 1/4, 1/5 y 1/6, las cuales serán acidificadas con ácido sulfúrico hasta observar la formación de una suspensión coloidal. De estas últimas se tomarán muestras de 0.5 ml para realizar el análisis infrarrojo e identificar los grupos funcionales presentes. Cabe recalcar que se monitoreo todas las soluciones preparadas. Posteriormente se replicará la experiencia a las condiciones de pH final para estudiar el efecto de la temperatura de operación sobre el proceso.

Para la prueba de curtación se seleccionó 8 muestras de cuero caprino pequeñas del tamaño de una hoja de papel Din A4. Para realizar las pruebas, se agrupo a los cueros en tres bloques, dos de estos serán curtidos con una suspensión coloidal de sol de sílice a diferente concentración y el último fue proporcionado por la empresa el ALCE, cuero que fue curtido con una sal de cromo convencional. Posteriormente a todos los bloques se les aplica pruebas de calidad para comparar los valores entre estos.

## **2.10 Selección de muestra**

Se seleccionó una solución comercial de silicato de sodio de densidad 1.41 para la preparación de las tres distintas diluciones a las que se trabajara, también se seleccionó ácido sulfúrico comercial de densidad 1.82.

Para las pruebas de curtación se realizó un muestreo por conveniencia, donde se selecciona las pieles en base a sus características. Las pieles seleccionadas no deben presentar arañazos, manchas y deben ser frescas.

## 2.11 Técnicas de recolección de datos

Luego de seguir los procedimientos detallados en la sección 2.12, los datos obtenidos de las variables de respuesta serán obtenidos directamente de la experimentación y registrados en una hoja de control. Los datos posteriormente serán exportados a una hoja de cálculo para ser analizados.

## 2.12 Procedimiento experimental

### 2.12.1 Obtención de sol de sílice

Para evaluar la influencia de los parámetros de operación sobre la obtención del sol de sílice que será utilizado como agente curtiente se preparó diluciones a partir de silicato comercial de características señaladas en la tabla 3-2.

**Tabla 4-2:** Características del silicato

Elemento	Proporción media
Proporción media en peso de $SiO_2/Na_2$	3.2 a 1
$SiO_2$	29.4% en peso
$Na_2O$	9.3% en peso
$H_2O$	61.3% en peso
Densidad	1.4105 Kg/l.

Realizado por: Lema Teresa 2021

Este silicato sódico se presenta en forma de solución acuosa y posteriormente es diluido, mezclando con agua en diferentes proporciones, como se muestra en la tabla 4-2. Las proporciones están expresadas en volumen.

**Tabla 5-2:** Proporciones de mezcla silicato/agua para diluciones

Proporción	Silicato de sodio(ml)	Agua(ml)
1/4	25	100
1/5	25	125
1/6	25	150

Realizado por: Lema Teresa 20211

El ácido sulfúrico (al 36%) utilizado fue diluido en la proporción (volumen/volumen) mostrada en la tabla 5-2. Esto se realizó para que al instante de realizar la mezcla con la solución de silicato el pH no varíe de una forma brusca y se pueda estudiar la solución formada.

**Tabla 6-2:** Proporción de ácido sulfúrico/agua para dilución

Proporción	Ácido Sulfúrico(ml)	Agua(ml)
1/17	5	85

Realizado por: Lema Teresa 2021

Para estudiar la influencia del pH se acidificó las tres soluciones de silicato de sodio añadiéndola solución diluida de ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico se añadió lentamente y variando 5ml de este manteniendo agitación constante. En cada variación se dejó reposar la mezcla durante 15 minutos y se tomó la lectura de pH en cada variación, adicionalmente se observó los cambios físicos producidos para verificar en que puntos existe la formación de un gel blanquecino y en qué punto se alcanza la formación de una suspensión coloidal en cada muestra estudiada.

Una vez obtenida la suspensión coloidal, se tomó una alícuota de esta y se la examinó en un espectrofotómetro infrarrojo, donde se llevará a cabo la identificación grupos funcionales de tal forma que se corrobore la formación del ácido silícico.

Para estudiar el efecto de la temperatura de operación se preparó tres diferentes soluciones de silicato de sodio, estas fueron llevadas directamente al pH donde se identificó la formación de la suspensión coloidal. Se mantuvo la agitación constante y las muestras fueron evaluadas a una temperatura de 20 y 30 °C, misma que se mantuvo constante durante todo el tiempo de operación.

Finalmente, una vez analizada la influencia del pH y la temperatura se recogió el gel formado durante las pruebas y se las analizó en el espectrofotómetro infrarrojo donde se determina los grupos funcionales que presenta.

### **2.12.2 Proceso de curtición**

Para la siguiente experimentación se utilizaron 8 pieles de chivo mediante el cual se realizó el siguiente proceso hasta obtener objetos de marroquinería.

#### **2.12.2.1 Remojo**

El remojo es el primer paso que las pieles son sometidas con la finalidad de retirar todas las impurezas que traen consigo, para conocer las cantidades exactas de cada uno de los productos que se va a

utilizar primero debemos pesar las pieles conociendo este dato se realizó un baño de agua con el 200% a temperatura ambiente, más el 1% de tenso activo dejando reposar por 24 horas para poder hidratar las fibras de colágeno de la piel procediendo así a descargar el bombo.

#### *2.12.2.2 Pelambre y Calero*

Teniendo en cuenta el peso de las pieles se procede a colocar el 200% de agua con el 4% de cal y 2.5% de sulfuro de sodio dejando al bombo en constante agitación durante un periodo de tiempo de 5 horas, luego se deja en reposo durante 24 horas para descargar el bombo.

Luego de este proceso se realiza dos lavadas: en la primera lavada con 300% de agua durante 15 minutos y descargar el bombo en el segundo lavado se le añade el 1% de sulfato de amonio con la misma cantidad de agua, dejando rodar el bombo durante 30 minutos transcurrido este tiempo se descarga el bombo.

#### *2.12.2.3 Desencalado y Rendido*

Después de haber realizado el respectivo lavado en el anterior proceso en esta etapa se le añade 300% de agua acompañado del 1% de Sulfato de Amonio dejando así rodar el bombo durante 60 minutos. Seguido se le adiciona el 0.5% de Bisulfito de Sodio dejando rodar el bombo durante 30 minutos y para finalizar este proceso se colocó 0.5% de ríndete dejando rodar el bombo durante 90 minutos.

Terminado este proceso se realiza dos lavadas con 300% de agua a temperatura ambiente dejando rodar el bombo durante 15 minutos cada una.

#### *2.12.2.4 Piquelado*

En esta etapa adicionamos 300% de agua con 8% de sal común en grano y 0.5% de formiato de sodio para dejar rodar el bombo durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo se le añade 1% ácido fórmico para evitar que la piel se dañe se la debe diluir en agua en relación de 1/10 y en dos partes la primera adición de ácido durante 20 minutos y la segunda adición de ácido durante 30 minutos, dejando rodar el bombo pasado ese tiempo se procede a apagar el bombo para dejar en reposo 24 horas.

#### *2.12.2.5 Curtido*

Para esta fase se utilizó el sol de sílice coloidal la cual se obtuvo de una mezcla de ácido sulfúrico con silicato de sodio el cual va actuar como agente curtiente ya que químicamente se enlaza a las fibras de colágeno para estabilizar y formar estructuras complejas en la piel.

Se realizó el sol de sílice con la técnica descritas en la sección 2.12.1, utilizando diferentes concentraciones para la curtición. Para esta investigación se formuló la cantidad necesaria de sol de sílice para la curtición, tomando en cuenta el peso de las pieles, con las concentraciones dichas en el apartado anterior.

Pasado el proceso de reposo de la etapa anterior se añadió a las primeras 4 pieles el 15% de sol de sílice a una proporción de 1/5 experimento (E1) y en la segunda ronda de 4 pieles se añadió el 15% de sol de sílice en proporción de 1/4 experimento (E2), cada uno de los experimentos se dejó rotar en el bombo durante un tiempo de 60 minutos, teniendo en cuenta que los pH de las soluciones fueron de 2,52.

Pasado ese tiempo se le añadió el 4% de sintético (aldehído) por 60 minutos y dejar rotar el bombo.

Por último, se le añadió tara (guarango) al 5% dejando rotar el reactor durante un tiempo de 120 minutos adicional a ese tiempo se lo deja durante 4 horas más, terminado ese tiempo se apaga el reactor y se lo deja reposar por 24 horas para proceder a medir el pH de la solución total.

Ya obtenidas las pieles curtidas se lo realizo el proceso de raspado a un calibre de 1mm de espesor, siendo este cuero apto para la fabricación de productos de marroquinería.

#### *2.12.2.6 Neutralizado*

Luego de raspar el cuero de chivo se procede a pesar nuevamente, en base de ese peso se realiza los siguientes procesos, el lavado se realiza con 300% de agua a temperatura ambiente seguido del tenso activo 5% y ácido fórmico diluido en relación de 1/10 al 0,5% y dejar rodar el bombo durante 15 minutos.

#### *2.12.2.7 Re-curtido*

Para este proceso se requiere el 300% de agua a una temperatura de 50°C con el 3% de sol de sílice dejando rodar el bombo durante 30 minutos, posterior a ello se debe colocar el 3% de sintético durante 60 minutos y finalmente poner el 1% de bicarbonato de amonio dejando rodar el bombo durante 60 minutos se mide el pH de la solución y escurrir.

Al concluir esta etapa se realiza un lavado con el 300% de agua a temperatura de 50°C durante 15 minutos, quedando listo para el siguiente paso.

#### *2.12.2.8 Tinturado y engrase*

Se coloca 300% de agua a una temperatura de 70°C se añade rellenanate de faldas, dispersante y grasa Sulphirol HF, todos estos químicos al 2% dejando rodar el bombo durante 60 minutos. Seguido se coloca 1,5% de anilina de color café durante 60 minutos.

Transcurrido el tiempo se coloca 6% de la grasa Sulphirol HF y 8% de la grasa Synthol YY 707, diluir estas grasas en agua a temperatura de 70°C en relación de 1/10 cada una, se deja rodar el bombo durante 60 minutos. Se coloca 0,5% más de anilina de color café durante 40 minutos, a continuación, se pone el 1% de tara más el 1% de ácido fórmico diluido en relación de 1/10 rodando el bombo durante 30 minutos concluido este tiempo se deja reposar el cuero dentro del bombo por 24 horas.

Para concluir la etapa de recurtido se coloca el 1% de ácido fórmico diluido durante 30 minutos se procede a medir el pH de la solución. Realizando dos lavadas con 300% de agua a temperatura ambiente durante 15 minutos cada una.

#### *2.12.2.9 Secado, estacado y recortado*

Se realiza el perchado de los cueros dejando secar durante un periodo de 24 horas mínimo, el siguiente paso es estacar los cueros, se realiza con unas pinzas las cuales sujetan y estiran al cuero para retirar cualquier tipo de arrugas que esté presente y luego se recortan los bordes.

#### *2.12.2.10 Operaciones de acabado*

En esta última etapa se le sometió al cuero a un proceso de prensado con el objetivo de dejar al cuero libre de arrugas y con un brillo finalizando así con el lacado para mejorar la parte superficial del cuero, quedando listo para realizar las siguientes pruebas de calidad.

### **2.12.3 Pruebas de calidad**

#### *2.12.3.1 Resistencia a la tensión*

La prueba de resistencia a la tensión exige que el cuero sea cortado en forma de una probeta de muestra. Debido a que la prueba muestra la resistencia del cuero mediante ruptura, esta debe realizarse obligatoriamente. Según la norma IUP-6 el cuero debe presentar como mínimo una resistencia de 150 kgf/cm<sup>2</sup>.

La prueba se realiza a temperatura ambiente y se procede de la siguiente manera:

- Con ayuda de un calibrador se tomó las medidas de espesor de la probeta en tres distintos puntos. El promedio de las mediciones será el espesor utilizado para los cálculos.
- Con ayuda del pie de rey se procede a medir el ancho del cuero y se determina la longitud inicial del cuero.
- Se coloca la probeta de cuero en el equipo de prueba. Esta es sujeta con ayuda de las mordazas tensoras cuidando de que no exista deslizamiento ni se produzca pliegues en la probeta evaluada.
- Una vez colocada la probeta de muestra se procede a someter el cuero a distintas magnitudes de carga mediante la mordaza móvil. Esto produce un incremento en las dimensiones de la probeta en una única dirección.

Debido a las características del ensayo es necesario que la máquina destinada para la evaluación sea capaz de:

- Estirar el cuero en una sola dirección a una velocidad constante
- Medir y registrar la magnitud de la carga aplicada al cuero, así como el incremento en sus dimensiones.
- Producir la carga suficiente para producir la ruptura o la deformación permanente de la probeta evaluada.

Una vez registrado los datos de carga se procede a calcular la resistencia a la tensión mediante la fórmula:

$$R = \frac{C}{\varepsilon * A}$$

Donde:

R= resistencia a la tensión

C= carga de ruptura

$\varepsilon$ = espesor promedio del cuero

A= ancho del cuero

Esta prueba se aplica a todas las muestras de cuero curtido siguiendo el mismo procedimiento.

### 2.12.3.2 Porcentaje de elongación

Esta prueba mide la capacidad que tiene el cuero de deformarse (grado de estiramiento) antes de sufrir ruptura o deformación permanente bajo la acción de fuerzas multidireccionales. De esta manera se emula las tensiones a las que estaría sometido el cuero en una situación real.

Esta prueba está directamente relacionada con la prueba de resistencia a la tensión ya que si en esta prueba se presenta un valor bajo lo mismo ocurrirá en la prueba de resistencia a la tensión. Según la norma IUP-6 de calidad de cuero, este debe presentar como mínimo un porcentaje de elongación de 40%.

Para la realización de ese ensayo se debe:

- Se corta una probeta de cuero
- Se mide la longitud inicial del cuero
- Se coloca la probeta en las mordazas del equipo
- Se registra el valor del medidor inicial
- Se pone en marcha el equipo, en este momento los extremos de la probeta se separan a velocidad constante hasta sufrir la ruptura
- Se detiene el ensayo y se anota el valor del medidor final
- Se determina el porcentaje de elongación con la fórmula:

$$\%E = \frac{mf - mi}{Lo} * 100$$

Donde:

%E= Porcentaje de elongación

mf= valor del medidor final

mi= valor del medidor inicial

Lo= longitud inicial de la probeta

Este ensayo se aplica a todos los cueros curtidos repitiendo el mismo procedimiento.

### 2.12.3.3 Porcentaje de contracción

La temperatura de contracción es un indicativo de que el proceso de curtación ha finalizado. Esta prueba determina el porcentaje en qué se encoge el cuero cuando es sometido a una temperatura específica. La temperatura a la que el cuero sufre un encogimiento varía según el agente curtiente utilizado, siendo las sales de cromo las que producen la mayor temperatura de encogimiento (Meléndrez 2019), esta temperatura se ve disminuida cuando se emplean otros agentes curtientes y según la norma la temperatura mínima a la que debe efectuarse el ensayo es a 70 °C y el porcentaje de contracción no debe ser mayor al 10% (Ayavaca 2017).

El procedimiento para esta prueba consiste en:

- Se recorta un pedazo circular de cuero al cual se le determina sus dimensiones
- Se prepara agua a 90 °C
- Se sumerge el pedazo de cuero durante 5 segundos y se mantiene constante la temperatura
- Se remueve el pedazo de cuero
- Se mide la longitud final del cuero
- Se calcula el porcentaje de contracción como:

$$\%C = \frac{Lo - Lf}{Lo} * 100$$

Donde:

%C= porcentaje de contracción

Lo= Longitud inicial del cuero

Lf= Longitud final del cuero

### 2.12.3.4 Abrasión al frote en seco

La abrasión al frote en seco nos indica que es el agente que ataca de forma directa a los acabados del cuero en especial para conocer qué tan fijo se encuentra el color en el cuero definiendo así su resistencia.

El proceso de esta prueba se describe a continuación:

- Se recorta un pedazo circular de cuero y de fieltro de preferencia de color blanco.

- Se coloca las muestras en el abrasímetro el fieltro va en la parte superior y el cuero en la parte inferior produciendo un movimiento de frote en forma de vaivén contra el cuero estirado.
- Evaluar el grado de daño o cambio experimentado en la capa de acabado, tinción de la almohadilla de fieltro y cambio de color de la muestra de ensayo.
- La almohadilla se utiliza una nueva para cada determinación y queda después como testimonio del ensayo.
- El número de frotos, la fuerza y la amplitud con la que se realizan son fijos, esto permite cuantificar el manchado producido.
- Se mide por ciclos.

**Tabla 7-2:** Escala de calificación para resistencia a la abrasión

RANGO	CALIFICACION
0 – 50	Malo
50 – 100	Bueno
100- 150	Muy bueno
>200	Excelente

Realizado por: Lema Teresa 2021

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO DE RESULTADOS**

#### **3.1 Resultados de obtención de sol de sílice**

##### ***3.1.1 Influencia del pH***

La influencia del pH sobre el estado físico de la mezcla se muestra en las tablas 1-3 a tabla 3-3. Se puede observar que en los primeros instantes de la adición de ácido al silicato no existe un cambio visible de la densidad en la muestra, esto puede ser debido a que no existe una concentración significativa de ácido silícico formado. El pH promedio al que se inicia la formación de gel en las tres muestras es a 11.557, este gel va ganando densidad conforme el pH descende. Estas observaciones coinciden con lo expuesto por (Zapater Bes et al. 2017; Claramunt et al. 2013) donde se señala que a pH alcalinos el silicato de sodio acidificado tiende a formar polimerizarse y a formar geles.

El gel empieza a perder densidad a un pH promedio de 9.323, este valor está dentro del rango mostrado por (Lepore 1943) que señala que en el rango de 8-10 se forman soles inestables que tienden a gelificarse a lo largo del tiempo.

Finalmente se observa que en las tres muestras se tiene una suspensión coloidal a un pH medio de alrededor de 2.52, este coincide con el rango expuesto por (Claramunt et al. 2013) y también es una condición ventajosa ya que se ha demostrado que este pH es óptimo para realizar la curtición con sol de sílice.

**Tabla 1-3:** Influencia del pH sobre estado físico de la sol muestra 1/4

<b>pH</b>	<b>Acido Gastado (ml)</b>	<b>Estado de la mezcla</b>
12.37	0	Solución Acuosa
12.32	5	
12.1	10	
12	15	
11.9	20	
11.73	25	forma de gel
11.52	30	
11.42	35	
11.37	40	
11.28	45	
10.82	50	
10.23	55	
9.49	60	gel menos denso
6.45	65	
6.22	70	
5.79	71	
4.32	71	
3.74	73	
3.03	74	
2.67	75	Solución coloidal
2.52	76	

Realizado por: Lema Teresa 2021

**Tabla 2-3:** Influencia del pH en el estado físico de la sol muestra 1/5

<b>pH</b>	<b>Acido Gastado (ml)</b>	<b>Estado de la mezcla</b>
12.4	0	Solución Acuosa
12.37	5	
12.35	10	
12.18	15	
12.02	20	
11.96	25	
11.81	30	
11.65	35	
11.4	40	
11.22	45	forma de gel
11.1	50	
10.59	55	
10.37	60	
9.83	65	
8.7	70	
6.84	75	gel menos denso
3.8	80	
3.08	82 ½	
2.71	85	
2.64	85 ½	Suspensión coloidal
2.48	86	

Realizado por: Lema Teresa 2021

**Tabla 3-3:** Influencia del pH sobre el estado físico de la sol muestra 1/6

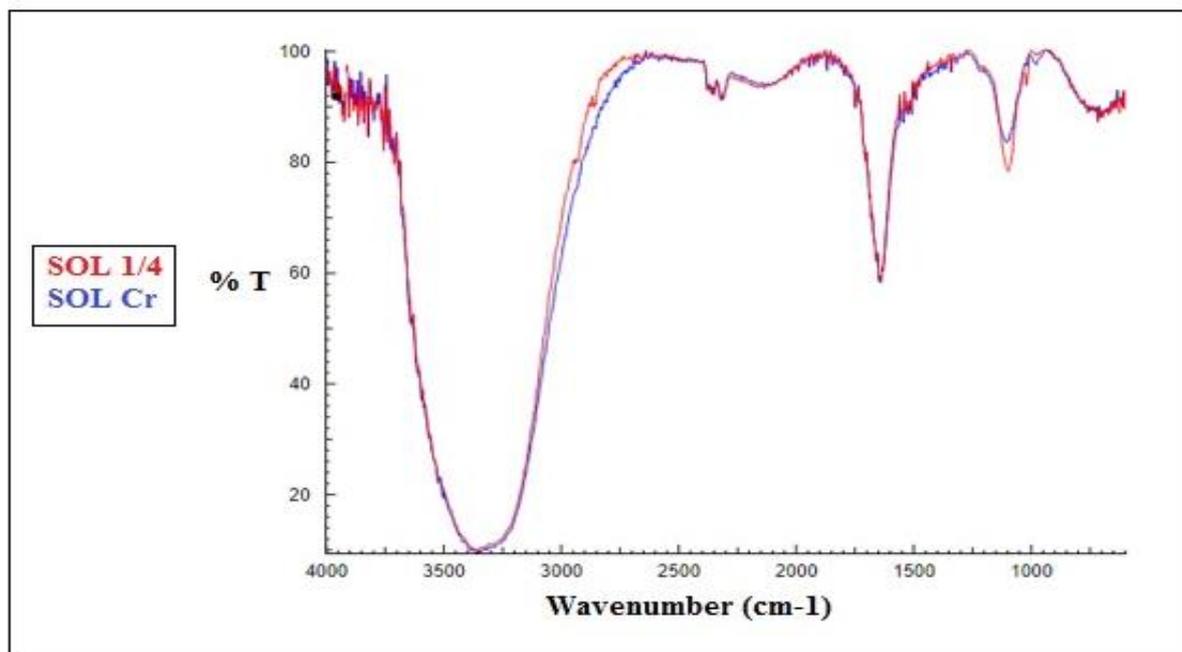
<b>pH</b>	<b>Acido Gastado (ml)</b>	<b>Estado de la mezcla</b>
12.9	0	Solución Acuosa
12.84	5	
12.73	10	
12.59	15	
12.48	20	
12.35	25	
12.2	30	
12.07	35	
11.94	40	
11.77	45	
11.54	50	
11.08	55	forma de gel
10.56	60	
9.78	65	
8.88	70	gel menos denso
4.98	75	
4.31	76	
4.25	77	
3.33	78	
2.97	79	
2.58	80	Solución coloidal

Realizado por: Lema Teresa 2021

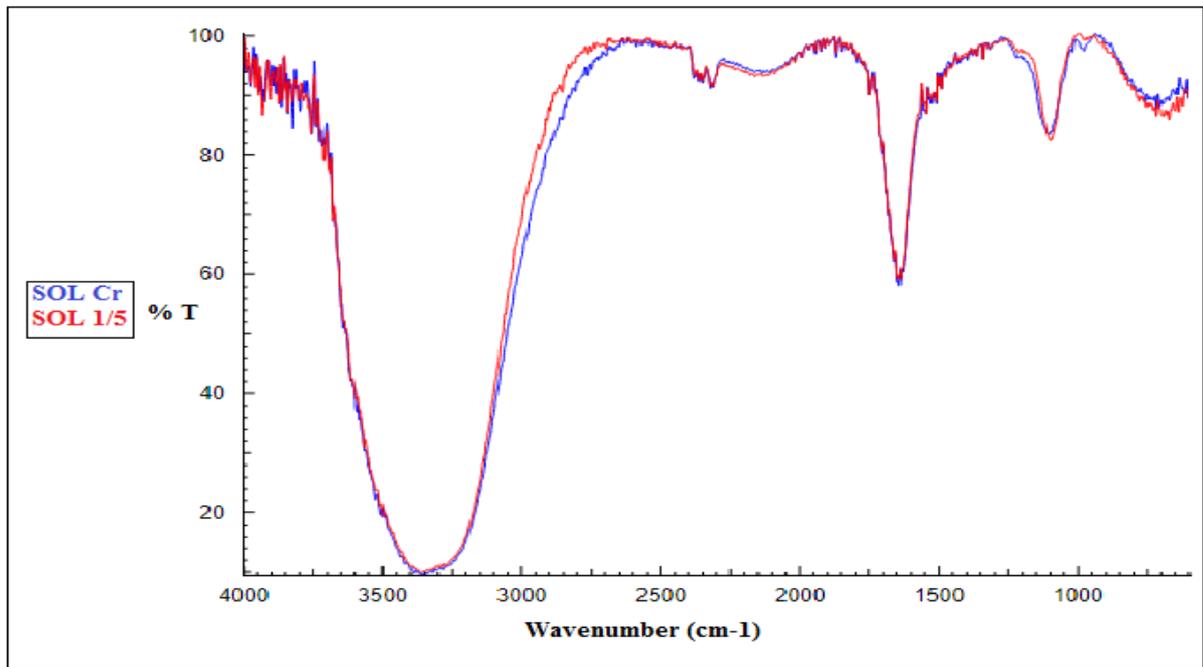
### 3.1.2 Espectros Infrarrojos

En las figuras 1-3 a 3-3 se muestran los espectros infrarrojos de las suspensiones coloidales de sol de sílice de cada muestra, todos muestran los mismos picos de transmitancia. En los espectros se puede apreciar una banda ancha e intensa a 3344.93 que correspondería a un estiramiento O-H del ácido, también se puede apreciar un pico medianamente intenso a 1641.13 cm<sup>-1</sup> que se relaciona con el estiramiento Si=O, también se puede encontrar un pico de intensidad débil a 1097.3 cm<sup>-1</sup> relacionado con un enlace simple entre Si-O. En las mismas figuras, en color azul, se muestra el espectro de la sal de cromo comercial utilizada para curtición, sulfato crómico, en este se aprecia una banda ancha a 3348.78 perteneciente al estiramiento de los enlaces O-H. La banda a 1119.48 se asocia con la presencia de grupos sulfato en la muestra (Rodríguez-Páez et al. 2001). Tal como se observa ambos espectros son prácticamente idénticos, destaca el hecho de que ambos poseen el grupo funcional -OH. Este grupo le permite al curtiente formar complejos entre la estructura del átomo metálico y el colágeno de la piel (Córdor et al. 2016), lo cual permite la curtición de la misma.

**Figura 1-3:** Espectro Infrarrojo de la sol obtenida a partir de la muestra 1/4 y sal de cromo

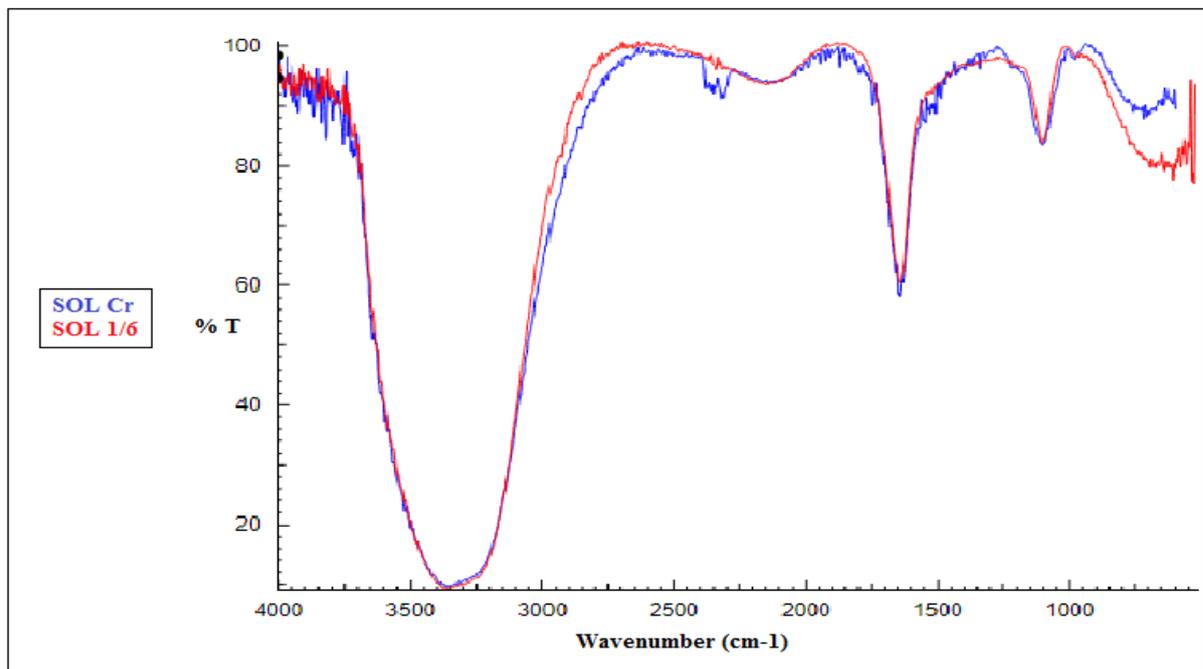


Realizado por: Lema Teresa 2021



**Figura 2-3:** Espectro Infrarrojo de la sol obtenida a partir de la muestra 1/5 y sal de cromo

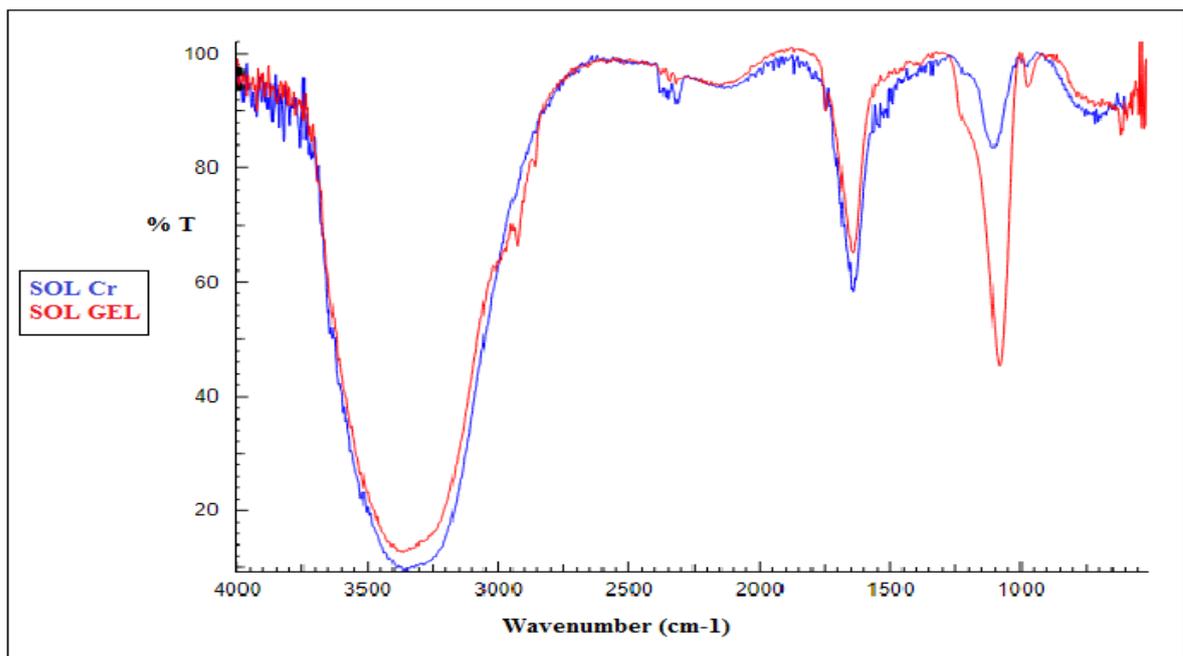
Realizado por: Lema Teresa 2021



**Figura 3-3:** Espectro Infrarrojo de la sol obtenida a partir de la muestra 1/6 y sal de cromo

Realizado por: Lema Teresa 2021

Se aisló muestras de gel formadas durante el proceso de acidificación del silicato de sodio para analizarla mediante espectroscopia infrarroja. El resultado de esta muestra se presenta en la figura 4-3 donde se observa que este es similar a los espectros de las muestras de sol de sílice y la sal comercial de cromo, presentado picos característicos del grupo OH y del enlace Si=O. La diferencia radica en el pico a 1080.91 el cual muestra una intensidad mayor de unidades de transmitancia, este incremento está relacionado con el enlace Si-O-Si, que se forma una vez la suspensión polimeriza y forma el gel. (Serrano et al. 2005)



**Figura 4-3:** Espectro infrarrojo de sal de cromo comercial utilizada para la curtición.

Realizado por: Lema Teresa 2021

### ***3.1.4 Efecto de la temperatura de operación***

La experiencia se repitió a dos diferentes temperaturas, acidificando muestras de silicato de sodio a las mismas proporciones de las estudiadas en la variación del pH. Se acidifico las soluciones hasta formar la suspensión coloidal y se mantuvo la temperatura constante con ayuda de un reverbero ajustando la intensidad según sea necesario. Los resultados se muestran en la tabla 4-3, donde se observa que al elevar la temperatura de operación la solución final se vuelve inestable y polimeriza formando gel. Esto último está relacionado a la eliminación de soluto que provoca el aumento de la temperatura, lo que permite que exista mayor concentración de átomos de silicio que interactúan para formar el gel de sílice (Sinche et al. 2019).

**Tabla 4-3:** Efecto de la temperatura de operación

Muestra	Temperatura (°C)	Formación de gel
1/4	20	No forma gel
1/5		No forma gel
1/6		No forma gel
1/4	30	Forma gel a los 30 minutos
1/5		Forma gel a las 2 horas
1/6		Forma gel a las 4 horas

Realizado por: Lema Teresa 2021

### 3.2 Resultados de prueba de calidad del cuero

Los resultados de las pruebas de calidad para la curtición de sol de sílice preparada a partir de silicato de sodio en diferentes proporciones son comparados contra los parámetros de calidad obtenido a partir de una curtición realizada con sal de cromo comercial. Para evaluar los parámetros cada tratamiento se comparó con ayuda de un software estadístico.

#### 3.2.1. Resistencia a la tensión

**Tabla 5-3:** Resultados de la resistencia a la tensión

Tratamiento	Repeticiones	Resistencia a la tensión (N/Cm <sup>2</sup> )
T1 (SOL DE SILICE 15 % - 1/4)	1	2857.14
	2	2946.43
	3	4047.62
	4	4238.10
T2 (SOL DE SILICE 15 % - 1/5)	1	2011.58
	2	3531.43
	3	4017.86
	4	2295.71
T3 (CURTICION CROMO %)	1	2105.84
	2	2200.00
	3	2379.22
	4	1943.41

Realizado por: Lema Teresa 2021

De acuerdo a la sección 3.2.1.1, se evidencia una diferencia estadísticamente significativa para la resistencia a la tensión cuando se realiza una curtición con silicato de sodio preparado a partir de una proporción 1/4 y otra con una sal de cromo comercial, obteniéndose una media 3522.32 N/cm<sup>2</sup> para la muestra de 1/4 por lo que cumple con la norma IUP 6 y este valor es superior al valor obtenido por el cromo el cual fue de 2157.12 N/cm<sup>2</sup>. Por otra parte, en la sección 3.2.1.2 se muestra que no existe diferencia significativa entre realizar una curtición con una sol preparada a partir de una proporción de 1/5 de silicato de sodio obteniéndose para esta última una media de 2964.15 N/cm<sup>2</sup>, por lo cual cumple con el valor mínimo mostrado en la norma IUP 6.

Los valores de resistencia a la tensión mostrados para ambas pruebas son superiores a los obtenidos por Meléndrez(2019), que realizó curtaciones a diferentes niveles de sol de sílice de proporción 1/5, obteniendo un máximo valor de 2861.42 para un porcentaje de sol del 10%. Este se debe a que en el presente trabajo se utilizó un porcentaje del 15% de sol de sílice.

### 3.2.1.1 Comparación T1-T3

- Prueba ANOVA

**Tabla 6-3:** Resultados de la prueba ANOVA para comparación T1-T3

<b>RESUMEN</b>						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Tratamiento 1 (sol 1/4)	4	1,41E4	3,52E3	5,21E5		
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	8,63E3	2,16E3	3,32E4		

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	3.72757E6	1	3.72757E6	13.46	0.0105	5,987
Dentro los grupos	1.66186E6	6	2,77E5			
Total (Corr.)	5.38943E6	7				

Realizado por: Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro de los grupos. Para esta investigación la razón-F, que es igual a 13.46, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P

0.01 lo cual es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Estas observaciones pueden ser confirmadas al aplicar una prueba de múltiples rangos.

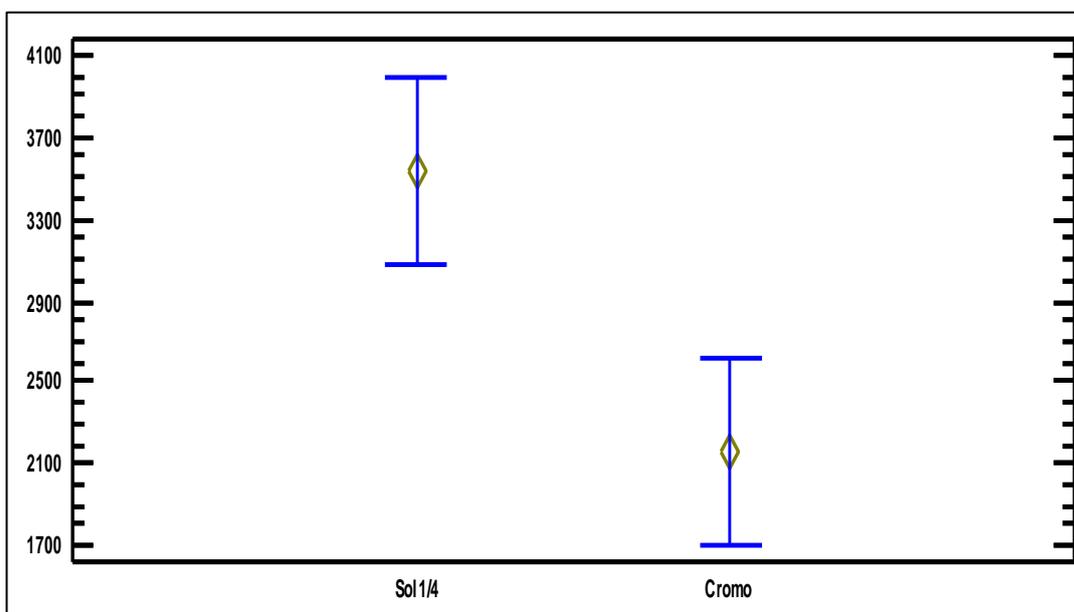
- Determinación de medias

**Tabla 7-3:** Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0%

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>		
			<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
Sol 1/4	4	3522.32	263.143	3067.02	3977.62
Cromo	4	2157.12	263.143	1701.82	2612.42
Total	8	2839.72			

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

En la tabla 7-3, se muestra la media para cada muestra, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. En la tabla también se señalan los rangos estos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los rangos son calculados para que en el caso de que dos medias sean iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Esto se puede observar en el grafico 1-3. Cabe mencionar que los rangos calculados, así como la medias son utilizados en las Pruebas de Rangos Múltiples, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Gráfico 1-3:** Gráfico de medias comparación T1-T3

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

- Prueba de múltiples rangos

**Tabla 8-3:** Prueba de múltiples rangos para comparación T1-T3

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Cromo	4	2157.12	X
Sol 1/4	4	3522.32	X

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 8-3, se muestran las medias entre los dos tratamientos comparados, se aplicó la metodología de diferencia mínima significativa de Fisher para determinar si las medias son significativamente diferentes. En esta tabla se coloca una X en los grupos cuya media no sea diferente significativamente, así si dos medias son iguales estadísticamente compartían la misma columna formando grupos homogéneos. En este caso se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas que muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.2.1.2 Comparación T2-T3

- Prueba ANOVA

**Tabla 9-3:** Resultados de la prueba ANOVA para comparación T2-T3

#### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 2 (sol 1/5)	4	1,19E4	2,96E3	9,29E5
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	8,63E3	2,16E3	3,32E4

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1.30259E6	1	1.30259E6	2.71	0.1509	5,987
Dentro los grupos	2.88578E6	6	4,81E5			
Total (Corr.)	4.18837E6	7				

Realizado por: Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro de los grupos. Para

esta investigación la razón-F, que es igual a 2,71, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P 0.1509 lo cual es menor que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Estas observaciones pueden ser confirmadas al aplicar una prueba de múltiples rangos.

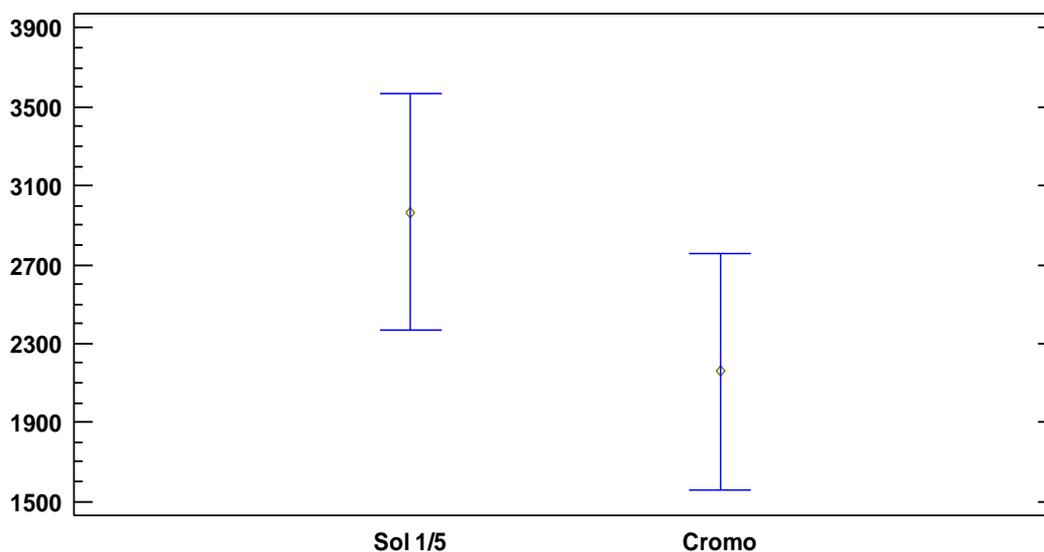
- Determinación de Medias

**Tabla 10-3:** Tabla de Medias con intervalos de confianza del 95.0% T2-T3

	Casos	Media	<i>Error Est.</i>		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Sol 1/5	4	2964.15	346.758	2364.17	3564.12
Cromo	4	2157.12	346.758	1557.15	2757.09
Total	8	2560.63			

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 10-3, se muestra la media para cada muestra, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. En la tabla también se señalan los rangos estos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los rangos son calculados para que en el caso de que dos medias sean iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Esto se puede observar en el grafico 2-3. Cabe mencionar que los rangos calculados, así como la medias son utilizados en las Pruebas de Rangos Múltiples, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Grafico 2-3:** gráfico de medias comparación T2-T3

Realizado por: Lema Teresa 2021

- Pruebas de Múltiple Rangos

**Tabla 11-3:** Prueba de múltiples rangos para comparación T2-T3

	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Cromo	4	2157.12	X
Sol 1/5	4	2964.15	X

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

En la tabla 11-3, se muestran las medias entre los dos tratamientos comparados, se aplicó la metodología de diferencia mínima significativa de Fisher para determinar si las medias son significativamente diferentes. En esta tabla se coloca una X en los grupos cuya media no sea diferente significativamente, así si dos medias son iguales estadísticamente compartirían la misma columna formando grupos homogéneos. En este caso se ha identificado 1 grupo homogéneo según la alineación de las X's en columnas, esto indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los dos tratamientos con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.2.2 Porcentaje de elongación

**Tabla 12-3:** Resultados para la prueba Porcentaje de elongación.

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Porcentaje de elongación</b>
T1 (SOL DE SILICE 15 % - 1/4)	1	57.50
	2	90.00
	3	57.50
	4	65.00
T2 (SOL DE SILICE 15 % - 1/5)	1	147.50
	2	82.50
	3	62.50
	4	62.50
T3 (CURTICION CROMO %)	1	57.50
	2	67.50
	3	60.00
	4	55.00

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

De acuerdo a las pruebas estadísticas realizadas para el porcentaje de elongación no existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias para los tratamientos T1-T3 y para los tratamientos

T2-T3. Estadísticamente utilizar sol de sílice preparada a partir de una muestra de silicato de sodio de proporción 1/4 y 1/5 produce resultados similares a realizar una curtición de cromo para el porcentaje de elongación, se observa un porcentaje medio de 67.5% y 88.75% respectivamente contra el porcentaje de 60% obtenido para las muestras tratadas con cromo. Estos porcentajes cumplen con la norma expresada por Asociación Española En La Industria Del Cuero (2002) donde se señala que el porcentaje mínimo de elongación para el cuero es del 40%.

El mayor porcentaje de elongación se presenta para la sol preparada a partir de una proporción 1/5, el valor obtenido para esta muestra es superior al reportado por Meléndrez (2019) quien reporta un valor de 62.5% para una curtición del 10% utilizando sol de sílice junto con 8% de guarango. Por otra parte el valor obtenido en este trabajo es superior al mostrado por Narvaez (2020), que para el 15% de sol de sílice reporta un porcentaje de 81% de elongación, sin embargo estos valores difieren en apenas un 9.56%.

### 3.2.2.1 Comparación T1-T3

- Prueba ANOVA

**Tabla 13-3:** Tabla ANOVA comparación T1-T3 porcentaje de elongación.

<b>RESUMEN</b>				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 1 (sol 1/4)	4	270	67,5	237,5
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	240	60	29,17

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón- F</b>	<b>Valor- P</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	112.5	1	112.5	0.84	0.3938	5,987
Dentro los grupos	800.0	6	133.333			
Total (Corr.)	912.5	7				

Realizado por: Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro de los grupos. Para

esta investigación la razón-F, que es igual a 0,84, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P 0.3938 lo cual es menor que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0%.

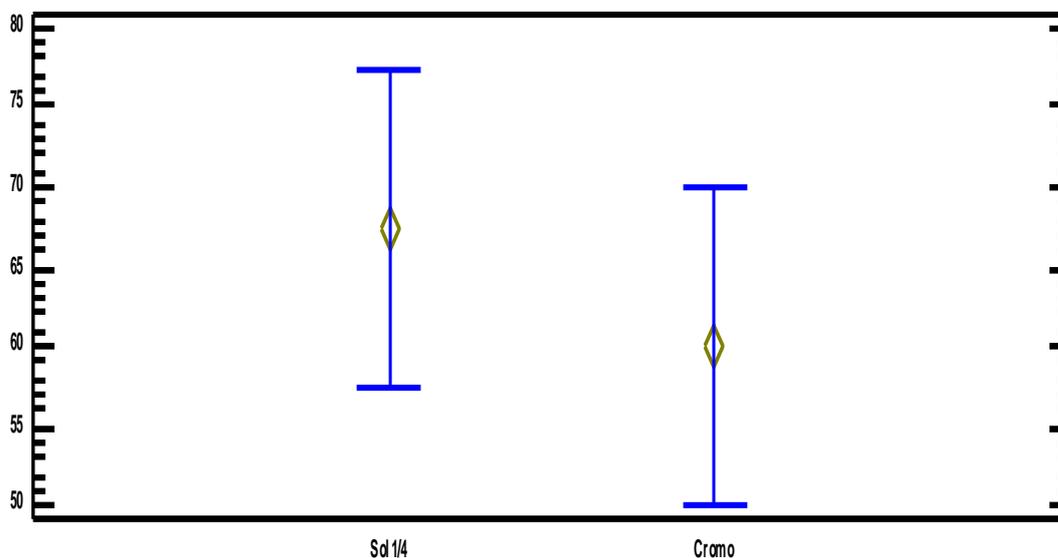
- Determinación de medias

**Tabla 14-3:**Tabla de Medias para porcentaje de elongación T1-T3

	Casos	Media	Error Est.	
			(s agrupada)	Límite Inferior Límite Superior
Sol 1/4	4	67.5	5.7735	57.5105 77.4895
Cromo	4	60.0	5.7735	50.0105 69.9895
Total	8	63.75		

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 14-3, se muestra la media para cada muestra, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. En la tabla también se señalan los rangos, estos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los rangos son calculados para que en el caso de que dos medias sean iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Esto se puede observar en el grafico 3-3. Cabe mencionar que los rangos calculados, así como la medias son utilizados en las Pruebas de Rangos Múltiples, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Gráfico 3-3:** Gráfico de medias de porcentaje de elongación T1-T3

Realizado por: Lema Teresa 2021

- Pruebas de Múltiple Rangos

**Tabla 15-3:** Prueba de múltiples rangos de porcentaje de elongación T1-T3

	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Cromo	4	60.0	X
Sol ¼	4	67.5	X

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

En la tabla 15-3, se muestran las medias entre los dos tratamientos comparados, se aplicó la metodología de diferencia mínima significativa de Fisher para determinar si las medias son significativamente diferentes. En esta tabla se coloca una X en los grupos cuya media no sea diferente significativamente, así si dos medias son iguales estadísticamente compartirían la misma columna formando grupos homogéneos. En este caso se ha identificado 1 grupo homogéneo según la alineación de las X's en columnas, esto indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los dos tratamientos con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.2.2.2 Comparación T2-T3

- Prueba ANOVA

**Tabla 16-3:** Tabla ANOVA porcentaje de elongación comparación T2-T3

<b>RESUMEN</b>				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 2 (sol 1/5)	4	355	88,75	1622,92
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	240	60	29,17

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón- F</b>	<b>Valor- P</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	1653.13	1	1653.13	<b>2.00</b>	<b>0.2069</b>	5,987
Dentro los grupos	4956.25	6	826.042			
Total (Corr.)	6609.38	7				

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro los grupos. Para esta investigación la razón-F, que es igual a 2,00, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P 0.01 lo cual es menor que 0.2019, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0%.

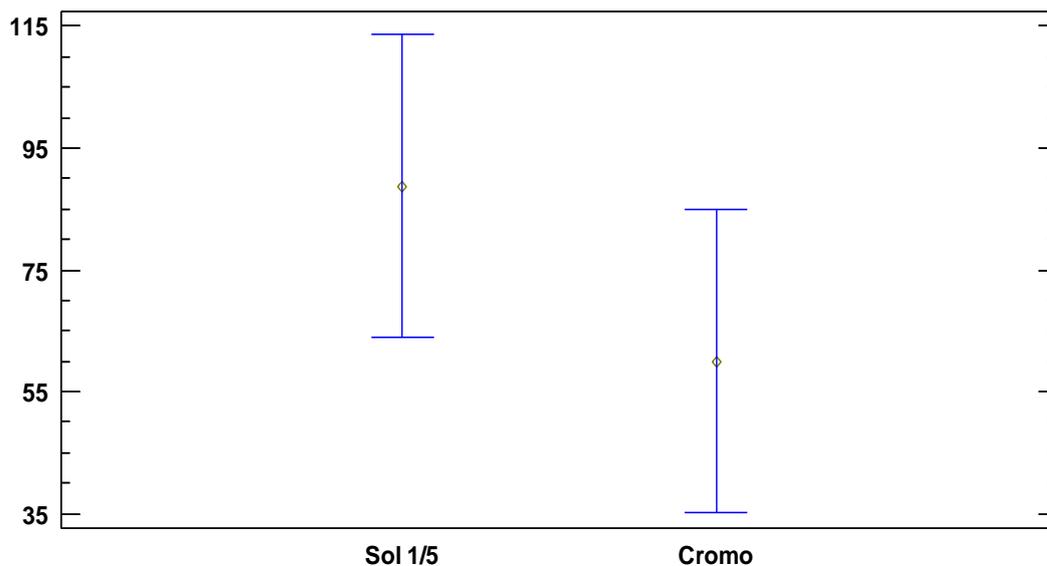
- Determinación de Medias

**Tabla 17-3:** Tabla de medias de porcentaje de elongación T2-T3

	Casos	Media	Error Est.		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Sol 1/5	4	88.75	14.3705	63.8857	113.614
Cromo	4	60.0	14.3705	35.1357	84.8643
Total	8	74.375			

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 17-3 se muestra la media para cada muestra, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. En la tabla también se señalan los rangos estos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los rangos son calculados para que en el caso de que dos medias sean iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Esto se puede observar en el grafico 4-3. Cabe mencionar que los rangos calculados, así como la medias son utilizados en las Pruebas de Rangos Múltiples, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Gráfico 4-3:** Grafico de medias de porcentaje de elongación T2-T3

Realizado por: Lema Teresa 2021

- Pruebas de Múltiple Rangos

**Tabla 18-3:** Tabla de múltiples rangos de porcentaje de elongación T2-T3

	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Cromo	4	60.0	X
Sol 1/5	4	88.75	X

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 18-3, se muestran las medias entre los dos tratamientos comparados, se aplicó la metodología de diferencia mínima significativa de Fisher para determinar si las medias son significativamente diferentes. En esta tabla se coloca una X en los grupos cuya media no sea diferente significativamente, así si dos medias son iguales estadísticamente compartían la misma columna formando grupos homogéneos. En este caso se ha identificado 1 grupo homogéneo según la alineación de las X's en columnas, esto indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los dos tratamientos con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.2.3 Porcentaje de contracción

**Tabla 19-3:** Resultados porcentaje de contracción a 90 °C.

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Porcentaje de elongación</b>
T1 (SOL DE SILICE 15 % - 1/4)	1	15,63
	2	16,67
	3	9,68
	4	16,67
T2 (SOL DE SILICE 15 % - 1/5)	1	12,77
	2	28,13
	3	15,63
	4	15,63
T3 (CURTICION CROMO %)	1	3,23
	2	6,25
	3	3,13
	4	3,13

Realizado por: Lema Teresa 2021

Las pruebas estadísticas realizadas muestran que todos los tratamientos T1 (silicato 1/4) y T2 (silicato 1/5) y la curtición realizada con una sal de cromo. Obteniéndose una media de 14.6625%,

18.04% y 3.935%, a una temperatura de 90 °C. En la práctica lo ideal es que el cuero completamente curtido no presente ningún tipo de contracción al someterlo a alta temperatura, la temperatura que resista el cuero antes de sufrir contracciones es muy importante ya que en muchos procesos de fabricación de producto final el cuero es sometido a temperaturas elevadas Narvaez (2020). Los resultados tan diferentes se deben a que se ha comprobado experimentalmente que la curtición realizada con cromo es la que mejor tolera las altas temperaturas, llegando a resistir los 100°C. El cuero obtenido por otro tipo de curtientes presenta contracciones a menor temperatura, siendo los curtientes inorgánicos los que producen contracción a la menor temperatura posible (70°C) Ayavaca (2017). Los resultados mostrados en esta prueba sugieren que el cuero curtido con sol de sílice resiste una temperatura menor a 90 °C, según Narvaez (2020) esta temperatura sería a los 75°C, valor que está por encima de la norma IUP 12 que establece una temperatura mínima de 70 °C antes de que el cuero sufra contracción.

### 3.2.3.1 Comparación T1-T3

- Prueba ANOVA

**Tabla 20-3:** Tabla ANOVA porcentaje de contracción T1-T3

<b>RESUMEN</b>				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 1 (sol 1/4)	4	58,65	14,663	11,274
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	15,74	3,935	2,384

### ANÁLISIS DE VARIANZA

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón- F</b>	<b>Valor- P</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	230,159	1	230,158	<b>33,703</b>	<b>0,0011</b>	5,987
Dentro los grupos	40,973	6	6,829			
Total (Corr.)	271,132	7				

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro de los grupos. Para

esta investigación la razón-F, que es igual a 33.703, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P 0.01 lo cual es menor que 0.0011, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0%.

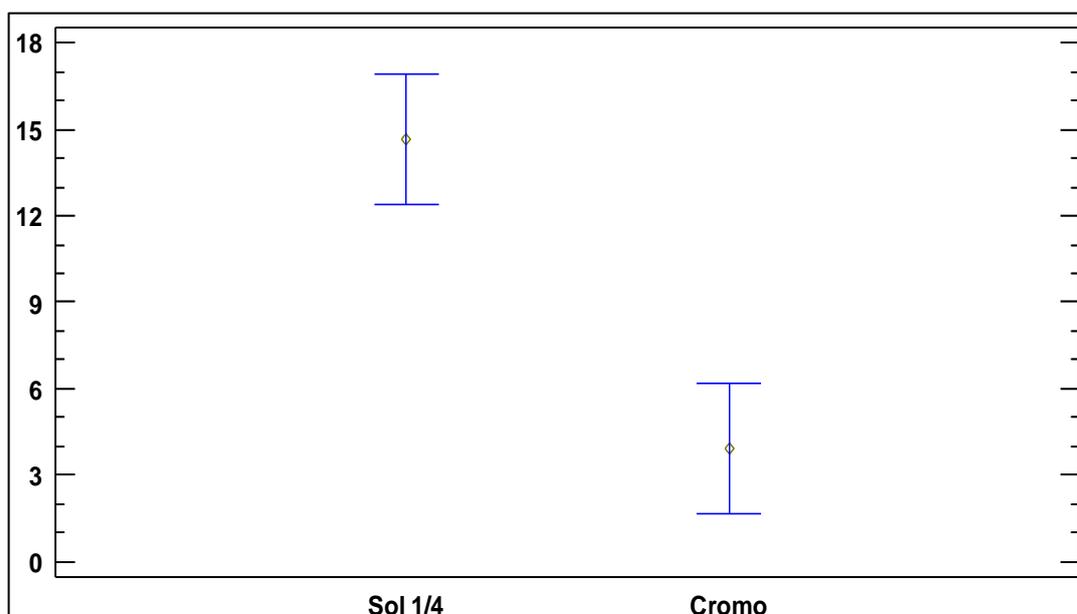
- Determinación de Medias

**Tabla 21-3:** Tabla de medias para porcentaje de contracción T1-T3

	Casos	Media	Error Est.	
			(s agrupada)	Límite Inferior Límite Superior
Sol 1/4	4	14.6625	1.30661	12.4018 16.9232
Cromo	4	3.935	1.30661	1.67425 6.19575
Total	8	9.29875		

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 21-3, se muestra la media para cada muestra, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. En la tabla también se señalan los rangos estos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los rangos son calculados para que en el caso de que dos medias sean iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Esto se puede observar en el grafico 5-3. Cabe mencionar que los rangos calculados, así como la medias son utilizados en las Pruebas de Rangos Múltiples, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Gráfico 5-3:** Gráfico de medias de porcentaje de contracción T1-T3

Realizado por: Lema Teresa 2021

- Pruebas de Múltiple Rangos

**Tabla 22-3:** Prueba de múltiples rangos porcentaje de contracción T1-T3

	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Cromo	4	3.935	X
Sol ¼	4	14.6625	X

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

En la tabla 22-3, se muestran las medias entre los dos tratamientos comparados, se aplicó la metodología de diferencia mínima significativa de Fisher para determinar si las medias son significativamente diferentes. En esta tabla se coloca una X en los grupos cuya media no sea diferente significativamente, así si dos medias son iguales estadísticamente compartirían la misma columna formando grupos homogéneos. En este caso se ha identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, que muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.2.3.2 Comparación T2-T3

- Prueba ANOVA

**Tabla 23-3:** Tabla ANOVA porcentaje de contracción T2-T3

#### RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 2 (sol 1/5)	4	72,16	18,04	47,065
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	15,14	3,935	2,384

#### ANÁLISIS DE VARIANZA

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón- F</b>	<b>Valor- P</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	397.902	1	397.902	16.09	0.0070	5,987
Dentro los grupos	148.349	6	24.7249			
Total (Corr.)	546.252	7				

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro de los grupos. Para

esta investigación la razón-F, que es igual a 16.09, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P 0.01 lo cual es menor que 0.0070, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 2 variables con un nivel del 95.0%.

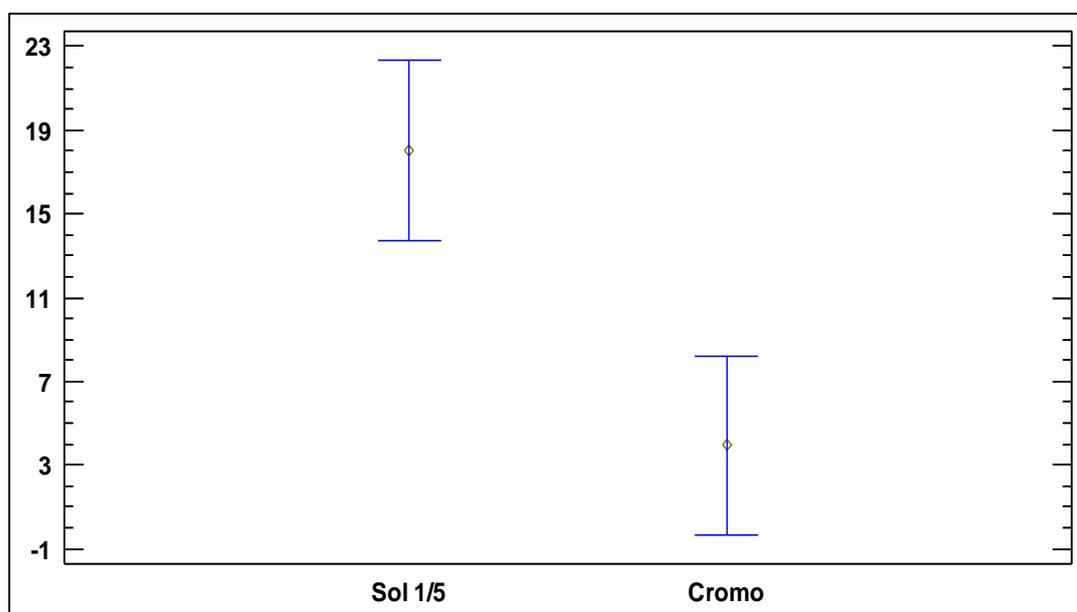
- Determinación de medias

**Tabla 24-3:** Tabla de medias porcentaje de contracción T2-T3

<i>Error Est.</i>					
	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>(s agrupada)</b>	<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>
Sol 1/5	4	18.04	2.48621	13.7383	22.3417
Cromo	4	3.935	2.48621	-0.366717	8.23672
Total	8	10.9875			

Realizado por: Lema Teresa 2021

En la tabla 24-3, se muestra la media para cada muestra, así como el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. En la tabla también se señalan los rangos estos están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los rangos son calculados para que en el caso de que dos medias sean iguales, sus intervalos se traslaparán un 95.0% de las veces. Esto se puede observar en el grafico 6-3. Cabe mencionar que los rangos calculados, así como la medias son utilizados en las Pruebas de Rangos Múltiples, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.



**Grafico 6-3:** Grafico de medias porcentaje de contracción T2-T3

Realizado por: Lema Teresa 2021

- Pruebas de Múltiple Rangos

**Tabla 25-3:** Prueba de múltiples rangos de porcentaje de contracción T2-T3

	<b>Casos</b>	<b>Media</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
Cromo	4	3.935	X
Sol 1/5	4	18.04	X

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

En la tabla 25-3, se muestran las medias entre los dos tratamientos comparados, se aplicó la metodología de diferencia mínima significativa de Fisher para determinar si las medias son significativamente diferentes. En esta tabla se coloca una X en los grupos cuya media no sea diferente significativamente, así si dos medias son iguales estadísticamente compartirían la misma columna formando grupos homogéneos. En este caso se ha identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas que muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.2.3. Resultados prueba de abrasión al frote en seco

**Tabla 26-3:** Resultados Prueba Abrasión al Frote Seco

<b>Tratamiento</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Resultado Obtenido</b>
T1 (SOL DE SILICE 15 % - 1/4)	1	100
	2	150
	3	100
	4	100
T2 (SOL DE SILICE 15 % - 1/5)	1	150
	2	150
	3	150
	4	100
T3 (CURTICION CROMO %)	1	100
	2	150
	3	150
	4	100

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

Los datos arrojados por la prueba de abrasión muestran que se obtiene valores de calidad superior al realizar un curtición con silicato en preparado a partir de la muestra 1/5 donde se obtiene una media de 137.5 ciclos, seguido por la muestra de cromo donde se obtiene una media de 125 ciclos finalmente el valor más bajo obtenido es para el tratamiento de sol de sílice de 1/4 con una media de 112.5 ciclos. Esto es evidenciable también en el hecho que se obtiene con más frecuencia un valor de 150 en la muestra de 1/5 que en los otros dos tratamientos.

- Prueba ANOVA

**Tabla 27-3:** Tabla ANOVA de abrasión al frote en seco.

<b>RESUMEN</b>				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Tratamiento 1 (sol 1/4)	4	450	112,5	625
Tratamiento 2 (sol 1/5)	4	550	137,5	625
Tratamiento 3 (sal de cromo)	4	500	125	833,333

#### **ANÁLISIS DE VARIANZA**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Entre grupos	1250.0	2	625.0	0.90	0.4402	5,987
Dentro los grupos	6250.0	9	694.444			
Total (Corr.)	7500.0	11				

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

La prueba ANOVA utilizada para comparar las muestras analiza la varianza descomponiéndola en dos componentes, uno de ellos es un componente entre grupos y el otro dentro de los grupos. Para esta investigación la razón-F, que es igual a 0.90, lo cual corresponde a un valor de probabilidad P 0.01 lo cual es menor que 0.4402, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0%.

- Prueba de Kruskal y Wallis

**Tabla 28-3:** Prueba de Kruskal-Wallis

	<b>Tamaño de Muestra</b>	<b>Rango Promedio</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Valor-P</b>
Sol 1/4	4	5.0	1.83333	0.39985
Sol 1/5	4	8.0		
Cromo	4	6.5		

**Realizado por:** Lema Teresa 2021

Debido a que la variable estudiada es una categórica se recurre a la prueba de Kruskal-Wallis que evalúa la hipótesis nula de que las medianas dentro de cada una de las 3 muestras es la misma. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, se acepta la hipótesis nula y se dice que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

### 3.3 Análisis de Costo

En la tabla 29-3 y 30-3 se muestran los costos asociados a la producción de un cuero curtido y con acabados. El total del costo de producción para las pieles tratadas es de 28.83 USD este valor produce un costo aproximado de 7.21 USD por cada cuero producido. Tomando en cuenta el área promedio de los cueros el costo de producción es un valor de aproximado de 0.15 USD/dm<sup>2</sup> que se encuentra en el rango establecido de producción por Puente (2018) citado en Meléndrez (2019). Este costo de producción es superior al costo de un cuero producido con sales de cromo, estimado en 0.11 USD/dm<sup>2</sup>. Esto puede deberse al uso de compuestos auxiliares como el aldehído, a su vez es posible que estos costos puedan compensar con una reducción en las necesidades del tratamiento de aguas residuales. Como lo señala (Meléndrez, 2019) es mucho más fácil tratar una agua residual de un proceso de curtición realizado con silicato de sodio que uno realizado con sales de cromo.

**Tabla 29-3:** Costos del proceso de Curtido

<b>Materia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Peso kg</b>	<b>\$/kg</b>	<b>\$ total</b>
Peso de Piel		9.5		16
Agua	300	28.5	0.00065	0.018525
Sulfato de Amonio	1	0.095	0.6	0.057
Bisulfito de Sodio	0.5	0.0475	1.3	0.06175
Rindente	0.5	0.0475	3.8	0.1805
Sal común	8	0.76	0.08	0.0608
Formiato de Sodio	0.5	0.0475	1.4	0.0665
Acido Fórmico	1	0.095	2.3	0.2185
Sol de sílice	15	1.425	0.26	0.3705
Aldehído	4	0.38	6.9	2.622
Tara	5	0.475	3	1.425
Total				21.081075

Realizado por: Lema Teresa 2021

**Tabla 30-3:** Costos de proceso de re-curtido y tintura y engrase

<b>Materia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Peso</b>	<b>\$/kg</b>	<b>\$ total</b>
Peso de Piel		6.5		0
Agua	300	19.5	0.00065	0.012675
Tenso activo	0.5	0.0325	3	0.0975
Ácido Fórmico	0.5	0.0325	2.3	0.07475
Sol de sílice	3	0.195	0.26	0.0507
Sintético	3	0.195	3.5	0.6825
Bicarbonato de amonio	1	0.065	2.2	0.143
Rellenante de falda	2	0.13	3.8	0.494
Dispersante	2	0.13	3.6	0.468
Grasa	2	0.13	4.1	0.533
Anilina Café	1.5	0.0975	8.6	0.8385
Grasa	6	0.39	4.1	1.599
Grasa	8	0.52	4.1	2.132
Anilina Café	0.5	0.0325	8.6	0.2795
Tara	1	0.065	3	0.195
Ácido Fórmico	1	0.065	2.3	0.1495
Total				7.749625

Realizado por: Lema Teresa 2021

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo sol de sílice preparado a partir del proceso de acidificación de silicato de sodio con ácido sulfúrico, el cual posteriormente fue probado como agente curtiente demostrándose que puede ser utilizado para este propósito.
- Mediante experimentación directa se identificó que los parámetros de operación que más influyen en el proceso de obtención de sol de sílice son la temperatura y pH, encontrándose que la temperatura de operación debe ser a temperatura ambiente mientras que el pH debe estar ajustado alrededor de 2.5.
- Se comparó los parámetros que presenta la sol de sílice con el sulfato de cromo comercial identificándose la existencia de grupos funcionales OH y radicales oxácidos del metal, el cual interactúa con el colágeno de la piel para efectuar la curtición.
- Se realizó pruebas de curtición utilizando sol de sílice en combinación con un aldehído, donde se comparó los parámetros de calidad con una curtición hecha con sal de cromo comercial obteniéndose que el sol preparado en la proporción de 1/5 es el que más se acerca a la calidad exhibida por la curtición de cromo excepto en el porcentaje de contracción.
- Se estimó los costos de producción de un cuero terminado utilizando sol de sílice encontrándose que estos son superiores a los desarrollados con sales de cromo

## RECOMENDACIONES

- Realizar futuras investigaciones en donde se varíen la velocidad de agitación para identificar su efecto en la obtención de sol de sílice.
- Realizar el análisis económico del proceso completo de curtición con sol de sílice incluyendo el costo del tratamiento de las aguas residuales, pues el tratamiento de estas tal vez no requiera el uso de técnicas complejas de remoción y los costos de producción podrían verse compensados.
- Realizar pruebas analíticas para identificar de manera cuantitativa el sol de sílice obtenido al final del proceso de acidificación, de tal forma que se conozca de manera exacta la cantidad de sol que ingresa al proceso de curtición.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACABADOS, A., 2014. El curtido de las pieles: Un proceso con historia. [en línea]. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: <http://acabadosabellan.com/el-curtido-de-las-pieles-un-proceso-con-historia/>.
- ADZET, J. et al., 1985. *Química técnica de tenería* [en línea]. 1a ed. Igualada, España: Romanya-Valls. ISBN 9788439833758. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=TvZjPQAACAAJ>.
- ARTIGAS, M., 1987. *Manual de Curtiembre: Avances en la Curtición de pieles*. 1a. Barcelona: Latinoamericana.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA EN LA INDUSTRIA DEL CUERO, 2002. *Normas técnica. Normas técnicas para la resistencias físicas del cuero. s. Barcelona*. 2002. España: s.n.
- AYAVACA, G., 2017. *Obtención De Cuero Libre De Cromo Wet White Para La Fabricación De Tapicería Automotriz* [en línea]. S.l.: Universidad de Cuenca. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27404/1/Trabajo de titulación.pdf>.
- BARRETO, S., 2006. *Diseño de calzado urbano*. Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- CALLE, S., 2018. Características del Silica gel. *SCRIBD* [en línea]. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/371425273/Silica-Gel>.
- CLARAMUNT, R. et al., 2013. *compuestos químicos*. 1. Madrid: UNED. ISBN 978-84-362-6827-0.
- CÓNDOR, E. et al., 2016. Evaluación del consumo y calidad del agua en el proceso de curtido en la Industria del cuero en la Empresa ecuatoriana de Curtidos Salazar S.A, provincia de Cotopaxi, Cantón Salcedo, Período 2014-2015. , pp. 4-94.
- COTANCE, C., 2004. *Ciencia y Tecnología en la Industria del Cuero*. Igualada, España: Curtidores Europeos.
- CUERONET.COM, 2013. División superficie de la piel. [en línea]. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.biblioteca.org.ar/libros/cueros/div\\_superficie.htm](https://www.biblioteca.org.ar/libros/cueros/div_superficie.htm).
- GONZÁLEZ, F.J., 2013. *Materiales y servicios en reparación de calzado y marroquinería*. 1a.

Antequera, España: IC Editorial. ISBN 978-84-15792-18-5.

- LEPORE, A., 1943. Silicio . En: ASOCIACIÓN DE ESTUDIANTES DE QUÍMICA (ed.) [en línea]. 1. Montevideo : Universidad de la Republica , pp. 12-15. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/67b962ff20a02e17438e38a873869103.pdf>.
- LUIS, S. V et al., 1996. *Introducción a la química orgánica* [en línea]. 1. Mexico D.F: Publicacions de la Universitat Jaume I. Colección «Material docente». ISBN 9788480210805. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=0YBjAAAACAAJ>.
- MARTÍNEZ, L., 2015. *Aplicación de una curtición combinada con granofin F 90 y tres diferentes niveles de sulfato de aluminio en pieles ovinas* [en línea]. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo . [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6098/1/27T0327.pdf>.
- MELÉNDREZ, F., 2019. *Evaluación de diferentes niveles de silicato de sodio en combinacion con guarango utilizados para la curtición de diferentes pieles caprinas*. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- MURILLO, J. et al., 2010. *Métodos de investigación de enfoque experimental*. . S.l.:
- NARVAEZ, A., 2020. *Curtición inorgánica de pieles bovinas utilizando diferentes niveles de sol de sílice para cuero de calzado*. S.l.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- NUÑEZ, K., 2019. Las principales reacciones químicas de los silicatos de sodio . *QuimiNet.com* [en línea]. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/las-principales-reacciones-quimicas-de-los-silicatos-de-sodio-3427156.htm>.
- PUENTE, C.A., 2018. *Aplicación de un proceso de curtido de pieles bovinas sin cromo utilizando oxazolidina en combinación con Caelsalpinia Spinosa (TARA)*. S.l.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- RAISMAN, J.S. et al., 2002. El Curtido al Cromo. [en línea]. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: [http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/curtido\\_al\\_cromo.htm](http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/curtido_al_cromo.htm).
- REINVENTANDO ELCALZADO.ES, 2012. *Curtición Vegetal. Conoce el proceso de curtición de la piel para el calzado* [en línea]. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: <https://reinventandoelcalzado.es/curticion-vegetal/>.

- RODRÍGUEZ-PÁEZ, J.E. et al., 2001. Estudio de la formación de los complejos intermedios durante la síntesis de alumina. *Materials Research* [en línea], vol. 4, no. 4, pp. 255-264. [Consulta: 11 febrero 2021]. ISSN 1516-1439. DOI 10.1590/s1516-14392001000400007. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-14392001000400007&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392001000400007&lng=en&nrm=iso&tlng=es).
- RUIZ, L.J., 2010. Investigación experimental. [en línea]. Oaxaca de Juárez: [Consulta: 6 diciembre 2020]. Disponible en: [www.monografias.com](http://www.monografias.com).
- SALDAÑA, A., 2009. *Remojo de Pieles mediante vacío* [en línea]. México D.F: Centro de innovación Aplicada en tecnologías competitivas. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: [https://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1019/109/1/Tesis-armando saldaña.pdf](https://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1019/109/1/Tesis-armando%20salda%C3%B1a.pdf).
- SALGUERO, A.V., 2013. *Técnicas básicas de guarnicionería UF1727*. 1a. Antequera, España: IC Editorial. ISBN 978-84-15942-73-3.
- SERRANO, S. et al., 2005. Síntesis y caracterización de Sílice dopada con óxidos de hierro por la vía Sol-Gel Síntesis. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* [en línea], vol. 25, no. 25, pp. 3-14. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0255-69522005000100002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522005000100002).
- SINCHE, J. et al., 2019. *Obtención de sílica gel con cloruro de cobalto como autoindicador de humedad* [en línea]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú . [Consulta: 14 febrero 2021]. Disponible en: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5239/Shinche - Vilctoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5239/Shinche%20-%20Vilctoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- VILLAGRAN, E. et al., 2012. Divisiones de la piel. [en línea]. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/inta>.
- ZAPATER BES, D. et al., 2017. Obtención de sílice precipitada en un sistema de dos reactores consecutivos. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, vol. 5, pp. 4-6. DOI 10.26754/jji-i3a.201711954.

## ANEXOS

**ANEXO A:** Descripción del proceso de pelambre en las pieles caprinas

**FECHA:** FEBRERO 2021

**TRATAMIENTO:** PELAMBRE

**UNIDADES:** 8 Pieles

**PESO:** 13,5 Kg

**TIPO DE CUERO:** Marroquinería

**ESPESOR:** 1mm

PROCESO	%	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACIÓN	pH
Partir del cuero					
Pesar pieles					
Lavado	300	Agua cisterna	ambiente		
	1	Tenso activos- directo		24 horas	
Ecurrir					
Pesar		Pasar al bombo			
Pelambre	200	Agua	Ambiente		
	4	Cal- $Ca(OH)_2$ directo			
	2.5	Sulfuro de sodio		Mover 5 horas	
Descansar				4 horas	
Descargar					
Lavado	300	Agua de cisterna	Ambiente	15 minutos	
Descargar					

**Realizado por:** Lema Teresa

**ANEXO B:** Descripción del proceso de curtición de las pieles caprinos con el 15% sol de sílice en proporción de 1/4.

**FECHA:** FEBRERO 2021

**TRATAMIENTO:** T1

**UNIDADES:** 8 Pielés

**PESO:** 8 Kg

**TIPO DE CUERO:** Marroquinería

**ESPESOR:** 1mm

PROCESO	%	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACIÓN	pH
Pesar pieles					
2 Lavados	300	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Descargar					
Lavado	300	Agua de cisterna	Ambiente		
	1	Sulfato de amonio - $((NH_4)_2SO_4)$		30 min	
Descargar					
Desencalado y rendido	300	Agua de cisterna	Ambiente		
	1	Sulfato de amonio - $((NH_4)_2SO_4)$		60 min	
	0,5	Bisulfito de sodio - $(Na_2S_2O_5)$		30 min	6,79
	0,5	Rindente		90 min	
2 Lavados	300	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Descargar					
Piquelado	300	Agua de cisterna			
	8	Sal común - (NaCl)		20 min	
	0,5	Formiato de sodio (HCOONa)		20 min	
	1	Ácido fórmico (H-COOH)		30 min	
<b>Curtición</b>	<b>15</b>	<b>Sol de sílice (pH 2,52)</b>		<b>60 min</b>	
	4	Sintético		60 min	
	5	Tara		120 min	

**Realizado por:** Lema Teresa

**ANEXO C:** Descripción del proceso de curtición de las pieles caprinos con el 15% sol de sílice en proporción de 1/5.

**FECHA:** FEBRERO 2021

**TRATAMIENTO:** T2

**UNIDADES:** 8 Pieles

**PESO:** 9,5 Kg

**TIPO DE CUERO:** Marroquinería

**ESPESOR:** 1mm

PROCESO	%	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACIÓN	pH
Pesar pieles					
2 Lavados	300	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Descargar					
Lavado	300	Agua de cisterna	Ambiente		
	1	Sulfato de amonio - $((NH_4)_2SO_4)$		30 min	
Descargar					
Desencalado y rendido	300	Agua de cisterna	Ambiente		
	1	Sulfato de amonio - $((NH_4)_2SO_4)$		60 min	
	0,5	Bisulfito de sodio - $(Na_2S_2O_5)$		30 min	6,79
	0,5	Rindente		90 min	
2 Lavados	300	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Descargar					
Piquelado	300	Agua de cisterna			
	8	Sal común - (NaCl)		20 min	
	0,5	Formiato de sodio (HCOONa)		20 min	
	1	Ácido fórmico (H-COOH)		30 min	
<b>Curtición</b>	<b>15</b>	<b>Sol de sílice (pH 2,52)</b>		<b>60 min</b>	
	4	Sintético		60 min	
	5	Tara		120 min	

**Realizado por:** Lema Teresa

**ANEXO D:** Descripción del proceso de re – curtición y neutralización de las pieles caprinos con el 15% sol de sílice.

**FECHA:** FEBRERO 2021

**TRATAMIENTO:** re – curtición y neutralización

**UNIDADES:** 8 Pieles

**PESO:** 6,5 Kg

**TIPO DE CUERO:** Marroquinería

**ESPESOR:** 1mm

PROCESO	%	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACIÓN	pH
Pesar pieles					
Lavado	300	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Descargar					
Lavado	300	Agua de cisterna	Ambiente		
	0,5	Tenso activo		15 min	
	0,5	Ácido fórmico (H-COOH)		15 min	
Descargar					
Neutralización	300	Agua de cisterna	50°C		
	3	Sol de sílice (pH 2,52)		30 min	
	3	Sintético		60 min	
	1	Bicarbonato de amonio, dilución 1/10		60 min	
Descargar					
Lavado	300	Agua de cisterna	50°C	15 min	
Descargar					
Teñido	300	Agua de cisterna	70°C		
	2	Rellenante de faldas		60 min	
	2	Dispersante de grasa		60 min	
	2	Grasa SULPHIROL HF		60 min	
Engrasado	1,5	Anilina (café)		60 min	
	6	Grasa SULPHIROL HF		60 min	
	8	Grasa SYNTHOL YY 707		60 min	
Fijación	0,5	Anilina (café)		40 min	
	1	Tara		30 min	
	1	Ácido fórmico (H-COOH)		30 min	

	1	Ácido fórmico (H-COOH)		Dejar en reposo 12 hrs	
Lavado final	300	Agua cisterna	Ambiente	15 min	
Descargue					
Perchado y secado				24 horas	
Estacado y recortado					

**Realizado por:** Lema Teresa

ANEXO E: Pruebas de calidad del cuero físico-mecánicas.



RESISTENCIA A LA TENSION



ABRASIÓN AL FROTE EN SECO



TEMPERATURA DE CONTRACCIÓN



PORCENTAJE DE ELONGACIÓN

**ANEXO F: Reactivos utilizados para la obtención de la sol de sílice.**



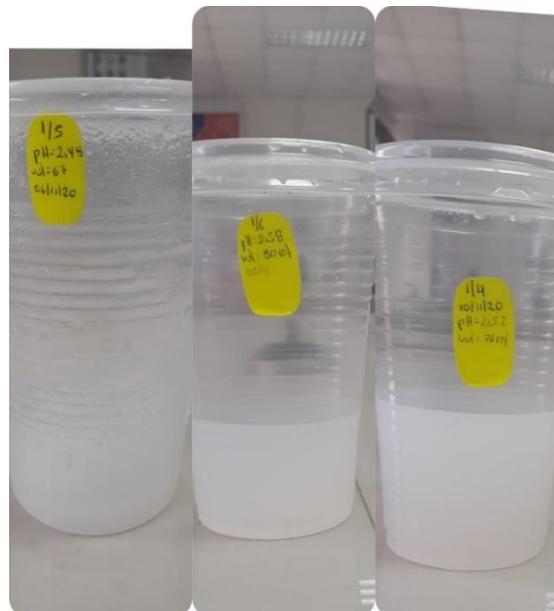
**ÁCIDO SULFÚRICO**



**SILICATO DE SODIO**



**AGITACIÓN CONSTANTE DE LOS  
REACTIVOS**

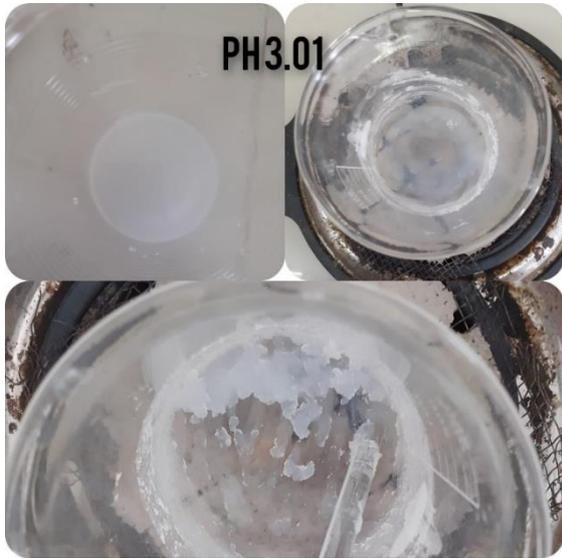


**SOL DE SÍLICE A DIFERENTES  
CONCENTRACIONES**

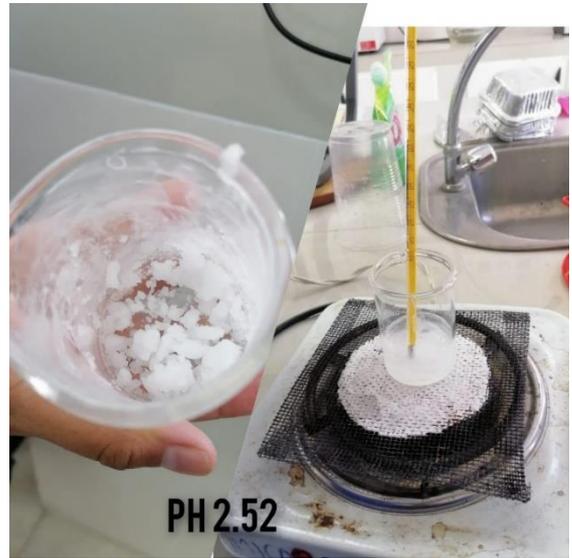
**Anexo G:** Estado físico de las soluciones a diferentes pH



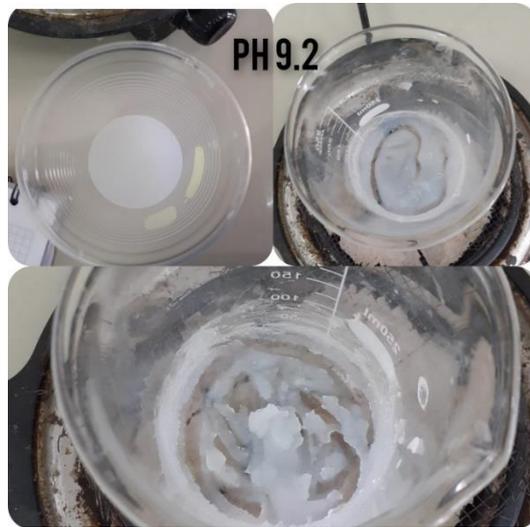
**Anexo H:** Efecto de la temperatura de operación.



pH 3,01



pH 2,52



pH 9,2

**ANEXO I: Proceso de obtención de los cueros.**



**ANEXO J:** Equipo de espectrometría infrarroja.



Marca Jasco FT/II 4100



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 02 / 06 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Teresa Elizabeth Lema Macas</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Química
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.

**LUIS ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS**

Firmado digitalmente por LUIS  
ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento  
(DN): c=EC, I=RIOBAMBA,  
serialNumber=0602766974,  
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2021.06.02 15:05:49  
-05'00'



0923-DBRAI-UTP-2021