



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SILICATO DE SODIO EN COMBINACIÓN CON GUARANGO UTILIZADOS PARA LA CURTICIÓN DE PIELES CAPRINAS**

**FREDDY REINALDO MELÉNDREZ LARA**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA**

**Riobamba-Ecuador**

Noviembre 2019



### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado “EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE SILICATO DE SODIO EN COMBINACIÓN CON GUARANGO UTILIZADOS PARA LA CURTICIÓN DE PIELES CAPRINAS”, de responsabilidad del Sr. Freddy Reinaldo Meléndrez Lara ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Ing. Segundo Hugo Calderón MSc.

**PRESIDENTE**

**FIRMA**

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera MSc.

**DIRECTOR**

**FIRMA**

Ing. Luis Carlos Hidalgo Viteri MSc.

**MIEMBRO**

**FIRMA**

Ing. César Arturo Puente Guijarro PhD.

**MIEMBRO**

**FIRMA**

Riobamba, Noviembre 2019

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Freddy Reinaldo Meléndrez Lara, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Freddy Reinaldo Meléndrez Lara

N°. Cédula: 0602868911

## **DEDICATORIA**

A las mujeres de mi vida: Lorena del Rocío, Estefany Mariana y Zoe Camila, por ser parte esencial de mi existir, sin Uds. mi mundo no tendría tantos colores, las amo con todo mi ser.

A mis padres: Raúl y Marianita, por siempre darme su bendición, sabios consejos y su guía.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, por su ejemplo de perseverancia, actitud y buena vibra.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Virgen María Inmaculada, porque con su bendición he superado muchos obstáculos y que por su gracia y fe tengo lo más importante en la vida, mi familia.

A mis padres, por forjar en mí valores de humildad, honradez y ser siempre ejemplo a seguir, su bendición siempre me ha acompañado y me ha ayudado a estar en paz y ser una persona de bien, son gestores importantes en mi realización personal y profesional.

A mis hermanos, Cecilia, Jorge, Rocío, Armando, Mónica, María Elena, Lizandro y Marco, por su cariño desinteresado y único.

A Mabel Parada, César Puente y Luis Hidalgo, por su incondicional soporte y guía durante el desarrollo de este proyecto.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, institución del saber que ha permitido nuevamente cumplir mis metas profesionales.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>CAPITULO I</b> .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Problema de Investigación.....	2
1.1.1. Situación Problemática .....	2
1.1.2. Formulación del problema .....	3
1.1.3. Problemas Específicos .....	3
1.2. Justificación del proyecto .....	3
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos .....	4
1.4. Hipótesis .....	5
1.4.1. Hipótesis General.....	5
1.4.2. Hipótesis Específicas .....	5
<b>CAPITULO II</b> .....	6
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	6
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	6
2.2. Marco Conceptual.....	6
2.2.1. Piel .....	6
2.2.2. Estructura de la piel .....	7
2.2.2.1. Epidermis .....	7
2.2.2.2. Dermis .....	8
2.2.2.3. Hipodermis .....	8
2.2.3. Tipos de pieles .....	9
2.2.4. División superficial de la piel .....	9
2.2.5. Operaciones de pre-curtición .....	10
2.2.5.1. Remojo.....	11
2.2.5.2. Pelambre y calero .....	11
2.2.5.3. Descarnado .....	12
2.2.5.4. Dividido .....	12
2.2.5.5. Desencalado.....	13

2.2.5.6.	Rendido o purga.....	13
2.2.5.7.	Desengrase.....	13
2.2.5.8.	Piquelado .....	14
2.2.6.	Curtición .....	14
2.2.6.1.	Tipos de curtidos: .....	14
2.2.7.	Operaciones de post-curtición .....	15
2.2.7.1.	Rebajado .....	15
2.2.7.2.	Neutralizado.....	16
2.2.7.3.	Recurtición.....	16
2.2.7.4.	Tinturado .....	16
2.2.7.5.	Engrase .....	16
2.2.7.6.	Secado y estirado .....	17
2.2.8.	Operaciones de acabado .....	17
2.2.9.	Curtición con silicato de sodio.....	17
2.2.9.1.	Silicato de sodio.....	18
2.2.9.2.	Sol de sílice coloidal.....	18
2.2.9.3.	Reacción química resultante del proceso de curtición.....	19
2.2.10.	Curtición con guarango.....	20
2.2.10.1.	Reacción química resultante del proceso de curtición.....	21
2.2.11.	Análisis de los cueros caprinos terminados .....	22
2.2.11.1.	Análisis de las pruebas físico-mecánicas de los cueros terminados .....	22
2.2.11.2.	Análisis de las pruebas sensoriales de los cueros terminados.....	24
2.2.11.3.	Análisis de las aguas residuales del proceso de curtición.....	26
2.2.11.4.	Índice de Biodegradabilidad de aguas residuales .....	27
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>29</b>
3.1.	Metodología.....	29
3.1.1.	Tipo y Diseño de la Investigación .....	29
3.1.2.	Método de investigación.....	29
3.2.	Enfoque de la investigación.....	30
3.3.	Identificación de las variables.....	30
3.3.1.	Variable dependiente .....	30
3.3.2.	Variable independiente .....	31
3.3.3.	Operacionalización de variables .....	32
3.3.4.	Matriz de consistencia .....	33

3.4.	Diseño de la investigación .....	34
3.5.	Población de estudio .....	35
3.6.	Unidad de análisis .....	35
3.7.	Selección de la muestra .....	35
3.8.	Tamaño de la muestra .....	35
3.9.	Técnica de recolección de datos .....	36
3.10.	Tratamiento y diseño experimental.....	36
3.11.	Diagrama del proceso de producción de cuero caprino terminado.....	38
3.12.	Procedimiento Experimental.....	39
3.12.1.	Remojo.....	39
3.12.2.	Pelambre y calero .....	39
3.12.3.	Desencalado y rendido.....	39
3.12.4.	Piquelado .....	40
3.12.5.	Curtido .....	40
3.12.5.1.	Preparación del sol de sílice .....	40
3.12.5.2.	Curtición mixta.....	41
3.12.6.	Neutralizado y recurtido .....	41
3.12.7.	Tintura y engrase .....	42
3.12.8.	Secado, estacado y recortado.....	42
3.12.9.	Operaciones de acabado .....	42
3.13.	Normativa de calidad referente a los cueros terminados .....	43
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
4.1.	Análisis de los resultados.....	44
4.1.1.	Análisis de las pruebas físico-mecánicas de los cueros terminados .....	44
4.2.1.2.	Resistencia a la tensión .....	45
4.2.1.2.	Porcentaje de elongación.....	48
4.2.1.3.	Lastometría.....	50
4.2.1.4.	Temperatura de contracción.....	53
4.1.2.	Análisis de las pruebas sensoriales de los cueros terminados.....	54
4.1.2.1.	Llenura .....	55
4.1.2.2.	Blandura.....	58
4.1.2.3.	Soltura de flor .....	61
4.1.3.	Análisis de las aguas residuales de la etapa de curtición .....	63
4.1.3.1.	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	63

4.2.6.2.	Demanda Química de Oxígeno .....	65
4.1.3.2.	Índice de biodegradabilidad de las aguas residuales de la curtición.....	66
4.1.4.	Evaluación económica de los cueros caprinos terminados .....	67
4.2.	Comprobación de Hipótesis.....	70
4.2.1.	Hipótesis 1 .....	70
4.2.2.	Hipótesis 2 .....	71
4.2.3.	Hipótesis 3 .....	71
4.3.	Discusión de resultados .....	72
 <b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Operacionalización de variables .....	32
<b>Tabla 2-3:</b>	Matriz de consistencia.....	33
<b>Tabla 3-3:</b>	Esquema del ANOVA.....	37
<b>Tabla 4-3:</b>	Esquema del Experimento .....	37
<b>Tabla 1-4:</b>	Resultados de las pruebas físico-mecánicas de los cueros terminados .....	44
<b>Tabla 2-4:</b>	Análisis de varianza de la resistencia a la tensión de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición. ....	46
<b>Tabla 3-4:</b>	Análisis de varianza del porcentaje de elongación de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición. ....	49
<b>Tabla 4-4:</b>	Análisis de varianza del lastometría de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición. ....	51
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados de las pruebas sensoriales de los cueros terminados. ....	55
<b>Tabla 6-4:</b>	Análisis de varianza de llenura de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición. ....	56
<b>Tabla 7-4:</b>	Análisis de varianza de blandura de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición. ....	58
<b>Tabla 8-4:</b>	Análisis de varianza de soltura de flor de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición. ....	61
<b>Tabla 9-4:</b>	Resultados de las aguas residuales del proceso de curtición.....	63
<b>Tabla 10-4:</b>	Análisis estadístico del DBO <sub>5</sub> resultante de las aguas residuales de los distintos tratamientos de curtición.....	64
<b>Tabla 11-4:</b>	Análisis estadístico del DQO resultante de las aguas residuales de los distintos tratamientos de curtición.....	65
<b>Tabla 12-4:</b>	Resultados del índice de biodegradabilidad de las aguas residuales procedentes de los tratamientos de curtición .....	66
<b>Tabla 13-4:</b>	Costos de producción de los cueros caprinos terminados utilizando silicato de sodio y guarango en el proceso de curtición.....	68
<b>Tabla 14-4:</b>	Costos de producción de los cueros caprinos terminados utilizando sulfato de cromo en el proceso de curtición. ....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Representación esquemática de la estructura de la piel .....	7
<b>Figura 2-2:</b>	División de una piel animal .....	10
<b>Figura 3-2:</b>	Formación de sílice coloidal a partir de silicato de sodio líquido .....	18
<b>Figura 4-2:</b>	Representación esquemática del guarango .....	21

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Representación esquemática del diseño de la investigación.....	34
<b>Gráfico 2-3:</b>	Diagrama del proceso .....	38
<b>Gráfico 1-4:</b>	Resultados de la resistencia a la tensión procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición. ....	46
<b>Gráfico 2-4:</b>	Regresión de la resistencia a la tensión por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición. ....	47
<b>Gráfico 3-4:</b>	Regresión de la resistencia a la tensión por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango con el tratamiento testigo T1. .	48
<b>Gráfico 4-4:</b>	Análisis de porcentaje de elongación procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.....	49
<b>Gráfico 5-4:</b>	Regresión del porcentaje de elongación por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición. ....	50
<b>Gráfico 6-4:</b>	Resultados del análisis de lastometría procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.....	52
<b>Gráfico 7-4:</b>	Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.....	52
<b>Gráfico 8-4:</b>	Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango con el tratamiento testigo T1. ....	53
<b>Gráfico 9-4:</b>	Análisis de temperatura de contracción procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.....	54
<b>Gráfico 10-4:</b>	Análisis de llenura procedente de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.....	56
<b>Gráfico 11-4:</b>	Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.....	57
<b>Gráfico 12-4:</b>	Lastometría por la comparación entre tratamientos testigos (T1 vs T2). ....	58
<b>Gráfico 13-4:</b>	Resultados del análisis de blandura procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.....	59
<b>Gráfico 14-4:</b>	Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.....	60
<b>Gráfico 15-4:</b>	Lastometría por la comparación entre tratamientos testigos (T1 vs T2). ....	60
<b>Gráfico 16-4:</b>	Análisis de soltura de flor utilizando distintos tratamientos en el proceso de curtición.....	61
<b>Gráfico 17-4:</b>	Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.....	62

<b>Gráfico 18-4:</b>	Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.....	64
<b>Gráfico 19-4:</b>	Resultados de la demanda química de oxígeno procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.....	66
<b>Gráfico 20-4:</b>	Tratamiento de las aguas residuales procedentes del proceso de curtición .....	67
<b>Gráfico 21-4:</b>	Representación esquemática de la evaluación de los resultados de las pruebas físico-mecánicas y sensoriales de los cueros terminados. ....	70

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Descripción del proceso de pre-curtición de las pieles caprinas
- ANEXO B:** Descripción del proceso de curtiembre de piel caprina con distintos niveles de silicato de sodio y guarango
- ANEXO C:** Descripción del proceso de acabado en húmedo de los cueros curtidos con los diferentes tratamientos
- ANEXO D:** Formulación del proceso de acabado en seco de los cueros curtidos con los diferentes tratamientos
- ANEXO E:** Resultados de los análisis físico-mecánicas de los cueros terminados
- ANEXO F:** Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T1
- ANEXO G:** Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T2
- ANEXO H:** Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T3
- ANEXO I:** Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T4
- ANEXO J:** Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T5
- ANEXO K:** Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T1
- ANEXO L:** Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T2
- ANEXO M:** Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T3
- ANEXO N:** Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T4
- ANEXO O:** Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T5
- ANEXO P:** Hoja Técnica del agente curtiembre: silicato de sodio.
- ANEXO Q:** Hoja Técnica del agente curtiembre: guarango
- ANEXO R:** Resultados del análisis de las aguas residuales de cueros curtidos a base de cromo

## RESUMEN

Para la evaluación de la curtición de piel caprina utilizando como agentes curtientes diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango, se utilizaron 30 pieles caprinas como unidades experimentales divididas en 5 tratamientos con 6 repeticiones en cada uno, posteriormente para la interpretación de los resultados se utilizó un Diseño Completamente al Azar Simple. De esta manera, los mejores resultados del análisis estadístico en las pruebas físico mecánicas fueron al curtir con el 10 % de silicato de sodio y 8 % de guarango (T5), obteniéndose valores en la resistencia a la tensión de 2861.42 N/cm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación de 66.25 %, lastometría de 9.97 mm y una temperatura de contracción de 90 °C. Por otra parte, los mejores resultados en las pruebas sensoriales, fueron al curtir únicamente con 15 % de silicato de sodio (T2), reportándose un valor de 4.67 puntos tanto en llenura, blandura y soltura de flor. Además se caracterizó las aguas residuales de curtición obteniéndose una menor carga contaminante al curtir con el 10 % de silicato de sodio en combinación con el 8 % de guarango (T5), con un valor de DBO5 de 7000 mg/l y un valor de DQO de 20000 mg/l, sin embargo, el silicato de sodio y el guarango no presentan toxicidad y de acuerdo al índice de biodegradabilidad obtenido se pueden eliminar por completo del efluente al llevar a cabo únicamente procesos físicos de clarificación o biológicos. Finalmente, se determinó los costos de producción al curtir con estos agentes curtientes, teniendo costos de producción entre 0.12 – 0.14 USD/dm<sup>2</sup> de cuero producido, los que se encuentran dentro de los costos estándares aceptables por la industria de curtiembre, siendo una opción rentable para producir cueros libres de cromo para exportarlos a países vecinos y europeos generando mayores ganancias económicas.

**Palabras clave:** INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, CURTICIÓN, PIEL CAPRINA, SILICATO DE SODIO, GUARANGO (*Caesalpinia spinosa*) CALIDAD DEL CUERO, CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

ESPOCH - DERA  
PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS  
BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL  
12/07/2017  
REVISIÓN DE RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA  
Per: 12 Hora: 10:00

## ABSTRACT

For the assessment of caprine skin tanning, were used as agents different levels of sodium silicate in combination with guarango, therefore, tanning is the process through which rawhides and skins are converted into leather as a final usable and sellable product, 30 goat skins were used as experimental units divided into 5 treatments with 6 repetitions in each, later for the interpretation of the results a Completely Random Simple Design was used. In this way, the best results of the statistical analysis in the mechanical physical tests were when tanning with 10% sodium silicate and 8% guarango (T5), obtaining values in the tensile strength of 2861.42 N / cm<sup>2</sup>, percentage of elongation of 66.25%, lastometry of 9.97 mm and a contraction temperature of 90 °C. On the other hand, the best results in the sensory tests were only tanned with 15% sodium silicate (T2), reporting a value of 4.67 points in both fullness, softness and ease of flower. In addition, the tanning wastewater was characterized by obtaining a lower pollutant load when tanning with 10% sodium silicate in combination with 8% guarango (T5), with a BOD5 value of 7000 mg / l and a COD value of 20,000 mg / l, however, sodium silicate and guarango do not present toxicity and according to the biodegradability index obtained, they can be completely eliminated from the effluent by carrying out only physical clarification or biological processes. Finally, production costs were determined by tanning with these tanning agents, with production costs between USD 0.12 - 0.14 / dm<sup>2</sup> of leather produced, which are within the standard costs acceptable by the tanning industry, being a profitable option to produce chrome-free leathers for export to neighboring and European countries generating greater economic gains.

**Keywords:** CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY, CURTITION, CAPRINE SKIN, SODIUM SILICATE, GUARANGO (*Caesalpinia spinosa*), LEATHER QUALITY, RESIDUAL WATER QUALITY



## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de curtición con otros agentes curtientes que no sea el cromo, ha conllevado a desarrollar diferentes investigaciones para obtener cueros terminados con una calidad similar a los cueros curtidos con cromo, por el poder curtiente que este agente químico posee y la calidad final que brinda al cuero terminado. Por otro lado, en la actualidad se ha determinado que al curtir con cromo, sus aguas residuales son perjudiciales al oxidarse a la forma de cromo hexavalente tanto para la naturaleza como en contacto con el ser humano, por esta razón se requiere reemplazar al cromo por productos más amigables con el medio ambiente.

El silicato de sodio que se utilizará en la presente investigación como agente curtiente constituye el punto de partida para nuevas investigaciones en la Industria de Curtiembre, ya que es de interés para los curtidores del país, descubrir agentes curtientes que permitan reemplazar al cromo y que éstos proporcionen resultados satisfactorios en todas las pruebas de calidad realizadas tanto al cuero terminado como a las aguas residuales provenientes de esta etapa del proceso. Por lo que es necesario de inicio, determinar el poder curtiente que posean estos agentes. Por otro lado, el exportar cueros libres de cromo a países europeos que exigen entre sus especificaciones que no contenga este agente químico, permitirá a las curtiembres tener un crecimiento exponencial en sus ganancias económicas.

La presente investigación consta de diferentes capítulos los cuales son: Capítulo I, el cual comienza con la identificación del problema, justificación, objetivos del proyecto de investigación y planteamiento de las hipótesis, el Capítulo II se enfoca en las bases teóricas que permite al investigador tener una idea clara de cada uno de los procesos que se llevará a cabo en el proceso de transformación de la piel en cuero terminado, mientras que el Capítulo III abarca la identificación de variables, la metodología de investigación y el procedimiento experimental realizado; el Capítulo IV se enfoca a los resultados y discusión de los datos obtenidos en base a las diferentes pruebas llevadas a cabo en el cuero terminado y finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones en base al grado de cumplimiento de los objetivos e hipótesis planteados en la investigación.

## **1.1. Problema de Investigación**

### ***1.1.1. Situación Problemática***

En la actualidad, las curtiembres en el Ecuador ofertan productos de cuero a bases de sales de cromo tanto al mercado nacional como a países extranjeros, disminuyendo su exportación notablemente debido a que el proceso de curtición a base de sales de cromo generan afectaciones negativas al ambiente, puesto que el cromo utilizado en el proceso de curtición que se fija en el interior de la piel se encuentra entre el 60 – 80 % mientras que el resto se queda en las aguas residuales, las cuales en contacto tanto con el recurso hídrico y superficial puede oxidarse de cromo trivalente a cromo hexavalente el cual es cancerígeno, provocando grandes problemas tanto en los factores abióticos como en el agua ocasionando respuestas elevadas tanto en el DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) como también en el suelo, provocando un desgaste del mismo y por lo tanto una disminución en la producción de los productos agrícolas; además puede ocasionar grandes enfermedades e inclusive la muerte dependiendo el tipo de contacto que tenga este compuesto con el ser humano.

Por lo tanto, países europeos como España, Italia, Alemania que contribuyen con la adquisición de productos de cuero y fortalecen el crecimiento industrial de estas empresas curtidoras, prefieren la adquisición de pieles curtidas libres de cromo para cumplir con los estándares de calidad de importación y con los objetivos del desarrollo sostenible de la Agenda 2030, donde la principal importancia es adquirir cueros amigables con el ambiente que generen el mínimo impacto ambiental.

Por estas razones, las empresas de curtiembre conocen la situación problemática de esta actividad industrial, puesto que estas aguas residuales que contiene cromo requieren de un tratamiento efectivo antes de su disposición final para evitar sanciones ambientales, por lo que su implementación genera un mayor gasto económico, por lo tanto, las empresas curtidoras han buscado alternativas que permitan producir cueros a base de productos curtientes libres de cromo, pese a esto, no existen técnicas estandarizadas que permitan obtener estos productos y con características similares, para ofertar productos terminados como: calzado y marroquinería con los estándares de calidad necesarios que se requiere para la realización de cada uno de estos productos de cuero.

### **1.1.2. *Formulación del problema***

¿El silicato de sodio en distintos niveles más guarango, será una combinación adecuada que reemplace al cromo en la curtición de pieles caprinas, cumpliendo las normativas nacionales?

### **1.1.3. *Problemas Específicos***

¿Cómo se verán afectados los resultados de las pruebas físico-mecánicas y sensoriales en el proceso de curtición de pieles caprinas utilizando distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango?

¿Cuál es el posible impacto ambiental que tendrá el reemplazo de curtir con sales de cromo por silicato de sodio más guarango en los efluentes que provienen del proceso de curtido de pieles caprinas?

¿Será factible para la industria reemplazar el curtido con sales de cromo por el silicato de sodio más guarango?

## **1.2. *Justificación del proyecto***

La importancia de buscar alternativas que reemplacen el uso de cromo como curtiente para la producción de cuero, es el principal objetivo de las empresas curtidoras del país, con la finalidad de exportar sus productos a países europeos que buscan la adquisición de cueros libres de cromo, esto generaría para las empresas un mayor beneficio económico y un crecimiento en su actividad industrial, además de generar más fuentes de empleo, beneficios que en la actualidad han decrecido por mantener aún procesos de producción basados en curticiones con cromo. Por lo que buscar nuevas alternativas de agentes curtientes es la principal preocupación que tienen los curtidores del país.

A pesar de que existen investigaciones de cueros curtidos libres de cromo, no existen técnicas estandarizadas que permitan obtener productos de cuero con las características esperadas. Sin embargo, estas investigaciones se han constituido en una pauta importante, al obtener resultados positivos utilizando como agente curtiente la tara, más conocido como guarango en el país. Las investigaciones han llevado a notar que al realizar curticiones simplemente con este curtiente no se obtienen características similares en los cueros producidos como al curtir con cromo a pesar que cumplen con los estándares de calidad, por lo tanto se busca combinar este curtiente con otro

producto que tenga afinidad para realizar curticiones mixtas que permitan obtener cueros de buena calidad para la fabricación de productos de marroquinería, destacando que los cueros caprinos son idóneos para la elaboración de este tipo de productos por sus cualidades de elasticidad y resistencia.

Por ello se propone realizar la presente investigación, ya que se enfoca en curtir cueros caprinos en base a una curtición mixta con silicato de sodio y guarango esperando que estos productos curtientes tengan afinidad entre sí y permitan la curtición, además con ello se busca obtener productos curtientes que generen un menor impacto ambiental y que su costo sea rentable para incorporarlos en esta actividad industrial. Además, que si al obtenerse resultados positivos con el empleo del silicato de sodio en la etapa de curtido, se lo podría introducir en otras etapas productivas como la de recurtido, logrando de esta manera incrementar su utilización en la producción de cueros caprinos terminados.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

- Evaluar la utilización de diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango para la curtición de pieles caprinas.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Realizar las pruebas de calidad (físico – mecánicas y sensoriales) al cuero caprino curtido con silicato de sodio y guarango.
- Caracterizar los principales parámetros biológicos provenientes de los efluentes del curtido de pieles caprinas con silicato de sodio en combinación con guarango.
- Determinar los costos de producción del curtido de pieles caprinas con silicato de sodio y guarango.

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1. Hipótesis General***

- La adición de diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango establecerá la calidad final del cuero caprino terminado.

### ***1.4.2. Hipótesis Específicas***

- El proceso de curtición con silicato de sodio en combinación con guarango influirá en las pruebas de calidad del cuero caprino en relación a la normativa referente a cuero.
- El curtir con silicato de sodio más guarango generará una disminución en los principales parámetros biológicos de los efluentes provenientes de la curtición.
- Sera económicamente rentable para la industria curtir pieles caprinas con silicato de sodio más guarango.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

Según Guacho (2018) en su proyecto “Curtición de pieles caprinas con diferentes niveles de tara (10, 12 y 14 %)”, describe que utilizó 36 unidades experimentales para la curtiembre de pieles caprinas adultas las cuales fueron modeladas bajo un Diseño Completamente al Azar simple. Los mejores resultados de sus análisis físico-mecánicos fueron al curtir únicamente con 10 % de tara con valores de: resistencia a la tensión (3407.74 N/cm<sup>2</sup>), lastimetría (9.06 mm) y temperatura de encogimiento (87.92 °C). En los análisis sensoriales de igual forma se obtuvo los mejores resultados al curtir con 10 % de tara con un valor de blandura: 4.75 puntos; los mejores resultados de llenura y redondez de 4.67 puntos se obtuvieron al curtir con 14 % de tara. Por lo tanto, el uso del 10 % de tara, proporciona al cuero una blandura ideal para la confección de calzado disminuyendo la contaminación provocada por la curtiembre a bases de sales de cromo sobre los diferentes ecosistemas que rodean una curtiembre. Finalmente, al determinar los costos de producción de cueros se estableció que la opción más adecuada es aplicar el 10 % de tara (T1), ya que la relación beneficio costo fue de 1.34; es decir que, por cada dólar invertido se espera una rentabilidad del 34 %, que resulta positiva para los actuales momentos en los que la economía está en franco retroceso al no existir actividades tan rentables como la expuesta, a más del valor agregado en el cuidado ambiental.

En la actualidad no existen investigaciones relacionadas con la curtiembre a base de silicato de sodio en combinación con guarango, por lo tanto, es de importante interés desarrollar esta investigación de forma técnica – experimental para analizar los resultados obtenidos teniendo en cuenta los resultados alcanzados en los antecedentes de las investigaciones realizadas en obtener productos de cuero libres de cromo.

#### 2.2. Marco Conceptual

##### 2.2.1. Piel

La piel se define como el órgano de mayor tamaño en el cuerpo que conforma la cobertura externa del animal, por esta razón la importancia de utilizar como materia prima la piel, para la obtención

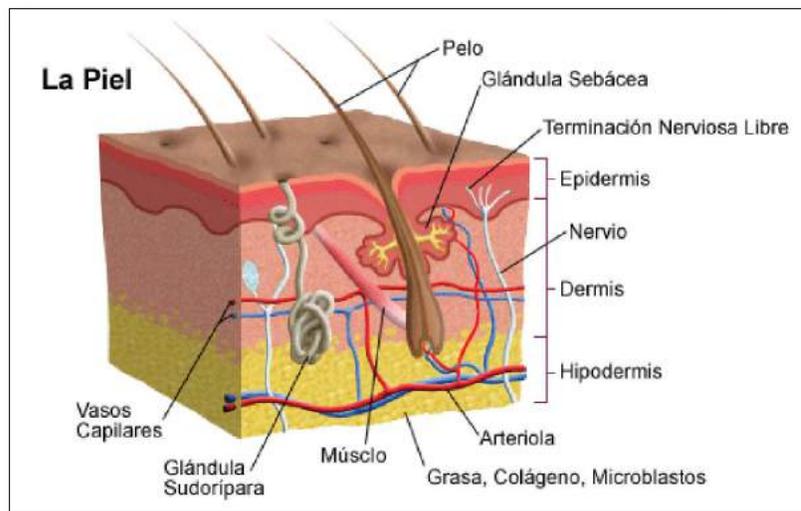
de cuero terminado destinado especialmente al calzado y vestimenta del ser humano (Barioglio, 2001a: p.235).

Es importante destacar que la función principal de la piel es proteger contra el calor, lesiones, enfermedades a los cuales están expuestos los animales, además, existe otras funciones que cumple la piel como: (Barioglio, 2001b: p.235)

- Termorregulación (regulación de la temperatura del cuerpo)
- Excreción (excreta residuos del cuerpo: sales, agua, ácido úrico)
- Endocrina (síntesis de vitamina D)
- Absorción (absorbe O, N y otras sustancias)
- Sensorial

### 2.2.2. Estructura de la piel

La piel está compuesta por tres partes importantes que son: la epidermis, la dermis y tejido subcutáneo o hipodermis.



**Figura 1-2:** Representación esquemática de la estructura de la piel  
Fuente: (Porto, 2009)

#### 2.2.2.1. Epidermis

Es la capa superior y delgada que contiene una gran cantidad de pelo, esta capa está compuesta por tres diferentes células: (Colville, 2009, p.73)

- Células escamosas: células delgadas y planas que se desprenden constantemente.
- Células basales: se encuentra debajo de las células escamosas.
- Melanocitos: se encuentra en toda la estructura de la epidermis, producen melanina brindando el color a la piel.

Durante el proceso de curtición esta capa de piel se elimina en la etapa de pelambre y calero.

#### 2.2.2.2. *Dermis*

La dermis o corium es la capa intermedia que se ubica entre la epidermis y la hipodermis o capa subcutánea en la estructura de la piel, que está compuesta por el tejido conjuntivo laxo, la cual está formada por fibras colagénicas y fibras elásticas, además la dermis es 15-40 veces mayor que la epidermis (Peña, 2007, pp. 16-19).

Es importante destacar que esta capa es la estructura de la piel más importante para el curtidor, puesto que las dos estructuras restantes que forman parte de la piel solamente entorpecen el proceso de fabricación de cuero terminado.

En su estructura se observa dos capas bien diferenciadas: (Ross y Pawlina, 2007: pp. 484-487).

- **Estrato papilar o superficial:** es la parte superficial de la dermis compuesta por fibras elásticas, colagénicas y muy rica en vasos sanguíneos. Esta capa es importante para el curtidor, puesto que condiciona las características sensoriales del cuero terminado.
- **Estrato reticular o profundo:** como su nombre lo indica es una capa profunda y gruesa en comparación del estrato papilar, que contiene fibras de colágeno con las cuales se van a entrelazar los productos curtientes para estabilizar esta capa y permitir transformar la piel en cuero terminado.

#### 2.2.2.3. *Hipodermis*

Es la parte de la estructura de la piel que se encuentra debajo de la dermis, que forma la capa más profunda de la piel formada por una menor cantidad de fibras colagénicas y una mayor cantidad de células de grasa. La hipodermis o capa subcutánea permite conservar el calor del cuerpo animal y lo protege contra lesiones debido a que actúa como una capa absorbidora de golpes (Colville, 2009, p.74).

Es importante destacar que la hipodermis se elimina después del proceso de descarnado que se realiza en el proceso productivo, con el cual se puede realizar diferentes productos como gelatina, comida para mascotas, etc.

### **2.2.3. Tipos de pieles**

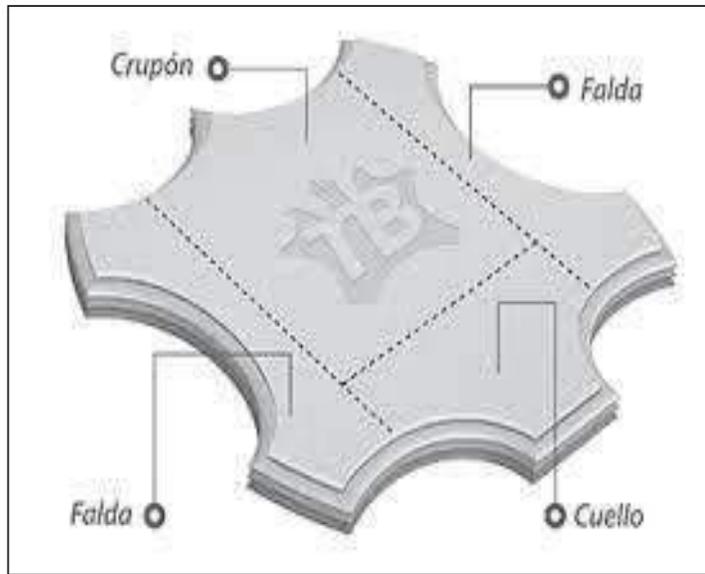
Existen diferentes tipos de pieles de animales que varía en su composición porcentual entre la capa superior denominada "flor" como de la capa inferior denominada "carne". Además, las estructuras colagénicas de las diferentes pieles varían entre diferentes especies de animales puesto que una piel de vaca es muy diferente a una piel de oveja y de igual forma varía entre una misma especie, según la edad, la procedencia y el tipo de alimento que consumen cada animal, por ello los curtidores en base a su experiencia mencionan que no existen dos pieles exactamente iguales (Salguero, 2018, p. 35).

A continuación, se detalla los principales tipos de pieles de animales:

- **Piel de vaca:** este tipo de piel es muy usada en las curtiembres ya que son pieles de gran tamaño y son de excelente calidad puesto que presentan una estructura muy compacta. Además, posee cierta rigidez y flexibilidad, por esta razón es muy resistente el cuero terminado y presenta una blandura en la parte de la flor que es suave. Por lo general, la carnaza que se obtiene de este tipo de pieles es mucho mayor que otro tipo de pieles de animales y se utiliza generalmente para la obtención de productos de calzado (Luna, 2014, p. 25).
- **Piel de cabra:** se caracteriza principalmente por que las pieles de cabra son más delgadas en comparación a las pieles de vaca, además, presenta una estructura muy compacta y además contiene una gran cantidad de fibras elásticas que permite que los productos de cuero terminado a base de este tipo de pieles sean resistentes. Principalmente se utilizan este tipo de pieles para la obtención de productos de marroquinería (Barretto, 2006, p. 40).
- **Piel de oveja:** es importante destacar que las pieles de oveja son muy finas y flexibles por lo tanto presentan buenas características en cuanto a su blandura, sin embargo, no son muy resistentes para la fabricación de productos de calzado como la piel de oveja y cabra. Generalmente se utiliza para la obtención de productos de vestimenta como chaquetas, guantes (Luna, 2014, p. 25).

### **2.2.4. División superficial de la piel**

La piel está dividida en diferentes partes como se detalla a continuación:



**Figura 2-2:** División de una piel animal

Fuente: (Luna, 2014)

- **Crupón:** Es la parte más importante de la piel en la cual se encuentra la mayoría de las fibras de colágeno con las cuales se forman estructuras complejas con los agentes curtientes utilizados durante el proceso de curtición. Además, representa la mayor parte de la piel representando un 45 % del total de la piel del animal (Salguero, 2018, p. 35).
- **Cuello:** Esta parte de la piel posee muchas arrugas y se deforma con facilidad, que representa el 25 % del total de la piel del animal (Luna, 2014, p. 36)
- **Faldas:** Poseen un aspecto irregular y por lo general esta parte representa un 30 % del total de la piel del animal (Salguero, 2018, p. 35).

Por otro lado, la parte superior del cuero se conoce como el lado de la flor del cuero mientras que la parte inferior se conoce como el lado de la carne del cuero.

### **2.2.5. Operaciones de pre-curtición**

Se denominan también operaciones en húmedo o ribera, debido a que requieren agua para llevar a cabo estas operaciones, las que son importantes ya que permiten asegurar en el proceso de curtición, el efecto curtiente esperado en las estructuras colagénicas de las pieles caprinas utilizadas en la investigación, por lo tanto, se detalla en los siguientes epígrafes cada uno de los procesos que se llevan a cabo en las operaciones de pre-curtición.

### 2.2.5.1. Remojo

Es el primer proceso al que son sometidas las pieles caprinas en bruto (frescas, saladas o secas), las cuales ingresan a las curtiembres como materia prima, por lo tanto, es indispensable destacar que el tipo de método de conservación de las pieles caprinas en bruto, influirá en el tipo de proceso de remojo que se lleve a cabo en las mismas, como se detalla a continuación: (Hidalgo, 2013, p. 153).

- Si las pieles caprinas en bruto son frescas no necesitan un proceso de remojo extenso, por lo tanto, solamente se realiza un lavado con una cantidad de agua para retirar sangre, linfa, grasas y eliminar las suciedades presentes en las pieles caprinas.
- Si las pieles caprinas en bruto son saladas o secas, el proceso de remojo va de uno a dos días, esto se debe a que las pieles contienen una gran cantidad de sal y se encuentran deshidratadas lo que influye negativamente para el proceso posterior de pre-curtición. Además, el proceso de salado o secado son operaciones necesarias que se lleva a cabo para evitar la putrefacción y el deterioro de las pieles caprinas que no son sometidas de inmediato al proceso de curtición.

Por lo tanto, el proceso de remojo consiste en humectar a la piel para su posterior proceso utilizando principalmente los siguientes productos: (Castells, 2012, p. 194).

- Agua
- Agentes tensoactivos (facilitan el ingreso del agua a la piel)
- Antisépticos (inhiben el crecimiento bacteriano)
- Basificantes (conversión de los ácidos grasos presentes en la piel caprina en jabones que aportan a la hidratación de la piel)
- Enzimas (permiten solubilizar las proteínas interfibrilares)

### 2.2.5.2. Pelambre y calero

Estas dos operaciones son muy diferentes, debido a que el pelambre es el proceso que se lleva a cabo una vez que las pieles caprinas se encuentren remojadas, este proceso provoca el hinchamiento de la piel y la eliminación de la epidermis de la estructura de la piel la cual contiene pelo y lana, debido a que esta capa de piel entorpece el proceso de curtición. Por otro lado, el calero es el proceso que permite un ablandamiento o hinchamiento de la estructura fibrosa de la piel (principalmente fibras colagénicas) que permite preparar a la piel para que el proceso de curtición sea el esperado (Puente, 2018, pp. 38).

Generalmente para llevar a cabo el proceso de pelambre se utiliza productos como el sulfuro de sodio o sulfhidrato que provocan el desprendimiento del pelo o lana que se encuentra en las pieles,

mientras que, para el proceso de calero se utiliza principalmente Cal (hidróxido de calcio) la cual permite el ablandamiento de la piel.

El proceso de pelambre y calero que principalmente las curtiembres del país realizan, se lleva a cabo en dos etapas: la primera consiste en el pelambre por embadurnado que se realiza formando una pasta compuesta de agua, sulfuro de sodio y cal y se lo coloca homogéneamente en la parte del lado de la carne de la piel, la cual transcurrido un tiempo determinado, esta pasta migra por difusión a la raíz del pelo, provocando de esta manera el desprendimiento fácilmente de esta capa de piel (epidermis). La segunda etapa consiste en el pelambre en bombo con la finalidad de eliminar restos de pelo o lana que no se desprendieron en el proceso de pelambre anterior, principalmente los bordes de la piel. Después de un tiempo transcurrido se obtiene la piel sin restos de pelo o lana y se observa un hinchamiento de la misma, afirmando los conceptos mencionados anteriormente de pelambre y calero (Morera, 2000, p. 8).

#### 2.2.5.3. *Descarnado*

Este proceso consiste en eliminar del lado de la carne de la piel (hipodermis): restos de carne y grasa que pueden estar presentes en la misma e impiden la penetración de los agentes químicos utilizados en las operaciones posteriores de curtición y post-curtición como de los procesos de acabado (Bacardit, 2004, p. 225).

El descarnado depende del tipo de animal, por lo general las pieles caprinas poseen una capa delgada de tejido subcutáneo (hipodermis), por lo tanto, los restos de grasa y carne se los realiza mediante una cuchilla obteniéndose carnaza que es un subproducto que contiene proteínas y grasas y es usado para piensos y abonos (Soler, 2000, pp. 44-45).

#### 2.2.5.4. *Dividido*

El dividido es un proceso que permite obtener después del descarnado una parte de flor de piel más delgada, mejorando así la penetración de los agentes químicos en las operaciones químicas que siguen.

Cuando se trata de pieles grandes como las pieles bovinas donde la capa de tejido subcutáneo es similar a la capa de la dermis o corium, se realiza el descarnado y dividido mediante una maquina especializada, de la cual se obtiene una capa pronunciada de tejido subcutáneo la cual se denomina carnaza y este producto sirve como materia prima para la elaboración de productos alimenticios como: gelatina, comida para mascotas (Hoinacki, 2009, p. 160).

#### 2.2.5.5. *Desencalado*

Es un proceso indispensable antes del proceso de curtición que permite eliminar la cal y otras sustancias alcalinas que se encuentran en el interior de la piel debido al proceso de pelambre y calero disminuyendo el hinchamiento y dándole morbidez a la estructura dérmica de la piel. Es importante destacar que la cal no solamente se puede encontrar en la parte de la flor de la piel sino también entre sus espacios interfibrilares y combinada con las estructuras colagénicas de la piel (González, 2004, p. 34).

Durante los procesos anteriores una parte de la cal fue eliminada durante el lavado con agua, pero la mayoría se elimina por medio de agua a una temperatura de 30 °C, sales ácidas como bisulfito de sodio y sales amoniacales como sulfato de amonio, además este proceso disminuye su pH a 8-9, para su posterior proceso de rendido o purga ayudando que los productos curtientes penetren con facilidad, además sino se elimina estos productos alcalinos afectan negativamente a la calidad de los productos terminados (Ganser, 2006, pp. 187-190).

#### 2.2.5.6. *Rendido o purga*

La función principal que tiene el rendido o purga es el aflojamiento de las fibras de colágeno en el interior de la piel y el deshinchamiento del mismo para asegurar el efecto curtiente esperado. Es importante destacar que el rendido se lleva a cabo una vez añadido al bombo los productos de desencalado, transcurre un tiempo determinado y se añade el producto rindente (enzimas proteolíticas); si se desea tener un cuero más suelto, caído y blando se debe añadir una mayor cantidad de producto rindente (González, 2004, p. 35).

#### 2.2.5.7. *Desengrase*

Este proceso es importante cuando el descarnado se lo realiza de forma manual debido a que puede existir restos de grasa en la parte de la carne de la piel, además, el desengrase no solamente permite eliminar estos restos de grasa sino además las grasas naturales que se encuentre entre los espacios interfibrilares ocasionando problemas en los procesos de curtición, engrase y tinturado. Para llevar a cabo este proceso, las pieles deben estar en el bombo y se debe utilizar disolventes no miscibles y agentes tensoactivos y hacer rodar el bombo por un tiempo determinado (Jones, 2002, p. 125).

#### 2.2.5.8. *Piquelado*

Su función principal es acidular el pH de la piel a un pH óptimo según los agentes curtientes que penetren la piel y se entrelacen con las fibras de colágeno, por lo general, el valor de pH después del proceso de piquelado es 3-3.5. Por lo tanto, para llevar a cabo este proceso, se utiliza principalmente agentes salinos y ácidos que permitan preparar a la piel para el proceso de curtición, por lo tanto, la cantidad de estos productos depende del tipo de curtiente que se va a utilizar (Morera, 2000, p. 11).

#### 2.2.6. *Curtición*

Una vez retirada la piel caprina del animal, inicia su putrefacción y solamente puede conservarse por un determinado tiempo. Por lo tanto, la curtición es el proceso mediante el cual se transforma la piel en cuero mediante el uso de agentes curtientes que son penetrados y absorbidos por las fibrillas de la dermis, formando estructuras complejas estables y de esta manera se obtiene un cuero imputrescible e insoluble (Jones, 2002, p. 197).

No obstante, cuando se realiza la curtición sin eliminar el pelo de la piel del animal, se denomina de igual manera como piel, pero al realizar la curtición sin el pelo (epidermis) de la piel del animal, se conoce con el nombre de cuero.

##### 2.2.6.1. *Tipos de curtidos:*

En términos generales existen diferentes tipos de curtidos que depende del origen de los agentes curtientes utilizados, a continuación, se detalla los diferentes tipos de curtidos:

- **Curtición mineral:** se lleva a cabo con sales metálicas entre las cuales se puede mencionar: sales de cromo, sales de aluminio, sales de hierro. El principal curtiente mineral utilizado para la curtición son las sales de cromo que se lleva a cabo sobre pieles piqueladas, siendo la manera más fácil para curtir a la piel y se emplean baños cortos con una agitación vigorosa. Habitualmente las pieles curtidas con sales de cromo resisten a las temperaturas de ebullición del agua sin contraerse (<100 °C), mientras que al utilizar agentes curtientes de origen vegetal solo logra resistir el cuero curtido a temperaturas máximas de 70 °C. Los cueros curtidos a base de sales de cromo presentan buenas características sensoriales: suavidad y flexibilidad, como también excelentes características físico-mecánicas: resistencia a la tensión, lastometría, etc (Soler, 2004, p. 148).

- **Curtición vegetal:** se da como resultado entre las estructuras fenólicas de los taninos naturales con las fibras de colágeno de la piel que permite una curtiembre homogénea en todo el grosor de la piel. Los taninos naturales más usados son: guarango, mimosa, quebracho y castaño. El proceso que se realiza es igual a la curtiembre mineral, reemplazando las sales metálicas por taninos vegetales y aldehídos y quinonas en menor proporción. Para curtir la piel el agente curtiembre utilizado debe penetrar la piel hacia su interior y las fibras colagénicas presentar las mejores condiciones para reaccionar con los taninos. En el cuero seco solamente una parte se halla combinada con las fibras de colágeno de la piel y el resto está depositado entre las fibras (Puente, 2018, p. 42).
- **Curtición con silicatos:** habitualmente la curtiembre con silicatos se realiza en combinación con agentes curtiembre minerales (principalmente sales de cromo o aluminio) proporcionando al cuero curtido con estos agentes químicos un color blanco y muy buenas características sensoriales como: llenura, debido a que las fibras de colágeno se combinan fácilmente con estos agentes curtiembre y además son resistentes al calor. Por otra parte, esta curtiembre mixta presenta desventajas en el cuero terminado como una menor resistencia y una menor blandura en el cuero acabado (Morera, 2000, p. 166).

### ***2.2.7. Operaciones de post-curtición***

Una vez los cueros se encuentren curtidos, se someten a una serie de operaciones de post-curtición que permite obtener el acabado final del cuero curtido. Estas operaciones varían dependiendo el producto terminado que se va elaborar. Las características que varían son el tacto, la suavidad, la llenura, soltura de flor y todas sus resistencias físicas (Castells, 2012, p. 200).

#### ***2.2.7.1. Rebajado***

Al finalizar el proceso de curtiembre, los cueros curtidos son reposados generalmente en perchas, con la finalidad de permitir que los agentes curtiembre penetren en mayor cantidad al interior de la piel. Posteriormente se lleva a cabo el proceso de rebajado que su función principal es proporcionar un valor homogéneo de espesor a toda la piel mediante una máquina especializada; este calibre varía dependiendo el producto terminado que se realice. Es esencial que los cueros tengan una humedad del 60 %, puesto que cueros con menor humedad se vuelven duros y no se puede realizar el rebajado, y con una mayor humedad las máquinas no raspan al cuero curtido, por lo tanto, la humedad juega un papel importante en este proceso (González, 2004, p. 41).

#### *2.2.7.2. Neutralizado*

Generalmente las pieles raspadas o rebajadas son sometidas a un proceso de neutralización con la finalidad de asegurar que los agentes curtientes y recurtientes penetren en su mayor cantidad hacia el interior de la piel, este proceso se realiza mediante el uso de ácidos débiles como el ácido fórmico o acético. Además, cuando las pieles son curtidas con diversos tratamientos (composiciones diferentes en los agentes curtientes), la neutralización regula el pH de estas pieles curtidas evitando que, en la recurtición, los agentes recurtientes se queden en la superficie de la piel (Lacerca, 2003, p. 114).

#### *2.2.7.3. Recurtición*

Su función principal es asegurar la calidad del cuero terminado tanto en sus características sensoriales: llenura, blandura, soltura de flor como en sus características físicas: resistencia a la tensión, desgarrar, lastometría, elongación. Por estas razones, se añaden al proceso agentes recurtientes con la finalidad de garantizar que todas las fibras de colágeno que se encuentran en el interior de la piel se encuentren entrelazadas con estos agentes curtientes, estabilizando la piel y asegurando una mejor calidad del cuero acabado (Soler, 2000, p. 58).

#### *2.2.7.4. Tinturado*

Tiene como finalidad proporcionar el color que se desee a los cueros terminados, por lo general antes de realizar este proceso, los cueros al curtir con sales de cromo presentan un color verde, mientras que al curtir con guarango presentan un color blanco. No obstante, los colorantes que se utilicen en el tinturado deben fijarse y penetrarse en el interior del cuero, sino afectaría negativamente a la calidad del producto final, donde la afinidad de fijación depende del tipo de agentes curtientes utilizados en el proceso. Los productos que se utilizan generalmente son colorantes ácidos, básicos, directos y de complejo metálico (Morera, 2000, p. 20).|

#### *2.2.7.5. Engrase*

Este proceso permite lubricar las fibras del cuero con el objetivo de obtener un cuero acabado que no se fragmente al secarlo y que presente la flexibilidad y tacto de un cuero de buena calidad.

Habitualmente los productos engrasantes que se usan para los cueros se conocen como grasas que pueden ser de composición química: aniónica (sulfitados, sulfatados, sulfonados, sulfoclorados, etc.) y catiónica (compuestos de amonio cuaternario). Esta operación usualmente se la realiza

disolviendo las grasas en agua caliente para su posterior colocación al baño en el bombo, una vez terminado el proceso se deja reposar a los cueros para que se escurran y aumente la fijación de los colorantes y grasas utilizadas (Soler, 2000, p. 59).

#### *2.2.7.6. Secado y estirado*

Esta operación tiene como finalidad eliminar el agua contenida en el cuero, ya que la humedad influye en las características finales del cuero acabado. Una vez secado los cueros se lleva a cabo el proceso de estirado, que consisten en el estiramiento de la parte de la flor del cuero a través de pinzas, mejorando de esta forma sus características sensoriales (sin arrugas) y aumentando al máximo la superficie del cuero.

#### *2.2.8. Operaciones de acabado*

Son un conjunto de operaciones que se llevan a cabo para el tratamiento superficial del cuero proporcionando de esta manera el aspecto final del cuero acabado para su posterior comercialización. Las principales características en las que influyen las operaciones de acabado son sobre el aspecto visual, el tacto y las propiedades físico-mecánicas del cuero terminado.

En las operaciones de acabado se usan diversos productos; los principales son: (Hidalgo, 2013, p. 160).

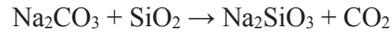
- Lacas.
- Pigmentos y colorantes.
- Ceras naturales y sintéticas.
- Aceites
- Resinas

#### *2.2.9. Curtición con silicato de sodio*

Habitualmente la curtición con silicatos se lleva a cabo mediante una curtición mixta en combinación con agentes curtientes de origen mineral (sales de cromo, hierro, aluminio), pese a que presentan buenas características sensoriales sus características físico-mecánicas disminuyen. Por esta razón el presente proyecto de investigación tiene como finalidad el uso de dos tipos de agentes curtientes: silicato de sodio en combinación con guarango. Por lo tanto, en los siguientes epígrafes se detalla con profundidad sobre estos agentes curtientes utilizados (Morera, 2000, p. 35).

### 2.2.9.1. Silicato de sodio

En términos generales el silicato de sodio es un compuesto inorgánico acuoso formado por proporciones distintas de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). La síntesis del silicato de sodio se da a partir de carbonato de sodio y dióxido de silicio como se detalla a continuación:



Habitualmente el comportamiento del silicato de sodio depende directamente del pH que posea este compuesto inorgánico, como se observa: (Claramunt, 2013, p. 30).

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

### 2.2.9.2. Sol de sílice coloidal

Este compuesto se forma a partir del silicato de sodio acuoso, acidificando este compuesto inorgánico a un pH menor que 3, el cual es estable, capaz de utilizarse en la curtición y recurtición de pieles. Por lo tanto, el sol de sílice coloidal obtenido puede formar estructuras estables y complejas con las fibras de colágeno de la piel, transformando de esta forma la piel putrescible en cuero imputrescible (Sáenz, 2007, p. 2).



**Figura 3-2:** Formación de sílice coloidal a partir de silicato de sodio líquido

Fuente: (Claramunt, 2013)



Como consecuencia, se observa que los grupos -OH del ácido metasilícico establecen enlaces transversales mediante puentes de hidrogeno con los grupos carboxílicos de la estructura fibrosa del colágeno, estableciendo de esta manera que al acidificar el silicato de sodio a pH menor que 3, puede usarse como agente curtiente para estabilizar el colágeno de la piel (Claramunt, 2013, p. 30).

#### **2.2.10. Curtición con guarango**

El guarango (*Caesalpinia spinosa*) comúnmente llamado en el Ecuador, es una planta leguminosa que tiene su origen en diferentes países sudamericanos que se extiende por todos los Andes desde Venezuela hasta Chile; esta planta crece en suelos semiáridos y terrenos laderosos. En particular, el guarango se localiza generalmente en la sierra ecuatoriana, esta planta leguminosa a pesar de presentar propiedades beneficiosas tanto en el campo de la salud como en la industria, muchas personas no aprovechan este recurso importante (Valdera, 2013, p. 135).

El guarango está formado por vainas, semillas y germen, donde cada parte del guarango se puede aprovechar para la obtención de subproductos beneficiosos y de buena calidad. Por ejemplo, las vainas de guarango se utilizan como un agente curtiente en las industrias de curtiembre, mientras que las semillas se usan para la obtención de gomas y colorantes de diferentes colores; finalmente el germen de guarango se utiliza como fuente de alimentos para animales caprinos y vacunos. Además, esta planta (guarango) aporta propiedades nutritivas a los factores abióticos del ecosistema, como por ejemplo: fija nitrógeno del aire y aumenta la fertilidad del suelo (Puente, 2018, p. 46).

De esta manera, las vainas de la tara son importantes en las industrias de curtiembre, esto se debe a que posee una gran cantidad de taninos en su composición química, que permite formar estructuras complejas y estables con las fibras de colágeno de la piel. En relación a la cantidad de taninos que se encuentran en las vainas de tara, su porcentaje puede aumentar, al extraer los taninos presentes, esto se realiza mediante solventes y procesos de extracción, molienda y tamizado, obteniéndose como producto final el polvo de guarango el cual contiene una cantidad mayor de taninos mediante este proceso, mejorando de esta forma el proceso de curtido con guarango y asegurando la curtición en todo el grosor de la piel del animal (De la Cruz Lapa, 2012, p. 65).

No obstante, las pieles curtidas a base de guarango adquieren un color blanco proceso que ningún otro curtiente vegetal utilizado puede lograrlo, además las pieles son resistentes a la luz y poseen buenas características sensoriales como físico-mecánicas en el producto terminado, por esta razón, el guarango no solamente se utiliza en el proceso de curtición sino también se puede

introducir en diferentes etapas del proceso productivo como recurtición, tinturado (Valdera, 2013, p. 136).



**Figura 4-2:** Representación esquemática del guarango  
Fuente: (Valdera, 2013)

Por otro lado, independientemente del tipo de curtición que se lleve a cabo, las curtiembres del país suelen utilizar agentes recurtientes vegetales para el proceso de recurtición dentro de este mismo proceso productivo, principalmente se utiliza el guarango debido a que aporta múltiples beneficios a la piel como resistencia al calor, una mayor resistencia al desgarro y buenas características sensoriales.

#### *2.2.10.1. Reacción química resultante del proceso de curtición*

Los taninos presentes en el guarango químicamente, forman enlaces estables con las fibras de colágeno de la piel mediante puentes de hidrogeno o enlaces dipolares entre los grupos hidroxilos de los taninos presentes en el guarango con las cadenas amídicas de las estructuras fibrosas (colágeno) de la piel. Esta formación de estructuras complejas se da generalmente a pHs de 3-4 (Soler, 2000, p. 99).

No obstante, los grupos hidroxilos presentes en los taninos del guarango al tener afinidad y reactividad con las fibras de colágeno de la piel, permite una mayor fijación del producto y por ende una mayor estabilización, además, se puede usar el guarango como agente recurtiente para garantizar la calidad del cuero terminado, puesto que una mayor penetración de los agentes curtientes en el interior de la piel permite tener una mayor llenura en sus características sensoriales en la parte de la flor del cuero (Puente, 2018, p.47).



### **a) Resistencia a la tensión**

Es una prueba físico-mecánica indispensable que se debe realizar a los cueros terminados, puesto que determina la resistencia que posee el cuero mediante el rompimiento de sus fibras.

La operación que se lleva a cabo para determinar la resistencia a la tensión, es colocar los extremos de la probeta (muestra extraída del cuero terminado) en las mordazas tensoras del equipo de medición, el cual permite estirar la probeta del cuero hasta que se produzca el rompimiento o la fisura de la misma, obteniéndose la fuerza (N) aplicada para llevar a cabo esta operación. Finalmente se calcula la resistencia a la tensión mediante una relación entre la fuerza aplicada por el espesor y el ancho de la probeta (Hidalgo, 2013, p. 155).

El límite mínimo permisible de resistencia a la tensión que deben presentar los cueros terminados es de  $1500 \text{ N/cm}^2$ , según la norma IUP 6. De tal forma que si los cueros terminados presentan valores bajos, esto se debe a los agentes curtientes utilizados en el proceso de curtición (Puente, 2018, p. 61).

### **b) Porcentaje de elongación**

Esta prueba es directamente proporcional a la resistencia a la tensión, debido a que, si los cueros terminados presentan valores muy bajos en su resistencia a la tensión, de igual forma se obtendrán valores inferiores al límite mínimo permisible en la prueba de porcentaje de elongación.

El porcentaje de elongación se conoce como el grado de estiramiento que soporta el cuero al aplicar una fuerza a los extremos de la probeta en diferentes direcciones hasta su rompimiento o deformación. El proceso que se lleva a cabo para determinar el porcentaje de elongación es similar a la prueba físico-mecánica anterior, la única diferencia es determinar la longitud inicial de la probeta como la longitud final de la misma, una vez se produzca el rompimiento o fisura del cuero.

Esta prueba físico-mecánica se realiza de igual manera en base a la norma IUP 6, la cual establece que el límite mínimo permisible que debe poseer los cueros terminados es de 40 %, caso contrario, los cueros presentan una mala calidad y un menor tiempo de vida útil (Puente, 2018, p. 61).

### **c) Lastometría**

Tiene como finalidad determinar la aptitud del cuero en base a la primera fisura o rompimiento de la flor utilizando el equipo de medición (lastómetro), que permite tener una premisa antes de realizar la producción de productos terminados en base a este cuero.

El proceso que se lleva a cabo es colocar una probeta en forma circular en el lastómetro y aplicar una carga en el centro del cuero hasta el rompimiento de la flor, de esta manera se obtiene la presión aplicada en este proceso tanto en unidades de bares como atmósferas. Por otra parte, para determinar el valor de lastometría se aplica una fórmula que permite obtener este valor en mm, a partir del valor de la presión en bares. El límite mínimo permisible que deben presentar los cueros terminados es 7 mm, según la norma IUP 9 (Cotance, 2004, p. 30).

### **d) Temperatura de contracción**

Este análisis permite determinar la temperatura a la cual se encoje el cuero terminado. Esta temperatura de contracción difiere de los agentes curtientes utilizados puesto que su resultado es mayor cuando se curte con cromo que posee una temperatura mayor a 100 °C, sin embargo, al curtir con otros agentes curtientes vegetales, sintéticos, su temperatura de contracción disminuye.

En la actualidad las curtiembres del país buscan agentes curtientes que arrojen resultados similares en la temperatura de contracción como al curtir con cromo, debido a que es un factor importante especialmente en la fabricación de calzado, con relación a la vida útil del producto y a la calidad del mismo. Por otra parte, el límite mínimo permisible que deben presentar los cueros terminados es 70 °C, según la norma IUP 16 (Gansser, 2006, p. 192).

#### *2.2.11.2. Análisis de las pruebas sensoriales de los cueros terminados*

Los análisis sensoriales describen la calidad de la parte superficial del cuero terminado, por lo tanto, su análisis es importante antes de la fabricación de productos terminados a base de cuero.

Es así, que la fabricación de productos terminados de cuero con resultados muy bajos en sus análisis sensoriales, conlleva a obtener productos defectuosos y de mala calidad en la parte superficial del cuero como arrugas (soltura de flor) y de tacto muy duro que permite el rompimiento de las fibras de cuero al instante.

Los análisis sensoriales que se llevaron a cabo en la presente investigación se describen a continuación:

#### **a) Llenura de flor**

Este análisis como su propio nombre lo dice, determina si el cuero se encuentra lleno o vacío, describiendo que el cuero se encuentra lleno cuando toda la estructura fibrosa del cuero se encuentra entrelazadas con productos químicos que se han adicionado durante el proceso de producción del cuero terminado, mientras tanto, se describe que el cuero se encuentra vacío cuando la mayoría de productos químicos no han penetrado la piel y solamente se han fijado en la parte superficial de la piel. Por lo tanto, si los cueros terminados presentan una mayor llenura por ende se describen como cueros de mayor calidad (Hidalgo, 2013, p. 160).

Para realizar este análisis se requiere de una persona calificadora con experiencia en curtiembre, quien da una escala de calificación, que por lo general es del 1-5, siendo el valor de 1 cueros de baja calidad y el valor de 5 cueros terminados con una excelente calidad. La persona calificadora suele doblar el cuero recogiendo los extremos del mismo, lo cual permite formar una curvatura en su interior, por lo tanto, si se forma una curvatura pronunciada los cueros poseen una llenura de flor muy buena o viceversa.

#### **b) Blandura**

La blandura permite establecer la suavidad que presenta la parte de la flor del cuero, este análisis es importante puesto que si los cueros terminados poseen menor blandura se rompen o se deforman durante la fabricación de productos terminados a base de cuero. No obstante, la blandura depende del tipo de producto terminado que se quiere fabricar, por lo que en productos de vestimenta su blandura debe ser mayor en comparación a la necesaria para fabricación de productos de calzado y marroquinería. Además, los cueros terminados que presenten una menor blandura se debe principalmente a los productos engrasantes añadidos durante el proceso de producción, puesto que ayudan a dar suavidad al mismo. Los principales factores pueden ser: que no penetraron estos productos al interior del cuero o no se añadió las cantidades suficientes que ayudan a mejorar su blandura (Cotance, 2004, p. 32).

El proceso para determinar la blandura del cuero, de igual manera, se requiere de una persona calificadora y con experiencia, quien coloca sus dedos por toda la parte superficial del cuero y además arruga el cuero terminado para determinar mediante el tacto si es duro o suave.

### **c) Soltura de flor**

Este análisis es muy indispensable para verificar la calidad de los cueros terminados, debido a que la soltura de flor determina si existe la presencia de arrugas en la parte de la flor del cuero, por lo tanto, si se presenta arrugas en parte superficial del cuero, este posee una menor calidad.

Para determinar la soltura de flor de igual forma se requiere de una persona calificadora y con experiencia que evalúa los cueros doblando los extremos del cuero hacia adentro, una vez realizado el proceso, si el cuero presenta arrugas su soltura de flor es alta, por lo tanto este análisis es inversamente proporcional a la escala de calificación de las anteriores pruebas sensoriales dando un valor de 5, a cueros que presenta una menor soltura de flor (mayor calidad) y un valor de 1 a cueros que poseen una mayor soltura de flor (Gansser, 2006, p. 192).

#### *2.2.11.3. Análisis de las aguas residuales del proceso de curtición*

La caracterización de las aguas residuales producto del proceso de curtición es fundamental para determinar la contaminación que genera este efluente, al utilizar como agentes curtientes el silicato de sodio en combinación con guarango, por lo general, al curtir con guarango sus aguas residuales no cumplen con los límites permisibles, sin embargo, el tratamiento que se debe realizar a este efluente es mínimo en comparación al tratamiento empleado al curtir con cromo. Los parámetros principales que permiten evaluar el grado de contaminación de las aguas residuales se describe a continuación:

### **a) DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**

Este análisis determina el poder contaminante de las aguas residuales del proceso de curtición a base de silicato de sodio en combinación con guarango, por lo tanto, es un análisis fundamental para establecer el grado de contaminación y establecer el grado de biodegradabilidad de la materia orgánica presente en este efluente (Bacardit, 2004, p. 50).

Por otra parte, se define al DBO<sub>5</sub>, como la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos como bacterias y hongos, para llevar a cabo la degradación de las sustancias orgánicas que contiene las aguas residuales del proceso de curtición.

A continuación, se representa esquemáticamente la reacción que se lleva a cabo en este análisis:



De esta forma se observa que la materia orgánica para llevar a cabo su descomposición biológica, sus microorganismos requieren de oxígeno y nutrientes, por lo tanto, el DBO<sub>5</sub> mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar esta materia orgánica biodegradable, por lo que, para llevar a cabo este análisis se requiere de 5 días en comparación con la determinación de DQO ya que su análisis es más breve (Castells, 2012, p. 180).

#### **b) DQO (Demanda Química de Oxígeno)**

Este análisis permite principalmente determinar la concentración de la materia orgánica presente en las aguas residuales del proceso de curtición, por lo tanto, permite conocer el grado de contaminación de la muestra en base a la normativa de calidad ambiental. Sin embargo, esta prueba no permite diferenciar entre la materia orgánica biodegradable y no oxidable biológicamente (Corredor, 2006, p. 20).

Por otra parte, el DQO se define como la cantidad de oxígeno necesario para llevar a cabo químicamente mediante un agente oxidante fuerte, la degradación total de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

A continuación, se representa esquemáticamente la reacción que se lleva a cabo en este análisis:



Como se observa este proceso es netamente químico a diferencia del análisis anterior puesto que se utiliza un agente oxidante fuerte, generalmente ácido sulfúrico, para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica presente en las muestras de las aguas residuales de curtición (Bacardit, 2004, p. 52).

Al encontrar en aguas residuales, más compuestos que se oxidan por vía química que por vía biológica, los valores de DQO serán razonablemente más altos que los de la DBO<sub>5</sub>, siendo ésta la diferencia básica entre éstos dos parámetros (Lucero, 2009, p. 21).

#### *2.2.11.4. Índice de Biodegradabilidad de aguas residuales*

El índice de biodegradabilidad permite determinar el grado de contaminación de las aguas residuales provenientes de cada uno de los tratamientos realizados en el proceso de curtición,

además permite tener una idea clara del tipo de tratamiento que se debe llevar a cabo para disminuir la carga contaminante presente en las aguas residuales.

Para determinar el índice de biodegradabilidad se requiere establecer una relación entre la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y la demanda química de oxígeno (DQO).

La relación ( $DBO_5/DQO$ ) determina entonces el grado de biodegradabilidad que tiene el agua residual, teniendo como referencia los siguientes índices:

- $(DBO_5/DQO) < 0.2 =$  Aguas residuales poco biodegradables
- $0.2 < (DBO_5/DQO) < 0.4 =$  Aguas residuales biodegradables
- $(DBO_5/DQO) > 0.4 =$  Aguas residuales muy biodegradables

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Metodología

##### 3.1.1. *Tipo y Diseño de la Investigación*

La investigación realizada es de tipo técnica-experimental, ya que mediante referencias bibliográficas referente a cuero y recetas de curticiones de todo tipo, se establece una formulación para la curtición mixta a base de silicato de sodio en combinación con guarango para curtir pieles caprinas, esto se determinará por medio de experimentos realizados en el laboratorio y mediante distintos ensayos de calidad se establecerá la formulación más adecuada.

##### 3.1.2. *Método de investigación*

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron tres métodos de investigación: método deductivo, inductivo y experimental, que permitirá al investigador generar juicios de valor y obtener resultados concretos frente al problema existente en la industria de curtiembre, al curtir a bases de sales de cromo. Por lo tanto, a continuación se detallan los métodos que se llevarán a cabo en la presente investigación:

#### **Método deductivo**

El método deductivo utilizado, consiste en establecer conclusiones generales a partir de premisas o hipótesis particulares; teniendo como punto de partida la recolección de datos de fuentes bibliográficas de diferentes autores de los cuales se obtuvo que, al curtir la piel con sales de cromo, sus aguas residuales afectan negativamente al ambiente, por ello, se han realizado formulaciones de curtición para la producción de cueros wet white (curtición libre de cromo). De esta forma se establece la curtición mixta a base de silicato de sodio en combinación con guarango que permitirá generar juicios de valor al investigador y conclusiones generales mediante la experimentación.

## **Método inductivo**

Además, se utilizó el método inductivo en el presente trabajo, ya que a partir de los cueros caprinos terminados, se analizó si la curtición a base de silicato de sodio en combinación con guarango influye en la calidad del cuero acabado, estableciendo conclusiones generales y determinando las variables importantes que influyen en el proceso productivo.

## **Método experimental**

Este método consiste en realizar los diferentes ensayos a nivel de laboratorio mediante la curtición con silicato de sodio en combinación con guarango, además se basa en el registro de parámetros de control de cada una de las formulaciones. Finalmente aplicando los métodos: deductivo, inductivo y experimental se aceptarán o se rechazarán las hipótesis planteadas en la presente investigación, logrando de esta forma obtener conclusiones generales del presente trabajo.

### **3.2. Enfoque de la investigación**

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo, debido a que se obtendrán datos cualitativos (pruebas sensoriales en base al juicio de valor de la experiencia de un curtidor) y datos cuantitativos (pruebas físico-mecánicas, parámetros biológicos de las aguas residuales y costos de producción), con los cuales se realizará su respectiva interpretación y análisis.

### **3.3. Identificación de las variables**

#### **3.3.1. Variable dependiente**

Es la calidad del cuero caprino terminado y los análisis que determinan la misma son:

- Análisis físicos-mecánicos: Temperatura de contracción, Resistencia a la tensión, Porcentaje de elongación y Lastometría. Se los hará basándose en las normas referentes a cuero.
- Análisis sensoriales: se realizan a través de un test sensorial por un artesano certificado que establece una escala de calificación para los cueros caprinos terminados, lo que se evalúa es lo siguiente: llenura, blandura y soltura de flor.

### **3.3.2. *Variable independiente***

Corresponde a la concentración de silicato de sodio más guarango. En esta investigación se utilizará 0, 6, 8, 10 y 15 % de silicato de sodio en combinación con 8, 15 % de guarango que se encuentra en función del peso de piel en bruto a procesar.

### 3.3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1-3:** Operacionalización de variables

VARIABLE		TIPO	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
Combinación de curtientes silicato de sodio más guarango		Variable independiente	Se refiere a la formulación del agente curtiente (tipo de agente y nivel a utilizar).	Porcentaje	Fórmula de curtición
Calidad del cuero	Temperatura de contracción del cuero	Variable de respuesta o dependiente	Temperatura a la cual el cuero registra una reducción en el tamaño considerable.	Temperatura (°C)	Termómetro
	Resistencia a la tensión	Variable de respuesta o dependiente	Carga máxima que tolera el cuero antes de romperse. La carga es aplicada en una sola dirección.	Carga máxima (N/cm <sup>2</sup> )	Equipo de resistencia de materiales
	Porcentaje de elongación	Variable de respuesta o dependiente	Incremento de las dimensiones del cuero máximo (expresado en porcentaje) que puede resistir el cuero antes de romperse por la acción de una carga aplicada unidireccionalmente.	Porcentaje (%)	Equipo de resistencia de materiales
	Lastometría	Variable de respuesta o dependiente	Deformación que tolera el cuero antes de romperse.	Deformación (mm)	Lastómetro
	Llenura	Variable de respuesta o dependiente	Percepción sensorial del analista referente a la sensación de compactación del cuero terminado.	Puntuación de llenura (puntos)	Metodología sensorial de análisis
	Soltura de flor	Variable de respuesta o dependiente	Percepción sensorial del analista ante la aparición de defectos en el cuero debidos a la separación de la capa flor del cuero.	Puntuación de soltura (puntos)	Metodología sensorial de análisis
	Blandura	Variable de respuesta o dependiente	Percepción sensorial del analista en cuanto a la suavidad y caída que presenta el cuero final.	Puntuación de blandura (puntos)	Metodología sensorial de análisis

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

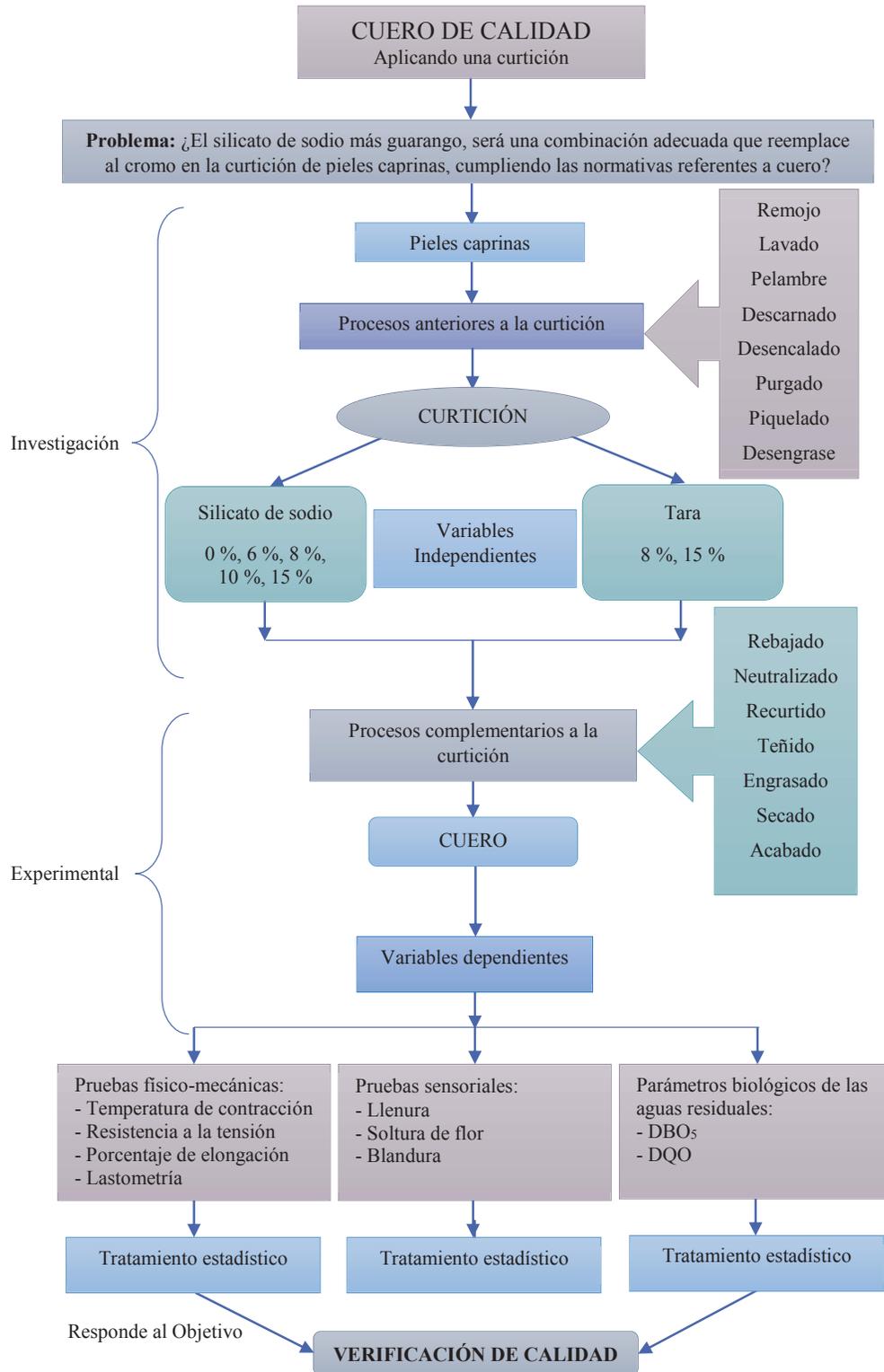
### 3.3.4. Matriz de consistencia

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

PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	
¿El silicato de sodio en distintos niveles más guarango, será una combinación adecuada que reemplace al cromo en la curtición de pieles caprinas, cumpliendo las normativas referentes a cuero?		Evaluar la utilización de diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango para la curtición de pieles caprinas.	La adición de diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango establecerá la calidad final del cuero caprino terminado.	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS	VALORACIONES
<p>1.- ¿Cómo se verán afectados los resultados de las pruebas físico-mecánicas en el proceso de curtición de pieles caprinas utilizando los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango?</p> <p>2.- ¿Cuál es el posible impacto ambiental que tendrá el reemplazo de curtir con sales de cromo por silicato de sodio más guarango en los efluentes que provienen del proceso de curtido de pieles caprinas?</p> <p>3.- ¿Será factible para la industria reemplazar el curtido con sales de cromo por el silicato de sodio más guarango?</p>	<p>1.- Realizar las pruebas de calidad (físico – mecánicas y sensoriales) al cuero caprino curtido con silicato de sodio y guarango.</p> <p>2.- Caracterizar los principales parámetros biológicos provenientes de los efluentes del curtido de pieles caprinas con silicato de sodio en combinación con guarango.</p> <p>3.- Determinar los costos de producción del curtido de pieles caprinas con silicato de sodio y guarango.</p>	<p>1.- El proceso de curtición con silicato de sodio en combinación con guarango influirá en las pruebas de calidad del cuero caprino en relación a la normativa nacional.</p> <p>2.- El curtir con silicato de sodio más guarango generará una disminución en los principales parámetros biológicos de los efluentes provenientes de la curtición.</p> <p>3.- Será económicamente rentable para la industria curtir pieles caprinas con silicato de sodio más guarango.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de contracción, °C.</li> <li>- Resistencia a la tensión, N/cm<sup>2</sup>.</li> <li>- Porcentaje de elongación, %.</li> <li>- Lastometría, mm.</li> <li>- Llenura, puntos</li> <li>- Soltura de flor, puntos</li> <li>- Blandura, puntos</li>   <li>- DBO<sub>5</sub>, mg/l</li> <li>- DQO, mg/l</li>   <li>- Rentabilidad</li> </ul>	<p>Mínimo 70</p> <p>Mínimo 1500</p> <p>Mínimo 40</p> <p>Mínimo 7</p> <p>1-5</p> <p>1-5</p> <p>1-5</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Costos de producción</p>

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

### 3.4. Diseño de la investigación



**Gráfico 1-3:** Representación esquemática del diseño de la investigación

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

### **3.5. Población de estudio**

La población de estudio estará conformada por las pieles caprinas procedentes del camal municipal de la ciudad de Riobamba con las cuales se va a llevar a cabo la experimentación. Habitualmente el camal municipal produce diariamente alrededor de 60 pieles caprinas.

### **3.6. Unidad de análisis**

La unidad de análisis corresponde a una piel caprina en la que se llevará a cabo los distintos procesos de transformación de piel a cuero terminado utilizando como agentes curtientes diferentes niveles de silicato de sodio más guarango; y además se efectuará las diferentes pruebas de calidad al cuero caprino terminado.

### **3.7. Selección de la muestra**

Considerando que en el camal municipal de la ciudad de Riobamba producen diariamente alrededor de 60 pieles caprinas, la selección de la muestra se realiza mediante un muestreo por conveniencia, según Puente (2018), donde el investigador selecciona las pieles considerando un tamaño uniforme y en cuanto a su calidad, que no presente arañazos, manchas y sean frescas para asegurar la calidad del cuero terminado.

### **3.8. Tamaño de la muestra**

El número de pieles necesarias para la parte experimental se determinó en función a la capacidad operativa del molinete utilizado, el mismo que tiene una capacidad para tratar de 1 - 10 pieles por tratamiento y de acuerdo a la variación del porcentaje (niveles) de los agentes curtientes, éstos últimos se determinaron en función de investigaciones previas y de acuerdo a la experiencia en el desarrollo de recetas para la curtición de pieles caprinas, según Puente (2018). Es así que, el número total de unidades experimentales serán 30 pieles caprinas utilizando como agentes curtientes: diferentes niveles de silicato de sodio (0, 6, 8, 10, 15 %) en combinación con guarango (8, 15 %), como se detalla a continuación:

1. Número de tratamientos: 5 tratamientos (niveles de silicato de sodio más guarango)
2. Número de repeticiones: 6 repeticiones
3. Número de ensayo: 1 ensayo

### 3.9. Técnica de recolección de datos

Para la recolección de datos se usarán bitácoras que permitan anotar cada uno de las recetas formuladas del proceso de curtición, así como datos de parámetros de control de calidad. Por otra parte, los datos obtenidos de las distintas pruebas de calidad, se registrarán en hojas de Excel para su posterior interpretación y análisis en un paquete estadístico denominado Infostat.

### 3.10. Tratamiento y diseño experimental

Para la interpretación de los resultados se utilizará un Diseño Completamente al Azar simple (DCA), debido a que las condiciones dentro del bombo o molinete se encuentran controladas en cada una de las repeticiones. En el DCA se considera un solo factor (diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango) que afecta la variable de respuesta (distintas pruebas de calidad). El modelo estadístico que sigue este diseño experimental se detalla a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Valor del parámetro en determinación

$\mu$  = Efecto de la media por observación

$\alpha_i$  = Efecto de los diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango

$\epsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental

Por otra parte, en relación a las pruebas paramétricas (pruebas físico-mecánicas y parámetros biológicos de las aguas residuales de curtición) se realizará el análisis de varianza (ANOVA) para establecer si existen diferencias significativas entre medias por la adición de diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango. Además, se realizará una comparación ortogonal entre los tratamientos testigos (curtición a base de un solo agente curtiente) con los diferentes tratamientos resultantes de la adición de diversos niveles de silicato de sodio con guarango (curtición mixta).

Además, en la Tabla 3-3, se representa esquemáticamente el análisis de varianza (ANOVA), que relaciona la significancia de los datos y como estos se ajustan a la campana de Gauss, la cual evalúa la normalidad de los datos y ajusta el error experimental hasta un margen de aceptación (95 %) aceptando o rechazando de esta forma las hipótesis planteadas en la presente investigación.

**Tabla 3-3:** Esquema del ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	29
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango)	2
Tratamientos vs Testigo 1 (0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	1
Testigo 1 vs Testigo 2 (15 % de silicato de sodio y 0 % de guarango)	1
Error	25

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

En cuanto, a las pruebas no paramétricas (pruebas sensoriales) se utilizará la prueba de Kruskal – Wallis, que sigue el siguiente modelo matemático:

$$H = \frac{15}{nT(nT + 1)} = + \frac{\sum RT_1^2}{nR T_1} + \frac{\sum RT_2^2}{nRT_2} + \frac{\sum RT_3^2}{nRT_3} + 2(nT + 1) \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

H = Valor de comparación calculado con la prueba K-W

nT = Número total de observaciones en cada nivel de curtiente (silicato de sodio con guarango)

R = Rango identificado en cada grupo

De esta forma, se describe a continuación el esquema del experimento de la presente investigación para llevar a cabo el diseño experimental.

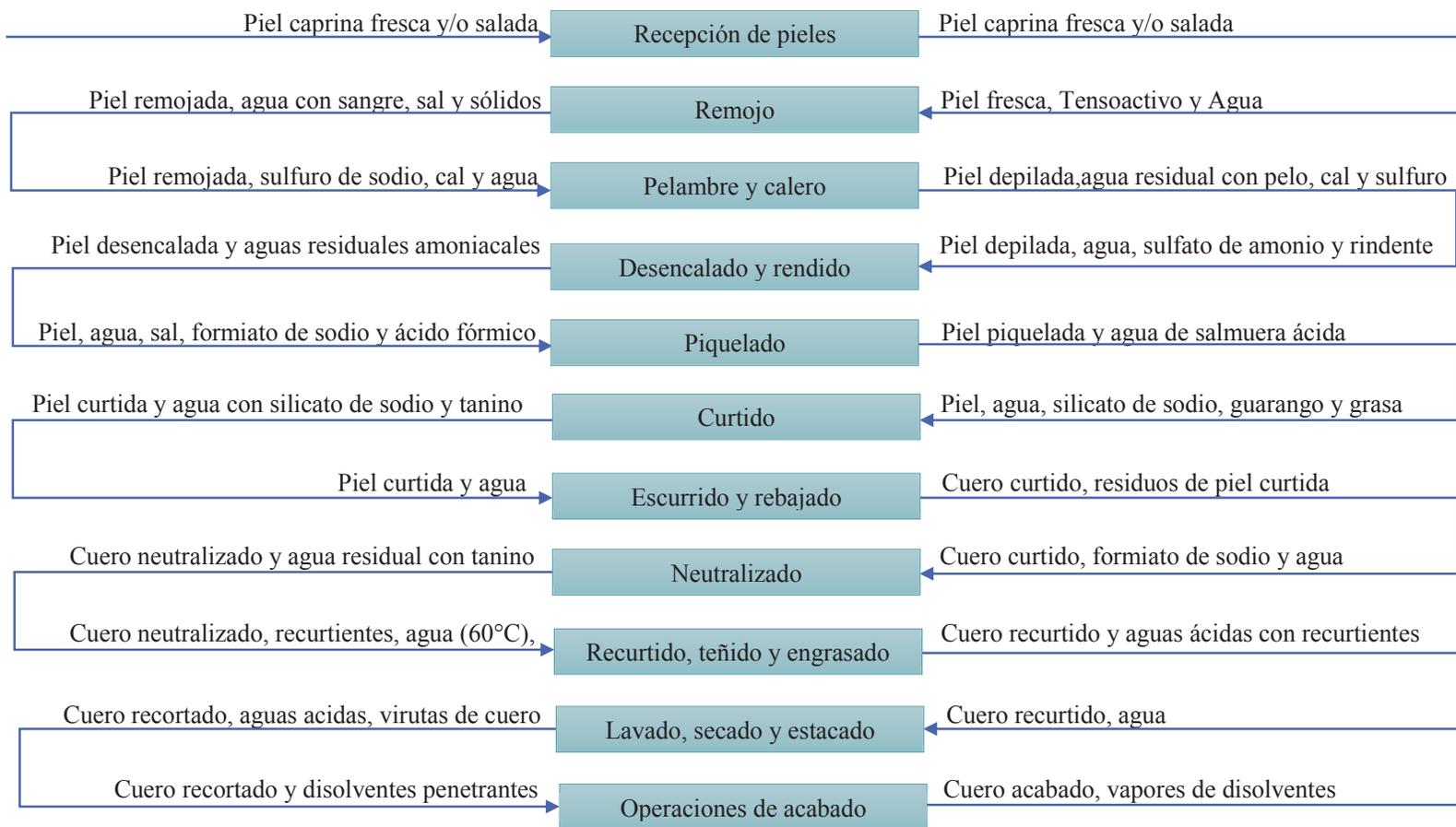
**Tabla 4-3:** Esquema del Experimento

Producto para la curtición	Código	Repetición	T.U.E	Total de pieles
0 % de silicato de sodio, 15 % de guarango.	T1	6	1	6
15 % de silicato de sodio, 0 % de guarango.	T2	6	1	6
6 % de silicato de sodio, 8 % de guarango.	T3	6	1	6
8 % de silicato de sodio, 8 % de guarango.	T4	6	1	6
10 % de silicato de sodio, 8 % de guarango.	T5	6	1	6
Total de pieles				30

T.U.E: Tamaño de la unidad experimental

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

### 3.11. Diagrama del proceso de producción de cuero caprino terminado



**Gráfico 2-3:** Diagrama del proceso

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

### **3.12. Procedimiento Experimental**

Para el procedimiento experimental de la investigación se utilizaron 30 pieles caprinas, las cuales se sometieron a los siguientes procesos para su transformación en cuero terminado:

#### ***3.12.1. Remojo***

Primeramente se pesaron las pieles caprinas frescas, para en función de su peso, determinar las cantidades (pesos) de los distintos productos que se añaden a las pieles en el proceso de remojo. En un baño con 500 % de agua y a temperatura ambiente, se disuelve 1 % de tensoactivo, el que se mezcla con las pieles caprinas, dejando reposar durante 24 horas para luego de este tiempo descargar el baño.

#### ***3.12.2. Pelambre y calero***

De igual manera, se pesaron las pieles caprinas y en función a este peso se prepara un baño con 200 % de agua, 4 % de cal y 2.5 % de sulfuro de sodio, se rueda el bombo o molinete durante 5 horas, después se deja reposar 4 horas. Cumplido el tiempo de reposo, se rueda el bombo por 1 hora, finalmente se elimina el baño.

Luego se realiza un lavado de las pieles con 100 % de agua a temperatura ambiente, dejando rodar el bombo durante 20 min con posterior descarga del baño. Se confirma la eliminación de la epidermis (pelo) de la piel.

Finalmente se prepara un último baño con 100 % de agua y 0.1 % de cal para dejar en reposo las pieles hasta terminar los 5 tratamientos considerados en esta investigación.

#### ***3.12.3. Desencalado y rendido***

Antes de realizar el proceso de desencalado y rendido se realiza primeramente dos operaciones de lavado. Nuevamente se pesan las pieles para realizar en función a este peso un baño con 200 % de agua a temperatura ambiente haciendo girar el bombo durante 15 min, y se elimina el baño. El segundo lavado se realiza con un baño de 200 % de agua y 1 % de sulfato de amonio, haciendo girar el bombo durante 20 min, transcurrido este tiempo se escurren las pieles.

Una vez realizado estas operaciones de lavado se realiza el proceso de desencalado y rendido mediante un baño con 200 % de agua a temperatura ambiente y 1 % de sulfato de amonio dejando

rodar el bombo durante 30 min, después se adiciona 0.5 % de bisulfito de sodio y se hace rodar el bombo durante 30 min. Finalmente se añade 0.5 % de producto rindente para girar el bombo durante 60 min. Es importante que terminado este proceso se controle el pH del baño antes de eliminarlo.

#### **3.12.4. Piquelado**

Antes de realizar el proceso de piquelado se realizan dos lavados de las pieles con 300 % de agua en función al peso de las pieles, dejando rodar el bombo durante 15 min en cada lavado. Posteriormente se realiza el proceso de piquelado mediante un baño con 100 % de agua a temperatura ambiente y 7 % de sal común dejando rodar el bombo durante 20 min, luego se adiciona 0.5 % de formiato de sodio haciendo girar el bombo durante 20 min, después se adiciona 1 % de ácido fórmico diluido 1/10 dejando rodar el bombo durante 20 min y finalmente se adiciona nuevamente 1 % de ácido fórmico diluido 1/10 a las pieles caprinas dejando rodar el bombo durante 20 min.

#### **3.12.5. Curtido**

Antes de realizar el proceso de curtido se obtiene el sol de sílice acidificando el silicato de sodio y obteniendo una solución coloidal estable, que puede utilizarse como agente curtiente, ya que químicamente se enlaza con las fibras de colágeno de la piel estabilizando la misma y formando estructuras complejas como se describe en el epígrafe 2.2.6.

##### **3.12.5.1. Preparación del sol de sílice**

El sol de sílice coloidal se obtiene acidificando el silicato de sodio con ácido sulfúrico en rango de  $\text{pH} < 3$ . Como consecuencia, el sol de sílice obtenido tiene un  $\text{pH}$  de 2.6 siendo un compuesto estable que se puede utilizar en los procesos de curtición de las pieles, pese a esto, se debe tener cuidado al momento de la mezcla, evitando la formación de gel.

Dentro del análisis del silicato de sodio utilizado en la presente investigación, tiene una proporción media en peso de  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2$  de 3.2 a 1, es decir, un silicato sódico con las siguientes características:

$\text{SiO}_2$ .....	29.4 % en peso
$\text{Na}_2\text{O}$ .....	9.3 % en peso
$\text{H}_2\text{O}$ .....	61.3 % en peso
Densidad.....	1.4105 Kg/l.

A partir de este silicato, se prepara una solución con agua en proporción 1/5 (25 ml de silicato de sodio diluido en 125 ml de agua). A esta solución de silicato se le añade, en forma lenta y con agitación continua, una solución diluida de ácido sulfúrico de concentración 1/17 (5 ml de ácido sulfúrico grado industrial añadido a 85 ml de agua), se mezclan estas dos soluciones adicionando más agua hasta alcanzar un volumen final de 250 ml. La mezcla se deja reposar por 30 min antes de aplicar el volumen necesario en forma directa.

Es importante destacar que se prepararon las soluciones de acuerdo al peso necesario en cada formulación para la curtición de las pieles, siguiendo la misma relación de concentración para la solución de silicato de sodio y ácido sulfúrico.

#### *3.12.5.2. Curtición mixta*

Una vez obtenido el sol de sílice se lleva a cabo la curtición mixta usando los diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango. En la Tabla 4-3 se detalla el esquema del experimento que se llevará a cabo en la presente investigación.

De esta manera, para el Tratamiento T1 se adiciona 15 % de guarango, para el T2 se aplica 15 % de sol de sílice, para el T3 se utiliza 6 % de sol de sílice y 8 % de guarango, para el T4 se aplica, 8 % de sol de sílice y 8 % de guarango, finalmente para el T5 se adiciona 10 % de sol de sílice y 8 % de guarango. En todas las combinaciones, el sol de sílice tiene un pH de 2.6.

Posteriormente se realiza un pre-engrase adicionando a cada uno de los tratamientos descritos 1 % de grasa sintética después de adicionar los agentes curtientes. Finalmente, se hace rodar el bombo durante 5 horas. Terminado el proceso se verifica el pH de las pieles caprinas y se dejan reposar en el baño toda la noche.

Una vez obtenidas las pieles curtidas y escurridas, se realiza el proceso de raspado a un calibre de 1.2 mm de espesor, el cual es óptimo para la fabricación de productos de marroquinería.

#### *3.12.6. Neutralizado y recurtido*

Las pieles caprinas rebajadas se pesan nuevamente para realizar un lavado en función a este peso, por lo tanto, se realiza un baño con 200 % de agua, 0.5 % de ácido fórmico y 0.5 % de tensoactivo, haciendo rodar el bombo durante 15 min y se escurre.

Una vez escurridas las pieles se lleva a cabo el proceso de neutralización y recurtido con 200 % de agua y 0.5 % de formiato de sodio en función al peso anterior, haciendo girar el bombo durante 30 min, posteriormente se adiciona 2 % de aldehído Tensotan 45G y se deja rodar el bombo durante 1 hora. Finalmente se aplica 2 % de bicarbonato de amonio dejando rodar el bombo durante 90 min y se escurre.

### ***3.12.7. Tintura y engrase***

Previo al teñido de los cueros, se realizan dos lavados con 200 % de agua, dejando rodar el bombo durante 15 min en cada lavado. Para el proceso de teñido y engrase se utiliza 100 % de agua a temperatura de 60 °C, 2 % de dispersante de grasa, 2 % de rellenante de faldas y 2 % de grasa PROVOL BA, dejando rodar el bombo durante 1 hora. Luego se aplica 2 % de anilina negra de atravesado para volver a girar el bombo por 1 hora. Para el engrasado se añade 4 % de grasa PROVOL BA, 5 % de Sulphirrol HF y 5 % de Synthol YY 707 haciendo girar el bombo durante 1 hora.

Luego se añade 0.5 % de bicarbonato de amonio, girando el bombo durante 5 min, después se aplica 1 % de anilina negra de superficie y se gira el bombo durante 1 hora. Finalmente se añaden dos porciones de 1 % de ácido fórmico, dejando rodar el bombo durante 15 min por cada porción de ácido fórmico adicionado y se deja reposar los cueros caprinos durante toda la noche.

### ***3.12.8. Secado, estacado y recortado***

Antes de realizar el proceso de secado se realiza un último lavado de los cueros con 100 % de agua dejando rodar el bombo durante 15 min. Posteriormente se perchan los cueros para secarlos durante 24 horas, luego se lleva a cabo el proceso de estacado mediante pinzas para eliminar las arrugas en la parte de la flor del cuero y finalmente se recortan sus bordes.

### ***3.12.9. Operaciones de acabado***

Se realiza principalmente el proceso de prensando y lacado para mejorar la calidad superficial del cuero caprino terminado. Una vez realizadas las operaciones de acabado, se llevan a cabo las diferentes pruebas de calidad.

### 3.13. Normativa de calidad referente a los cueros terminados

Una vez obtenidos los cueros caprinos terminados se realizan las diferentes pruebas de calidad, tanto físico-mecánicas como sensoriales en relación a las normativas referentes a cuero.

Las pruebas físico-mecánicas que se realizan en los cueros caprinos terminados, se basan en las normas IUP (International Union Physical Test), las cuales son normas estandarizadas y propuestas por la IULTCS (Unión Internacional de Asociaciones de Químicos y Técnicos de la Industria del Cuero) para evaluar a los cueros terminados. En el Ecuador existen normas INEN referentes a cuero, que son transcripciones de las normas internacionales, por lo tanto, al llevar a cabo la evaluación de los cueros caprinos terminados en base a las normas IUP o normas INEN, los límites o valores permisibles para determinar la calidad de los cueros terminados son idénticos.

Las pruebas físico-mecánicas que se llevaron a cabo en los cueros caprinos terminados en relación a su normativa fueron:

- Resistencia a la tensión (Norma IUP 6)
- Porcentaje de elongación (Norma IUP 6)
- Lastometría (Norma IUP 9)
- Temperatura de contracción (Norma IUP 16)

Por otro lado, las pruebas sensoriales se llevan a cabo mediante la experiencia de un curtidor que da una escala de calificación y evalúa en base a ésta la calidad de los cueros caprinos terminados, por lo tanto, estas pruebas sensoriales no se basan en normas estandarizadas.

Las pruebas sensoriales realizadas son:

- Llenura
- Blandura
- Soltura de flor

La caracterización de las aguas residuales producto del proceso de curtición se realiza en base a la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes del recurso agua (Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce). De esta manera los análisis que se van a llevar a cabo son:

- DBO<sub>5</sub>
- DQO.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de los resultados

Una vez desarrolladas las distintas pruebas de calidad, el análisis e interpretación de los resultados se realiza a los obtenidos en las pruebas físico-mecánicas, sensoriales, de calidad de las aguas residuales y la evaluación económica de los cueros caprinos terminados.

##### 4.1.1. Análisis de las pruebas físico-mecánicas de los cueros terminados

**Tabla 1-4:** Resultados de las pruebas físico-mecánicas de los cueros terminados

Nº	Detalle	Resistencia a la tensión Mínimo 1500 N/cm <sup>2</sup>	Porcentaje de Elongación Mínimo 40 %	Lastometría Mínimo 7 mm	Temperatura de contracción Mínimo 70 °C
1	T <sub>1</sub>	2734.00	60.00	9.87	90.00
2	T <sub>1</sub>	3381.00	60.00	9.96	90.00
3	T <sub>1</sub>	1980.00	62.50	9.96	90.00
4	T <sub>1</sub>	2373.33	60.00	9.87	90.00
5	T <sub>1</sub>	2989.00	60.00	9.96	90.00
6	T <sub>1</sub>	2156.00	60.00	9.96	90.00
1	T <sub>2</sub>	2303.00	70.00	9.96	90.00
2	T <sub>2</sub>	2879.09	57.50	9.74	90.00
3	T <sub>2</sub>	2229.23	57.50	9.28	90.00
4	T <sub>2</sub>	3100.00	47.50	9.96	90.00
5	T <sub>2</sub>	2646.00	57.50	10.07	90.00
6	T <sub>2</sub>	2402.00	55.00	10.07	90.00
1	T <sub>3</sub>	1820.00	55.00	9.96	90.00
2	T <sub>3</sub>	1720.00	47.50	9.28	90.00
3	T <sub>3</sub>	1602.50	47.50	9.28	90.00
4	T <sub>3</sub>	2013.00	52.50	9.28	90.00
5	T <sub>3</sub>	1560.00	52.50	9.28	90.00
6	T <sub>3</sub>	2100.00	55.00	9.28	90.00
1	T <sub>4</sub>	1951.00	55.00	9.54	90.00
2	T <sub>4</sub>	2128.00	57.50	9.74	90.00
3	T <sub>4</sub>	2200.91	57.50	9.54	90.00
4	T <sub>4</sub>	2185.00	55.00	9.28	90.00
5	T <sub>4</sub>	2025.00	60.00	9.28	90.00
6	T <sub>4</sub>	1999.09	57.50	9.54	90.00
1	T <sub>5</sub>	3200.00	75.00	10.08	90.00
2	T <sub>5</sub>	2980.00	67.50	10.08	90.00
3	T <sub>5</sub>	2927.50	67.50	10.02	90.00
4	T <sub>5</sub>	2670.00	67.50	9.96	90.00
5	T <sub>5</sub>	2853.00	60.00	9.96	90.00
6	T <sub>5</sub>	2538.00	60.00	9.74	90.00

Fuente: (Laboratorio de Curtiembre ESPOCH, 2019)

Las pruebas físico-mecánicas permiten conocer la resistencia que pueden soportar los cueros terminados al aplicar distintas fuerzas sobre el mismo, juzgando de esta manera la calidad que poseen para su posterior fabricación en distintos productos tales como calzado, marroquinería a base de cuero. Por otra parte, esta resistencia es variable, puesto que, al analizar los cueros terminados de la parte del crupón, estos presentan una mayor resistencia en cada una de las pruebas físico-mecánicas, disminuyendo sus valores en la parte de las faldas y cuello del cuero terminado.

Para la investigación, como se observa en la Tabla 4-1, los resultados de las pruebas físico-mecánicas: resistencia a la tensión, porcentaje de elongación, lastometría y temperatura de contracción, se analizaron estadísticamente mediante el paquete estadístico Infostat, para determinar la variabilidad de los datos en función a sus medias. El análisis individual de cada una de estas pruebas se realiza en los siguientes epígrafes.

#### *4.2.1.2. Resistencia a la tensión*

El análisis de varianza realizado en esta prueba, permitió analizar la interacción de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

En la Tabla 2-4, se detallan los datos numéricos del análisis estadístico, la cual reporta diferencias estadísticas altamente significativas ( $P < 0.05^{**}$ ) entre la interacción de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con el 8 % de guarango.

Además, se realizó la comparación ortogonal que permite determinar el nivel de significancia entre tratamientos, comparando de esta manera los diferentes tratamientos (A) con el tratamiento testigo (T1) el cual reporta diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05^{**}$ ). De esta manera se establece que existe variabilidad y mejores resultados al llevar a cabo una curtición mixta (silicato de sodio con guarango) que al realizar una curtición única con un solo agente curtiente (guarango).

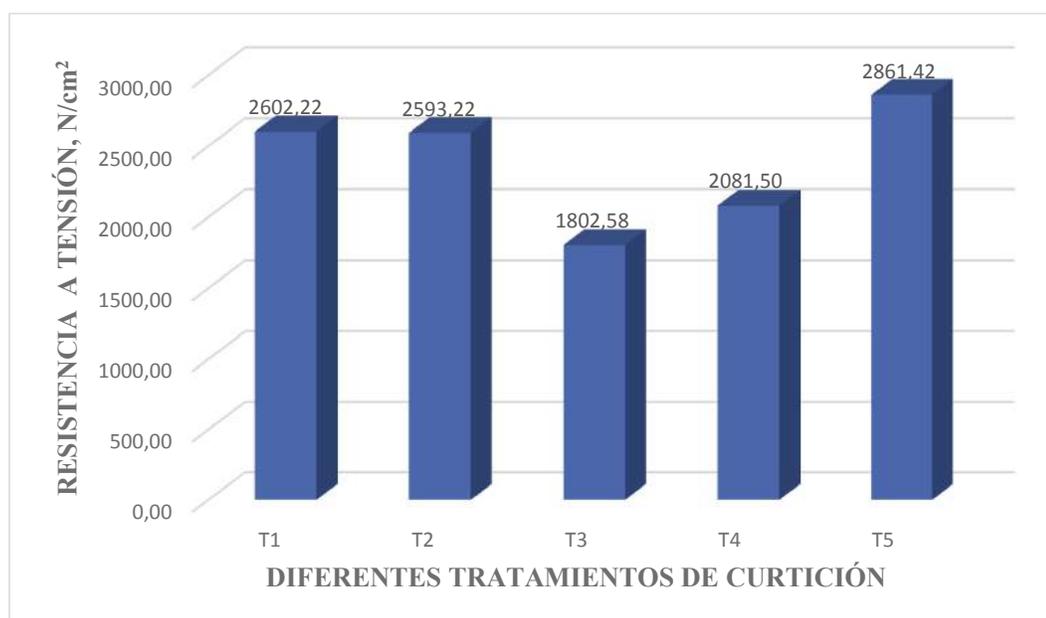
No obstante, al realizar la comparación ortogonal entre los dos tratamientos testigos (T1 vs T2), se reporta que no existe diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), que conlleva a discutir que al curtir únicamente con guarango o solamente con silicato de sodio, los cueros caprinos terminados no van a reportar variabilidad en los datos resultantes de la resistencia a la tensión. De esta manera, se observa que el poder curtiente que tiene el silicato de sodio en forma de sol de sílice coloidal es similar al del guarango.

**Tabla 2-4:** Análisis de varianza de la resistencia a la tensión de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher calculado	Prob.	Sign.
Total	7066703.6	29				
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango) (A)	3614385.08	2	1807192.54	17.55	0.00002	**
A vs T1 ( 0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	563035.58	1	563035.58	5.47	0.02766	**
T1 vs T2	243.09	1	243.09	0.002	0.96163	Ns
Error	2573998.06	25	102959.92			

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Como se observa en el Gráfico 1-4, los mejores resultados se reportan al llevar a cabo una curtición mixta con 10 % de silicato de sodio (T5) con un valor de 2861.42 N/cm<sup>2</sup>, continuando los dos tratamientos testigos (T2, T1) con un valor de 2593.22 N/cm<sup>2</sup> y 2602.22 N/cm<sup>2</sup>, respectivamente; y por último los valores más bajos se observan al utilizar tanto el 8 % de silicato de sodio (T4) con un valor de 2081.50 N/cm<sup>2</sup> como al curtir con 6 % de silicato de sodio (T3) con un valor de 1802.58 N/cm<sup>2</sup>.

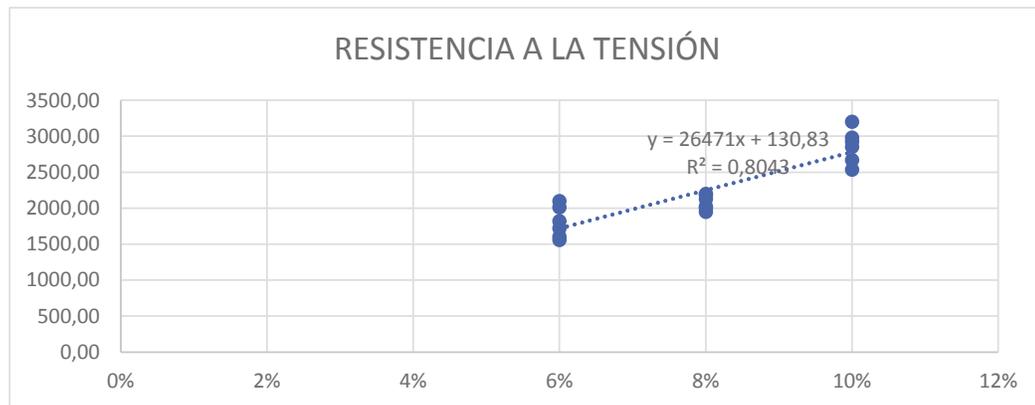


**Gráfico 1-4:** Resultados de la resistencia a la tensión procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Por otro parte, al reportarse diferencias estadísticas altamente significativas se realizó el análisis de regresión por la interacción de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición como se ilustra en el Gráfico 2-4, reportándose una tendencia lineal positiva altamente significativa entre medias, partiendo de un intercepto de 130.83, la resistencia a la tensión tiende a incrementarse 26471 por cada unidad de silicato de sodio añadido al proceso de curtición, además se determinó que el coeficiente de determinación fue de 80.43 % estableciendo que el diseño experimental utilizado es el adecuado y se debe a la interacción entre los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango con un error experimental inherente en cualquier investigación. La ecuación lineal obtenida es:

$$\text{Resistencia a la tensión} = 26471 (\% \text{ SS}) + 130.83 \quad \text{Ec. 3}$$

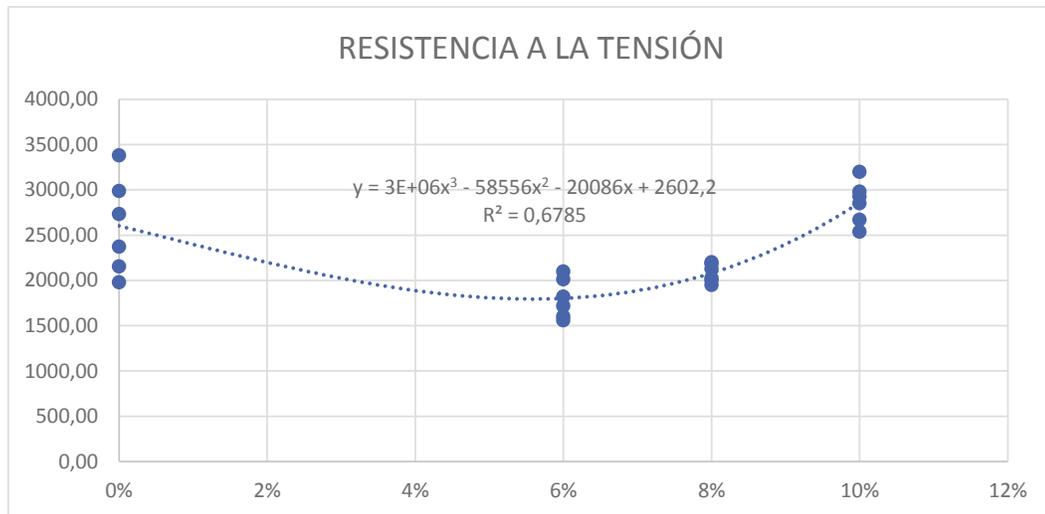


**Gráfico 2-4:** Regresión de la resistencia a la tensión por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

**Realizado por:** Meléndrez, Freddy, 2019

De igual manera, al observar diferencias estadísticas significativas al comparar ortogonalmente los distintos tratamientos con los tratamientos testigos, se realizó el análisis de regresión como se observa en el Gráfico 3-4. Su comportamiento tiene una tendencia cúbica altamente significativa partiendo de un intercepto de 2602.2 al curtir únicamente con silicato de sodio o guarango, donde sus valores decrecen por cada nivel de silicato de sodio adicionado en la curtición en 20086 , después disminuyeron en 58556 por cada nivel cuadrático de silicato de sodio añadido y finalmente aumentaron en  $3 \cdot 10^6$  por cada nivel cúbico de silicato de sodio adicionado en el proceso de curtición; reportándose un coeficiente de determinación de 67.85 % procedente de la comparación entre los distintos tratamientos con los tratamientos testigos y del error experimental. La ecuación cúbica resultante es:

$$\text{Resistencia a la tensión} = 3 \cdot 10^6 (\% \text{ SS})^3 - 58556 (\% \text{ SS})^2 - 20086 (\% \text{ SS}) + 2602.2 \quad \text{Ec. 4}$$



**Gráfico 3-4:** Regresión de la resistencia a la tensión por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango con el tratamiento testigo T1.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.2.1.2. Porcentaje de elongación

En la presente prueba se analizó la interacción de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango y su comparación con los tratamientos testigos. En la Tabla 3-4, se puntualiza los datos numéricos del análisis estadístico realizado, reportándose diferencias altamente significativas ( $P < 0.05^{**}$ ) entre la interacción de los diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con el 8 % de guarango.

Por otra parte, se efectuó la comparación ortogonal entre los distintos tratamientos con los tratamientos testigos, la cual no reporta diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ), con lo cual se establece que no existe variabilidad al llevar cabo una curtición mixta en base a silicato de sodio y guarango que al realizar una curtición única en base a guarango o silicato de sodio, por esta razón, los mejores resultados se reportan al llevar a cabo una curtición mixta con respecto a sus medias.

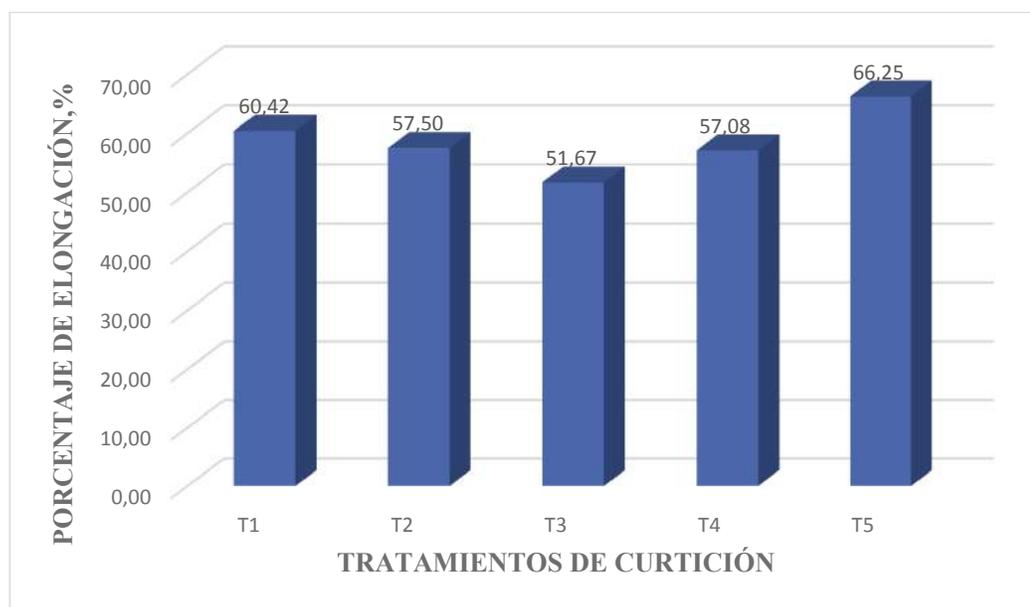
Finalmente, al efectuar la comparación ortogonal entre los dos tratamientos testigos (T1 vs T2), se reporta que no existe diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), lo que permite destacar que la probabilidad va a ser similar, al realizar la comparación ortogonal entre los tratamientos (A) con el primer testigo (T1) o segundo testigo (T2). Por otro lado, es importante mencionar que el poder curtiente del silicato de sodio y el guarango es similar estadísticamente, que al utilizar cualquiera de estos agentes curtientes, se obtendrán resultados por encima de la norma referente a cuero en cuanto al porcentaje de elongación.

**Tabla 3-4:** Análisis de varianza del porcentaje de elongación de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher calculado	Prob.	Sign.
Total	1183.54	29				
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango) (A)	652.08	2	326.04	16.20	0.00003	**
A vs T1 (0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	19.53	1	19.53	0.97	0.3341	Ns
T1 vs T2	25.52	1	25.52	1.27	0.2709	Ns
Error	503.13	25	20.13			

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

En el Gráfico 4-4, se observa que los mejores resultados se reportan al llevar a cabo una curtición mixta con 10 % de silicato de sodio en combinación con 8 % de guarango (T5) dando un valor de 66.25 %, por otra parte, los valores resultantes de los dos tratamientos testigos (T2, T1) continúan con un valor de 60.42 % y 57.50 % respectivamente, y por último los resultados más bajos se reportan al utilizar tanto 8 % de silicato de sodio (T4) con un valor de 57.08 % como al curtir con 6 % de silicato de sodio (T3) con un valor de 51.67 %.



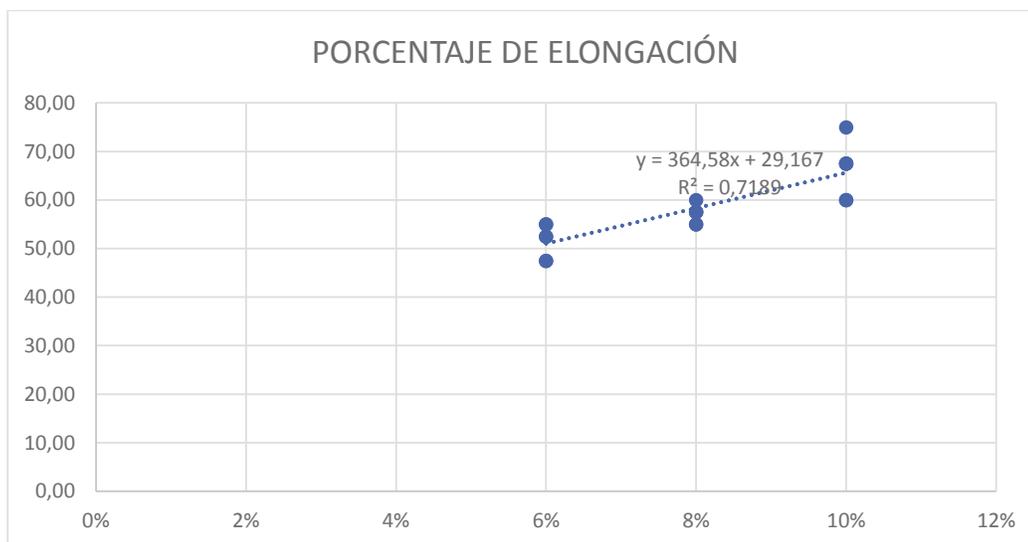
**Gráfico 4-4:** Análisis de porcentaje de elongación procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

No obstante, al reportarse diferencias estadísticas altamente significativas en cuanto a los tratamientos se realizó el análisis de regresión de la interacción de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición como se observa en el Gráfico 5-4, reportándose una tendencia lineal positiva altamente significativa entre medias, partiendo de un intercepto de 29.167, la resistencia a la tensión tiende a incrementarse 364.58 por cada unidad de silicato de sodio añadido al proceso de curtición. En cuanto al coeficiente de determinación se obtuvo un valor de 71.89 % que permite corroborar que el diseño experimental utilizado fue el más adecuado y la diferencia resultante del coeficiente determinado corresponde al error experimental que es inherente en la investigación que tiene relación con otros factores no considerados en el diseño experimental como el pesaje de los productos utilizados en el proceso de transformación de las pieles caprinas en productos terminado. La ecuación lineal obtenida es:

$$\text{Porcentaje de elongación} = 364.58 (\% \text{ SS}) + 29.167$$

Ec. 5



**Gráfico 5-4:** Regresión del porcentaje de elongación por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

**Realizado por:** Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.2.1.3. Lastometría

En la Tabla 4-4, se detalla el análisis estadístico realizado a la prueba de lastometría que permite relacionar los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición y comparar estos tratamientos con los tratamientos testigos. En cuanto, al análisis de varianza de la interacción de los tratamientos en la curtición se reporta diferencias altamente significativas ( $P < 0.05^{**}$ ), de esta manera se establece que al curtir con diferentes niveles de

silicato de sodio si existe variabilidad con respecto a sus medias observándose mayores resultados al utilizar mayor cantidad de silicato de sodio en combinación con 8 % de guarango.

Por otra parte, al realizar la comparación ortogonal entre los distintos tratamientos y los testigos se observan que existe diferencias altamente significativas, discutiendo de esta manera que existe mejores resultados al llevar a cabo una curtición mixta (silicato de sodio con guarango) que al realizar una curtición única en base a silicato de sodio o guarango.

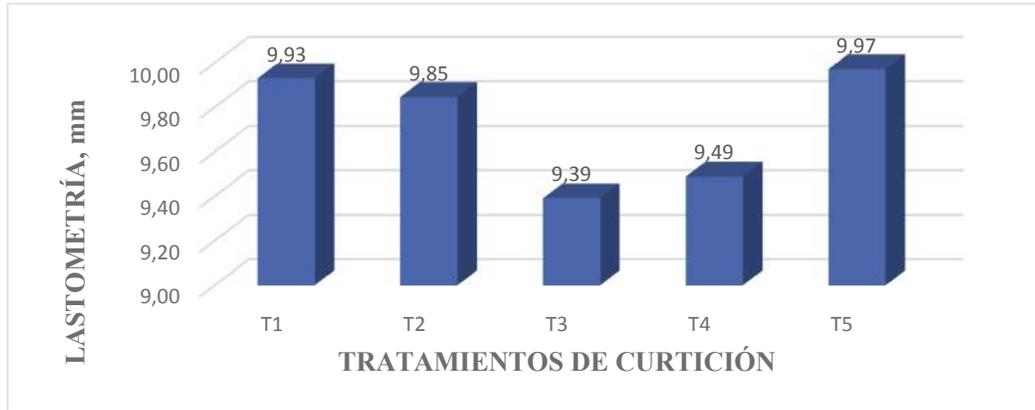
Finalmente, al realizar la comparación ortogonal entre los tratamientos testigos (T1vsT2) se reporta que no existen diferencias significativas, por esta razón, de igual manera al realizar la comparación ortogonal anterior entre los tratamientos y el primer testigo (T1) o segundo testigo (T2) su probabilidad va a ser similar. No obstante, al no existir diferencias significativas entre los dos testigos, se establece que los cueros caprinos terminados al evaluar la lastometría, sus resultados van a ser similares al curtir únicamente con silicato de sodio o guarango puesto que no existe diferencia significativa.

**Tabla 4-4:** Análisis de varianza del lastometría de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Fisher calculado	Prob.	Sign.
Total	2.8	29				
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango) (A)	1.16	2	0.58	14.50	0.00007	**
A vs T1 ( 0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	0.44	1	0.44	11.00	0.0027	**
T1 vs T2	0.02	1	0.02	0.50	0.4860	Ns
Error	1.09	25	0.04			

**Realizado por:** Meléndrez, Freddy, 2019

Como se observa en el Grafico 6-4, los mejores resultados de lastometría se reportan al curtir con 10 % de silicato de sodio (T5) con un valor de 9.97 mm, mientras que los tratamientos testigos que se encuentran utilizando un solo agente curtiente (silicato de sodio o guarango) continúan con un valor de 9.93 mm (T1) y 9.85 mm (T2), las que disminuyeron al curtir con 6 % de silicato de sodio (T3) con un valor de 9.39 mm y reportándose aún valores más bajos al curtir con 8 % de silicato de sodio (T4). No obstante, todos los tratamientos cumplen con los límites permisibles establecidos en la norma referente a cuero de lastometría, obteniéndose cueros de buena calidad.



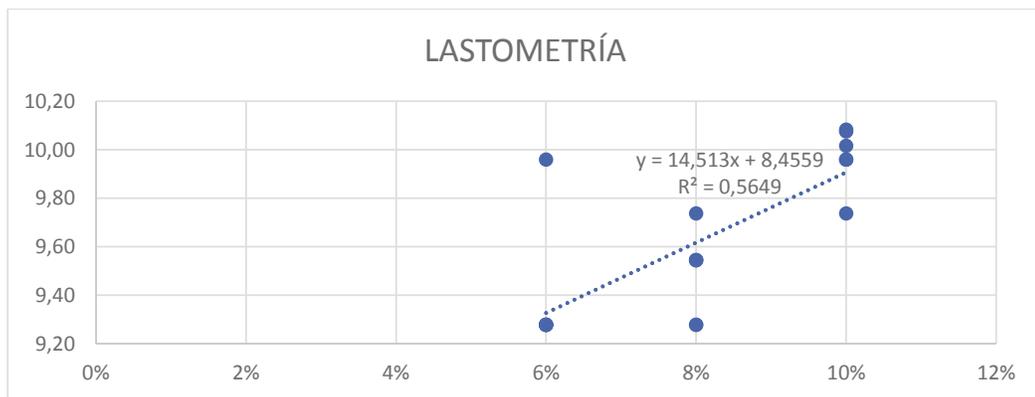
**Gráfico 6-4:** Resultados del análisis de lastometría procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Al realizar el análisis de regresión de lastometría resultante de la diferencia altamente significativa de los datos provenientes de la interacción de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango, se observa que tienen una tendencia positiva lineal, que parte de un intercepto de 8.4559, aumentando en 14.513 por cada nivel de silicato de sodio adicionado en el proceso de curtición. Por otra parte, el coeficiente de determinación tiene un valor de 56.49 % que se debe al proceso experimental tanto de los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango añadidos a la curtición como de su error experimental. La ecuación lineal obtenida es:

$$\text{Lastometría} = 14.513 (\% \text{ SS}) + 8.4559$$

Ec. 6

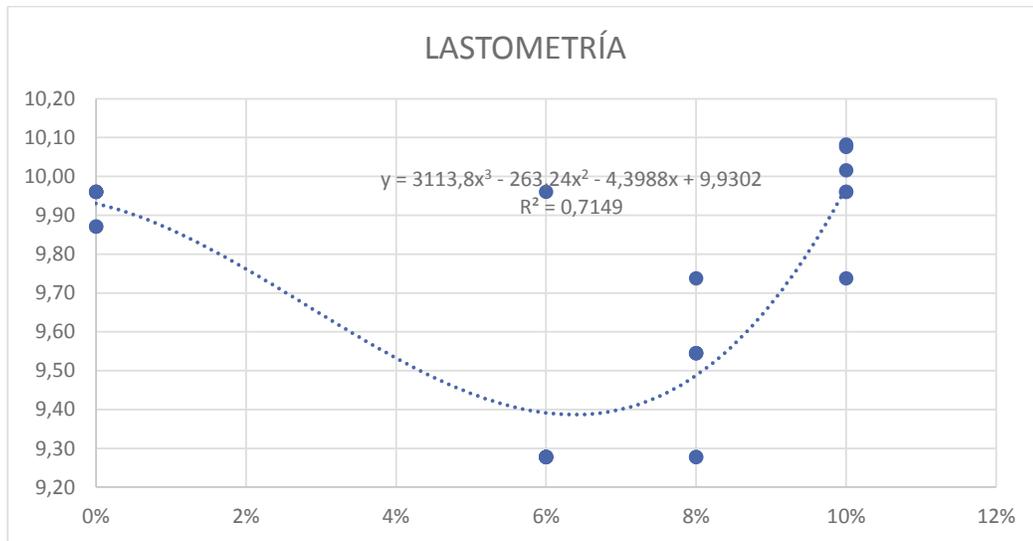


**Gráfico 7-4:** Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Sin embargo, al existir diferencia altamente significativa ( $P < 0.05^{**}$ ) se realizó el análisis de regresión resultante de la comparación entre los tratamientos con los testigos; debido a que no existe variabilidad de los datos entre los tratamientos testigos, se puede utilizar cualquier testigo para su comparación, debido a que su probabilidad será similar ( $P < 0.05^{**}$ ) como se observa en el Gráfico 8-4. Al realizar el análisis de regresión su comportamiento tiene una tendencia cúbica altamente significativa partiendo de un intercepto de 9.9302 al curtir únicamente con silicato de sodio o guarango, donde sus valores decrecen por cada nivel de silicato de sodio adicionado en la curtiembre en 4.3988, después disminuyeron en 263.24 por cada nivel cuadrático de silicato de sodio añadido y finalmente aumentaron en 3113.8 por cada nivel cúbico de silicato de sodio adicionado en el proceso de curtiembre; reportándose un coeficiente de determinación de 71.49 % procedente de la comparación entre los distintos tratamientos con los tratamientos testigos y del error experimental. La ecuación cúbica resultante es:

$$\text{Lastometría} = 3113.8(\%SS)^3 - 263.24(\%SS)^2 - 4.3988(\%SS) + 9.9302 \quad \text{Ec. 7}$$



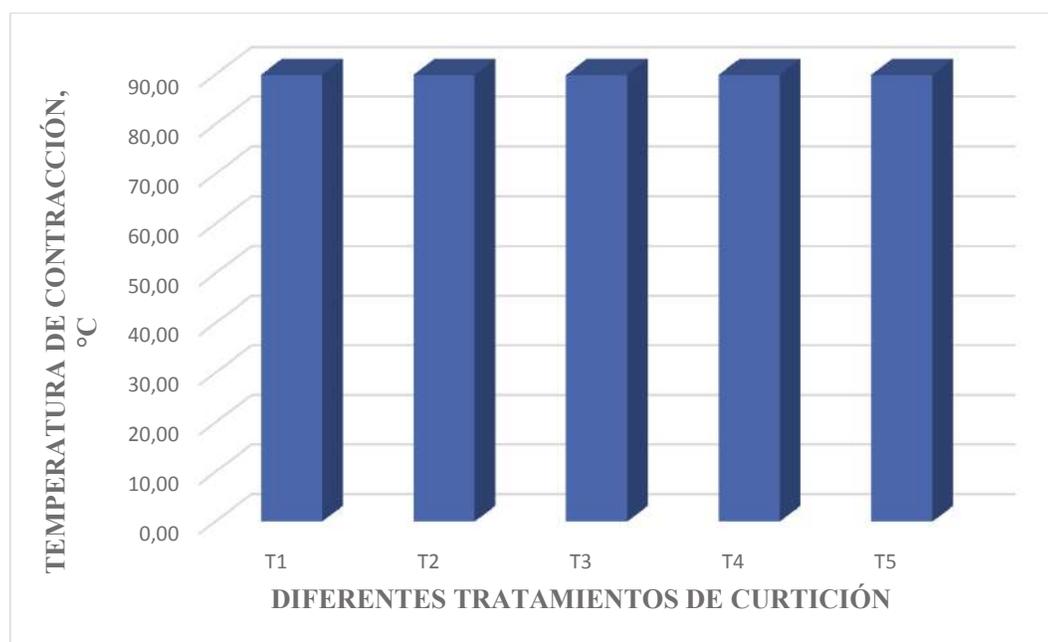
**Gráfico 8-4:** Lastometría por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango con el tratamiento testigo T1.

**Realizado por:** Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.2.1.4. Temperatura de contracción

En la presente prueba, los resultados referentes a temperatura de contracción no presentan variabilidad individualmente ni con respecto a sus medias, puesto que el valor de temperatura de contracción como se observa en la Tabla 1-4, todos sus valores son iguales en cada una de las repeticiones por cada tratamiento, de esta manera al no existir diferencias o variabilidad entre los

datos de los distintos tratamientos realizados en el proceso de curtición, el valor de probabilidad va a ser nula. Por esta razón únicamente se representa esquemáticamente los resultados de la temperatura de contracción en el Grafico 9-4, estableciendo que al realizar una curtición con un solo agente curtiente (silicato de sodio o guarango) o una curtición mixta (silicato de sodio en combinación con guarango) no va a existir diferencia en este parámetro físico-mecánico, sin embargo, todos los tratamientos cumplen con los límites permisibles descrita en la normativa referente a cuero en cuanto a la temperatura de contracción, siendo todos los cueros caprinos terminados de buena calidad y aptos para su comercialización.



**Gráfico 9-4:** Análisis de temperatura de contracción procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

#### **4.1.2. Análisis de las pruebas sensoriales de los cueros terminados**

Las pruebas sensoriales permiten determinar la calidad superficial del cuero y su evaluación es indispensable para su comercialización y la fabricación de productos terminados a base de cuero, puesto que, cueros con baja calidad en sus pruebas sensoriales desvaloriza el valor de los productos terminados. Por otra parte, al obtener buenos resultados en sus pruebas físico-mecánicas permite tener una idea clara de los resultados sensoriales ya que en la mayoría de investigaciones se ha establecido que cueros que tienen una mejor calidad en sus pruebas físico-mecánicas de igual forma presenta los mejores resultados en sus pruebas sensoriales. En la Tabla 5-4, se detalla los resultados de las pruebas sensoriales de los cueros caprinos terminados.

**Tabla 5-4:** Resultados de las pruebas sensoriales de los cueros terminados.

N°	Detalle	Blandura	Llenura	Soltura de Flor
1	T <sub>1</sub>	4	3	5
2	T <sub>1</sub>	4	3	5
3	T <sub>1</sub>	3	4	5
4	T <sub>1</sub>	4	3	4
5	T <sub>1</sub>	4	4	5
6	T <sub>1</sub>	3	3	5
1	T <sub>2</sub>	5	5	5
2	T <sub>2</sub>	4	4	5
3	T <sub>2</sub>	4	5	4
4	T <sub>2</sub>	5	4	4
5	T <sub>2</sub>	5	5	5
6	T <sub>2</sub>	5	5	5
1	T <sub>3</sub>	3	2	4
2	T <sub>3</sub>	4	3	5
3	T <sub>3</sub>	3	2	4
4	T <sub>3</sub>	4	3	3
5	T <sub>3</sub>	4	4	3
6	T <sub>3</sub>	3	3	3
1	T <sub>4</sub>	2	5	3
2	T <sub>4</sub>	3	4	3
3	T <sub>4</sub>	4	5	4
4	T <sub>4</sub>	4	4	4
5	T <sub>4</sub>	4	5	4
6	T <sub>4</sub>	4	5	4
1	T <sub>5</sub>	5	4	4
2	T <sub>5</sub>	4	4	4
3	T <sub>5</sub>	5	4	3
4	T <sub>5</sub>	5	5	4
5	T <sub>5</sub>	5	5	3
6	T <sub>5</sub>	4	4	3

Fuente: (Laboratorio de Curtiembre ESPOCH, 2019)

Para evaluar las distintas pruebas sensoriales se requiere de una persona calificada y con experiencia, que en base a su juicio de valor determine la calidad de los cueros caprinos terminados. Según Hidalgo (2017), establece una escala de calificación de 1-5 para evaluar los cueros terminados, siendo 5: EXCELENTE, 4: MUY BUENA, 3: BUENA, 2: REGULAR y 1: BAJA, para las pruebas de llenura, blandura y soltura de flor que se realizó en la presente investigación.

Una vez obtenidos los datos se realizó el análisis estadístico utilizando el paquete estadístico Infostat, que determina si los datos son estadísticamente significativos y si presentan variabilidad con respecto a cada una de sus medias de los distintos tratamientos realizados. Es así, que el análisis individual de cada una de las pruebas sensoriales realizadas a los cueros caprinos terminados se describe en los siguientes epígrafes.

#### 4.1.2.1. Llenura

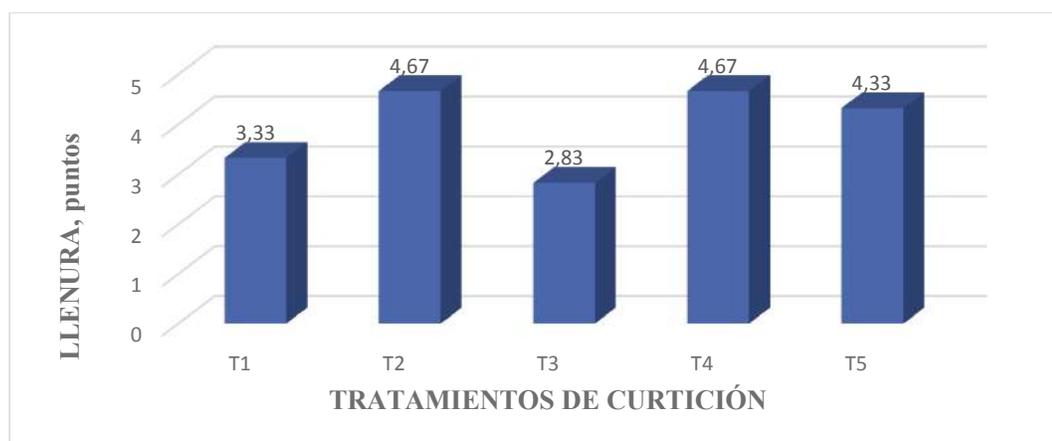
En la Tabla 6-4, se observa el análisis estadístico realizado a la prueba de llenura según Kruskal-Wallis, las medias obtenidas reportan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05^{**}$ )

obteniendo de esta forma datos diferentes en cada uno de sus tratamientos. Al comparar ortogonalmente los diferentes tratamientos frente al primer testigo (T1) se reporta que no existe significancia ( $P > 0.05$ ), pese a esto, al realizar la misma comparación entre los dos testigos (T1 vs T2) se observa que existe significancia entre sus medias, por lo tanto, se establece que al curtir únicamente con silicato de sodio en lugar de guarango se tendrá mejores resultados en la prueba de llenura.

**Tabla 6-4:** Análisis de varianza de llenura de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	H	Prob.	Sign.
Total	24.97	29				
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango) (A)	11.44	2	5.72	17.33	0.00002	**
A vs T1 (0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	1.68	1	1.68	5.09	0.0331	Ns
T1 vs T2	5.33	1	5.33	16.15	0.0004	**
Error	1.09	25	0.04			

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019



**Gráfico 10-4:** Análisis de llenura procedente de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición

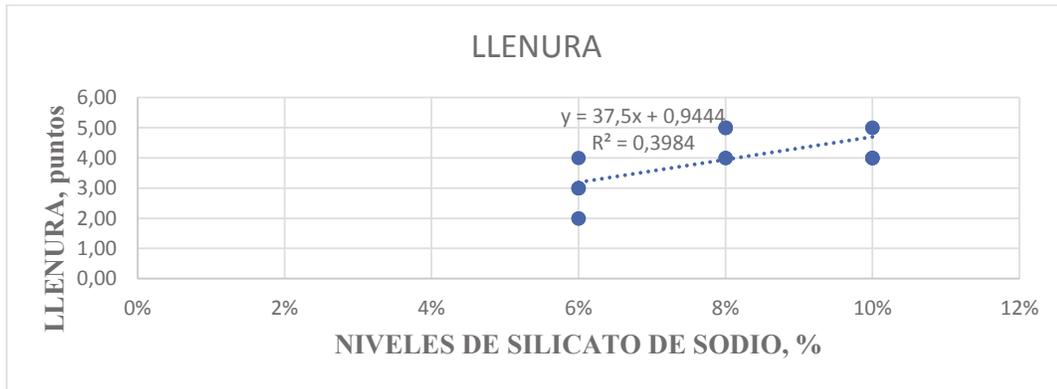
Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Los mejores resultados como se observa en el Gráfico 10-4, se tienen al curtir con el 15 % de silicato de sodio (T2) y 8 % de silicato de sodio (T4) con un valor de 4.67 puntos, disminuyendo este valor al curtir con el 10 % de silicato de sodio (T5) con un valor de 4.63 puntos y los

resultados más bajos se obtuvieron al curtir con 0 % de silicato de sodio (T1) y 6 % de silicato de sodio (T3) con valor de 3.33 y 2.83 puntos respectivamente.

El análisis de regresión de los diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango adicionado al proceso de curtición reportó una tendencia lineal significativa como se observa en el Gráfico 11-4, partiendo de un intercepto de 0.9444, aumentando en 37.5 por cada nivel de silicato de sodio adicionado al proceso de curtición. Además, se determinó el coeficiente de correlación con un valor de 39.48 %, este valor se debe a que no se ajustaron los datos a una recta por lo que su dispersión es notable y se debe tener muy en cuentas los errores aleatorios durante la fase experimental. La ecuación lineal es:

$$\text{Llenura} = 37.5 (\% \text{ SS}) + 0.9444 \quad \text{Ec. 8}$$

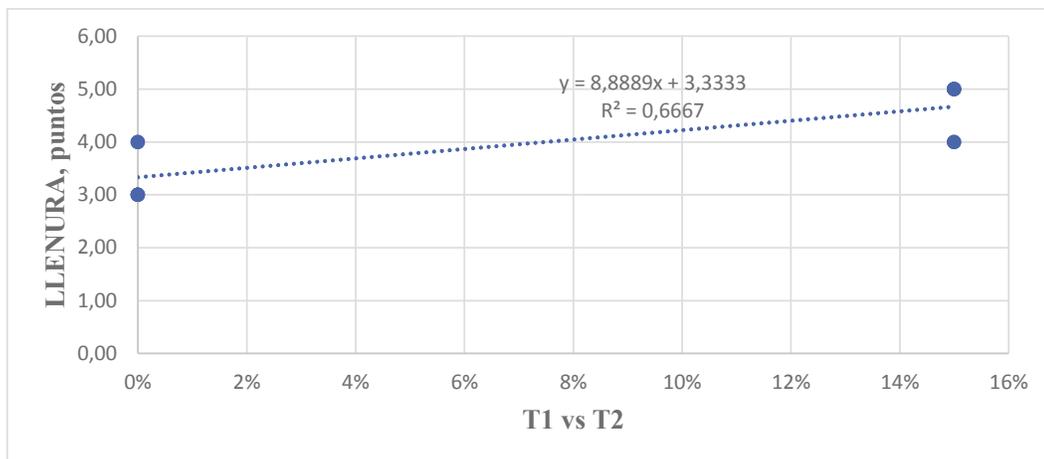


**Gráfico 11-4:** Llenura por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

**Realizado por:** Meléndrez, Freddy, 2019

En cuanto al análisis de regresión por la significancia de los datos al realizar su comparación entre los dos tratamientos testigos ( $P < 0.05^{**}$ ) se reportó una tendencia lineal positiva como se observa en el gráfico 12-4, partiendo de un intercepto de 3.33, aumentando este valor en 8.88 por cada nivel de silicato de sodio añadido en la curtición. El coeficiente de determinación fue de 66.67 %, que es aceptable ajustándose los datos a la recta, además, se establece que existe variables que no se pueden controlar y vienen asociados con el error experimental del diseño. La ecuación lineal que describe este modelo es:

$$\text{Llenura} = 8.88 (\% \text{ SS}) + 3.33 \quad \text{Ec. 9}$$



**Gráfico 12-4:** Llenura por la comparación entre tratamientos testigos (T1 vs T2).

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.1.2.2. Blandura

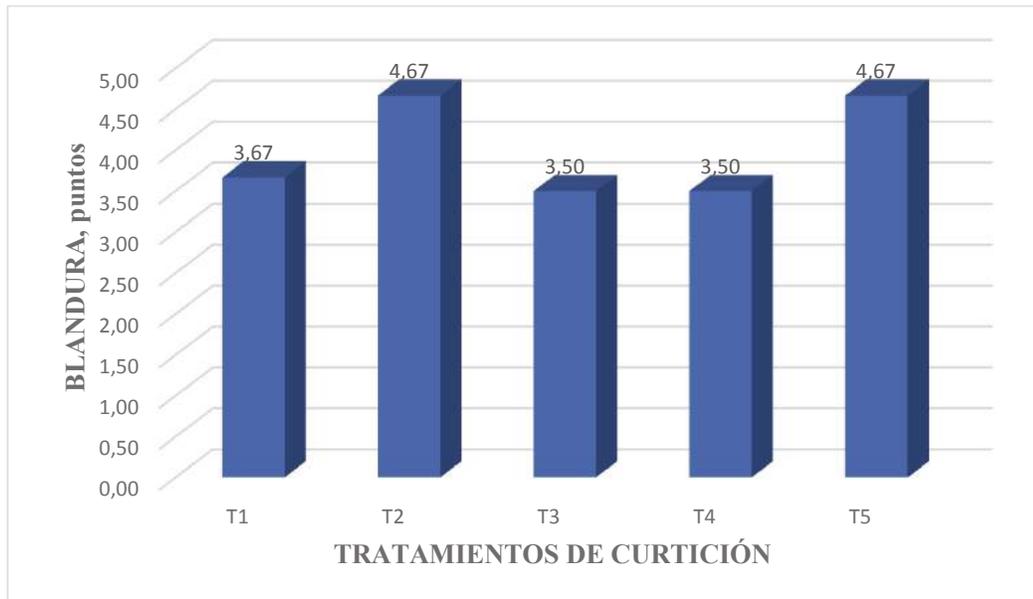
Al realizar el análisis estadístico de la prueba de blandura según Kruskal-Wallis (Tabla 7-4), se reporta que existe diferencias significativas ( $P < 0.05^{**}$ ) entre los diversos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango adicionados al proceso de curtición. Al comparar estos distintos tratamientos con el primer testigo (T1) se observa que no existe significancia o variabilidad entre sus medias, mientras que al comparar los datos entre los dos tratamientos testigos (T1 vs T2) se reporta que existen diferencias significativas ( $P < 0.05^{**}$ ) estableciéndose de esta manera que al realizar una curtición con un solo agente curtiente reemplazando el guarango por silicato de sodio (T5), se obtendrán mejores resultados en la prueba de blandura en cada uno de los cueros curtidos.

**Tabla 7-4:** Análisis de varianza de blandura de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	H	Prob.	Sign.
Total	18	29				
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango) (A)	5.44	2	2.72	7.56	0.0027	**
A vs T1 ( 0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	0.22	1	0.22	0.61	0.4417	Ns
T1 vs T2	3.00	1	3.00	8.33	0.0079	**
Error	9.00	25	0.36			

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Como se observa en el Gráfico 13-4, los mejores resultados se reportan al curtir tanto con 10 % de silicato de sodio (T5) como al curtir únicamente con 15 % de silicato de sodio (T2) con un valor de 4.67 puntos, disminuyendo este valor al curtir con 0 % de silicato de sodio (T1) con un valor de 3.67 puntos, obteniéndose los resultados más bajos al curtir tanto con el 6 % y 8 % de silicato de sodio (T3 y T4) con un valor de 3.50 puntos.



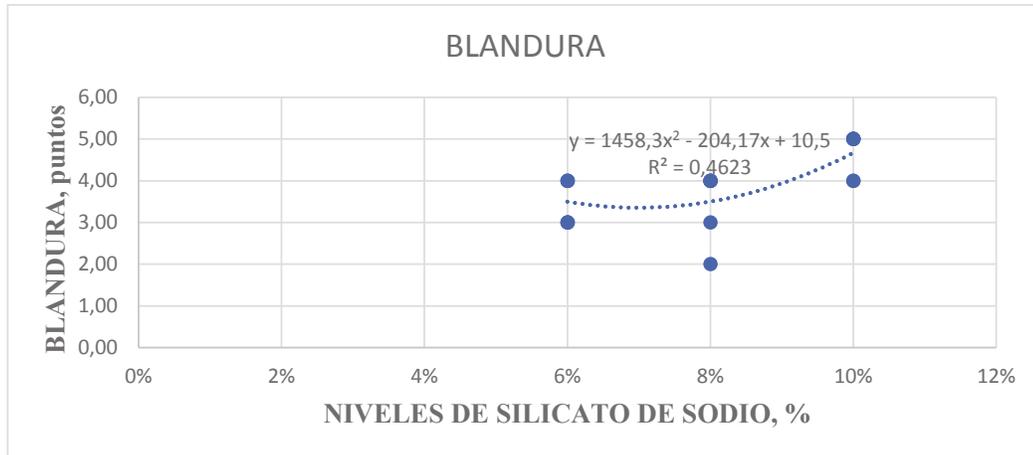
**Gráfico 13-4:** Resultados del análisis de blandura procedente de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

La regresión lineal de la diferencia significativa al adicionar diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con un porcentaje fijo de guarango reporta una tendencia cuadrática, partiendo de un intercepto de 10.5, disminuyendo este valor en 204.17 por cada nivel de silicato de sodio añadido a la curtición y finalmente aumentando en 1458.3 por cada nivel cuadrático de silicato de sodio adicionado al bombo.

Por otra parte, el coeficiente de determinación tiene un valor de 46.23 %, esto se debe a que los datos no se ajustan a la curva lineal debido a que se encuentran dispersos, por lo tanto, hay que tomar los errores aleatorios durante la fase experimental que afectan a la calidad del cuero terminado. El modelo matemático que describe a la función cuadrática es:

$$\text{Blandura} = 1458.3 (\%SS)^2 - 204.17 (\% SS) + 10.5 \quad \text{Ec. 10}$$

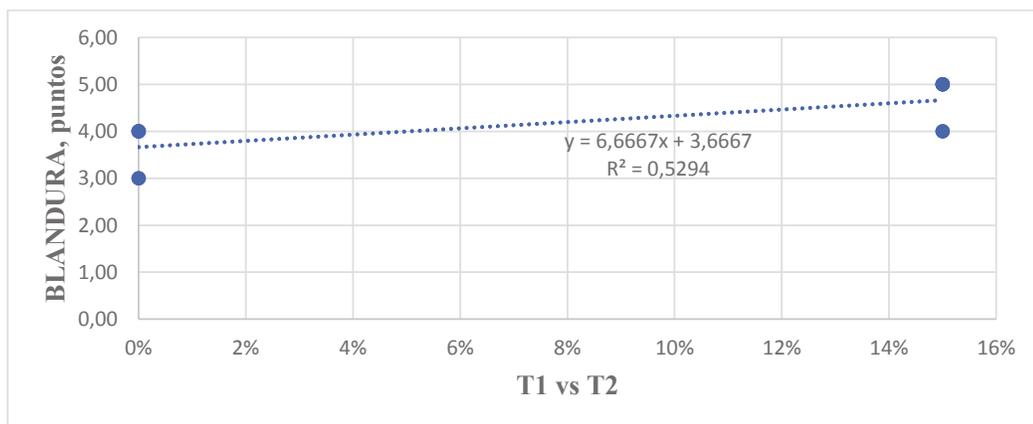


**Gráfico 14-4:** Blandura por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Por otra parte, al realizar el análisis de regresión de los datos que reportan significancia al comparar los dos tratamientos testigos (T1 vs T2) se observa que presentan un comportamiento lineal positivo, partiendo de un intercepto de 3.66 aumentando en 6.66 por cada nivel únicamente de silicato de sodio añadido a la curtición. además presenta un coeficiente de correlación de 52.94 % permitiendo de esta manera ajustar los datos a una recta, presentando este diseño errores dentro de la fase experimental que es inherente a la investigación. La función lineal que describe este modelo es:

$$\text{Blandura} = 6.6667 (\% \text{ SS}) + 3.6667 \quad \text{Ec. 11}$$



**Gráfico 15-4:** Blandura por la comparación entre tratamientos testigos (T1 vs T2).

Realizado por: Meléndrez Freddy, 2019

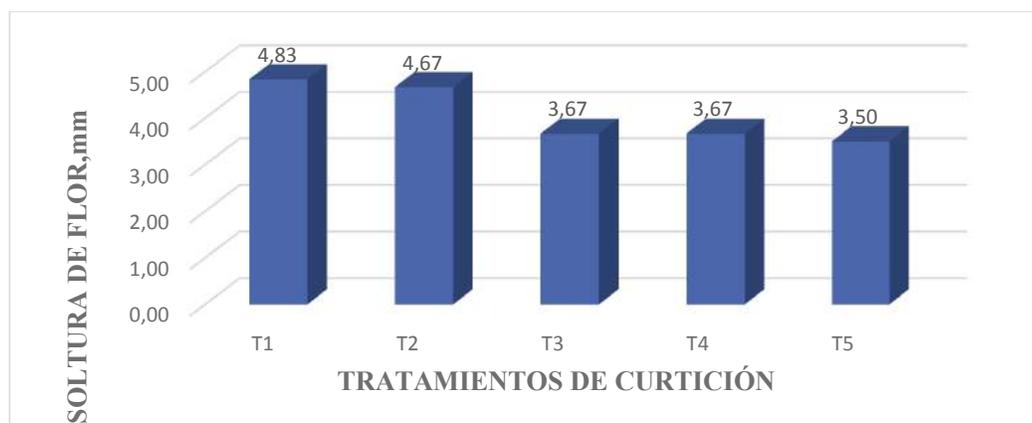
#### 4.1.2.3. Soltura de flor

El análisis estadístico realizado a la prueba de soltura de flor según Kruskal-Wallis, reporta que no existe diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre las medias resultantes de los diversos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango añadidos al proceso de curtición. Al comparar estos distintos tratamientos con el primer testigo (T1) se observa que existe diferencia significativa y mejores resultados al curtir únicamente con guarango que al realizar una curtición mixta (silicato de sodio con guarango). Por otra parte, al realizar la comparación entre los dos tratamientos testigos se observa que no existe diferencia significativa, por lo tanto, se discute que se obtendrán mejores resultados en la prueba de soltura de flor al realizar únicamente una curtición a base de un solo agente curtiente que una curtición mixta.

**Tabla 8-4:** Análisis de varianza de soltura de flor de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	H	Prob.	Sign.
Total	17.87	29				
Tratamientos (diferentes niveles de silicato de sodio con 8 % de guarango) (A)	0.11	2	0.06	0.18	0.83	Ns
A vs T1 ( 0 % de silicato de sodio y 15 % de guarango)	6.72	1	6.72	20.36	0.0001	**
T1 vs T2	0.08	1	0.08	0.24	0.62	Ns
Error	8.33	25	0.33			

Realizado por: Meléndrez Freddy, 2019



**Gráfico 16-4:** Análisis de soltura de flor utilizando distintos tratamientos en el proceso de curtición.

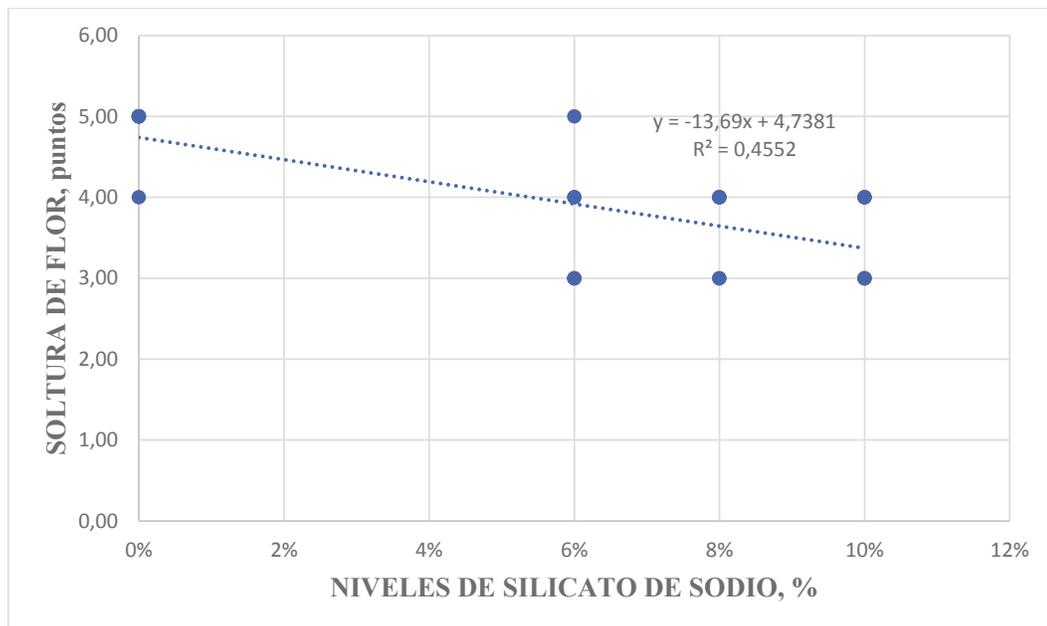
Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Como se observa en el Gráfico 16-4, los mejores resultados se tienen al curtir a base de un solo agente curtiente con el 0 % de silicato de sodio (T1) y 15 % de silicato de sodio (T2) con un valor de 4.83 y 4.67 puntos respectivamente, disminuyendo estos valores al curtir con 6 % y 8 % de silicato de sodio (T3 y T4) con un valor de 3.67 puntos y finalmente los resultados más bajos se tiene al curtir con 10 % de silicato de sodio (T5) con un valor de 3.50 puntos. Estos valores son en base al juicio de valor de una persona curtidora y el criterio puede variar debido a que no existen referencias en base a una norma, simplemente se juzga en base a la percepción del calificador.

El análisis de regresión de la alta diferencia significativa al comparar los diversos tratamientos con el primer testigo (T1) reporta una tendencia lineal negativa partiendo de un intercepto de 4.73, disminuyendo este valor en 13.69 por cada nivel de silicato de sodio adicionado al proceso de curtición. El coeficiente de determinación fue de 45.52 % debido a que los valores se encuentran dispersos y no se ajustan a la recta, esto se debe a variables que no se pueden controlar durante el proceso de producción y que son inherentes a la investigación como los errores aleatorios. La ecuación lineal que describe este modelo es:

$$\text{Soltura de flor} = -13.69 (\% \text{ SS}) + 4.73$$

Ec. 14



**Gráfico 17-4:** Soltura de flor por la adición de distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango en el proceso de curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

### 4.1.3. Análisis de las aguas residuales de la etapa de curtición

Los análisis de la calidad de las aguas residuales juegan un papel indispensable en las curtiembres, debido a que estas aguas contienen una carga contaminante que puede ser degradada por tratamientos físicos, químicos o biológicos, por lo que es importante conocer los resultados de parámetros biológicos como el DBO<sub>5</sub> y DQO para realizar el diseño del tratamiento de estas aguas residuales producto del proceso de curtición a base de silicato de sodio y guarango.

En la Tabla 9-4, se detallan los resultados de la calidad de las aguas residuales procedentes de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición.

**Tabla 9-4:** Resultados de las aguas residuales del proceso de curtición.

Parámetros	Límite máximo permisible*	Tratamientos					Tratamiento cromo III**
		T1	T2	T3	T4	T5	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	100 mg/l	10 800	4 600	8 800	8 400	7 000	4400
Demanda Química de Oxígeno	200 mg/l	32 000	13 400	26 000	25 000	20 000	7790

Fuente: (Laboratorio AqLab, 2019)

\* Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.

Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial N° 097- A 04 Noviembre 2015. Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

\*\* Resultado del análisis de agua de curtido con cromo III, según Portilla (2013).

#### 4.1.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

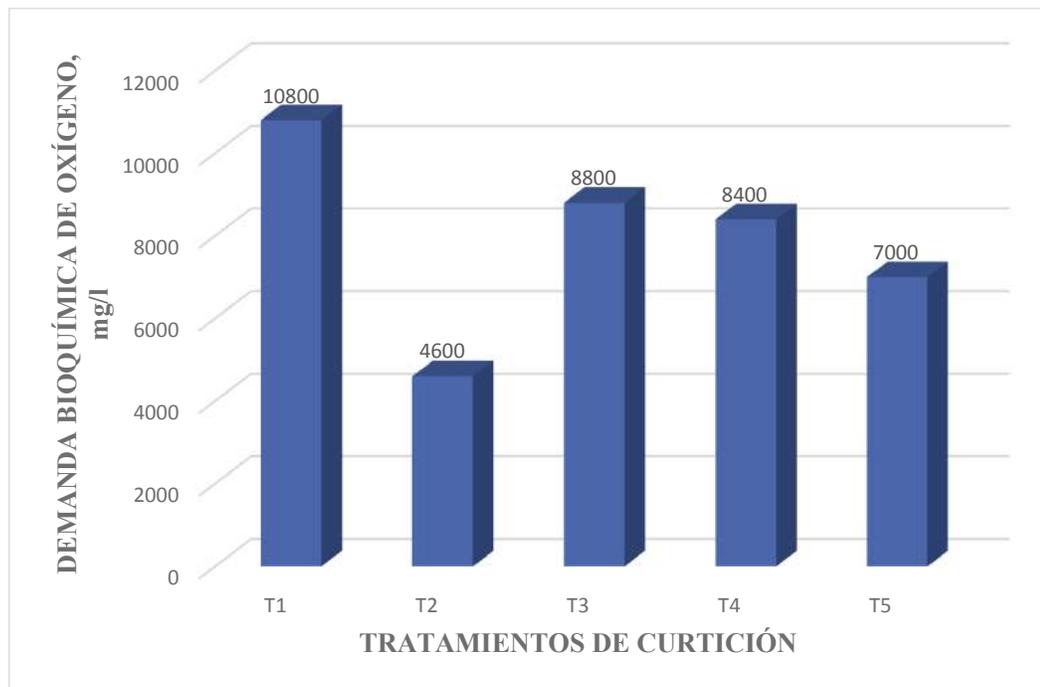
Al realizar el tratamiento estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) que se observa en la Tabla 10-4, se reporta que no existen diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) entre las medias de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición, por lo tanto, se establece que al llevar a cabo una curtición única con silicato de sodio o guarango o a su vez realizar una curtición mixta a base de estos dos agentes curtientes, los valores en esta prueba no van a tener diferencias significativas.

Los valores se encuentran fuera de los límites permisibles y para descargar estos efluentes requieren de un tratamiento previo.

**Tabla 10-4:** Análisis estadístico del DBO<sub>5</sub> resultante de las aguas residuales de los distintos tratamientos de curtición.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fisher 0,05	Fisher 0,01	CV	Prob	Sign
Total	29	127008000	4379586.21					
Tratamiento	4	127008000	31752000	2.76	4.18	-	1.0	Ns
Error	25	0	0					

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019



**Gráfico 18-4:** Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno procedente de los distintos tratamiento utilizados en la curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Como se observa en el Gráfico 18-4, los mayores valores que reportan las aguas residuales al realizar el análisis de demanda bioquímica de oxígeno es al curtir con 0 % de silicato de sodio (T1) con un valor de 10800 mg/l, disminuyendo este valor al curtir con el 6 % y 8 % de silicato de sodio (T3 y T4) con valores de 8800 mg/l y 8400 mg/l, sin embargo estos valores disminuyen al curtir con el 10 % de silicato de sodio (T5) con un valor de 7000 mg/l y finalmente los valores más bajos en esta prueba se reportan al curtir únicamente con el 15 % de silicato de sodio (T2) con un valor de 4600 mg/l.

#### 4.2.6.2. Demanda Química de Oxígeno

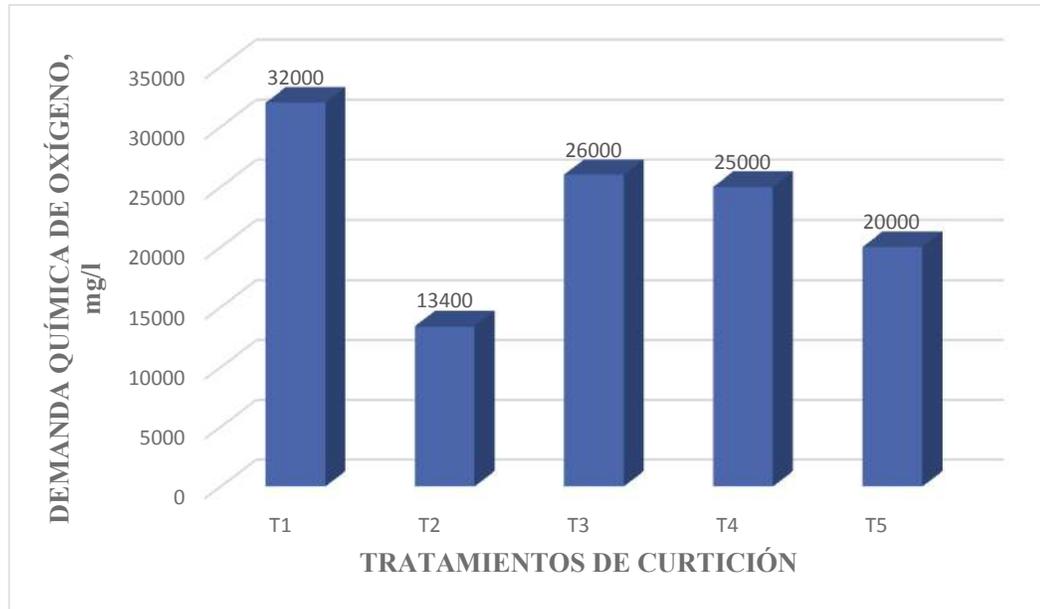
El análisis estadístico de la demanda química de oxígeno (Tabla 11-4), reporta que las medias de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición no reporta diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ), además, todos los resultados reportan que se encuentra fuera de los límites permisibles y se requiere de un tratamiento previo de estas aguas residuales para su descarga en los vertedores puesto que su contacto directo con el agua y suelo puede generar de igual forma como el cromo, afecciones negativas al ambiente y el tratamiento de estas aguas residuales es menos compleja que al tratar las aguas residuales con contenido de cromo.

**Tabla 11-4:** Análisis estadístico del DQO resultante de las aguas residuales de los distintos tratamientos de curtición.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fisher 0,05	Fisher 0,01	CV	Prob	Sign
Total	29	1168608000	40296828					
Tratamiento	4	1168608000	292152000	2.76	4.18	-	1.0	Ns
Error	25	0	0					

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

En el Gráfico 19-4 se detalla esquemáticamente los resultados obtenidos al realizar el análisis de la demanda química de oxígeno reportándose los mayores valores en esta prueba al curtir con 0 % de silicato de sodio (T1) con un valor de 32000 mg/l, disminuyendo este valor al curtir con el 6 % y 8 % de silicato de sodio (T3 y T4) con valores de 26000 mg/l y 25000 mg/l, los cuales disminuyen al curtir con el 10 % de silicato de sodio (T5) con un valor de 20000 mg/l y finalmente los valores más bajos en esta prueba se reportan al curtir únicamente con el 15 % de silicato de sodio (T2) con un valor de 13400 mg/l.



**Gráfico 19-4:** Resultados de la demanda química de oxígeno procedente de los distintos tratamiento utilizados en la curtición.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.1.3.2. Índice de biodegradabilidad de las aguas residuales de la curtición

En la Tabla 12-4, se detallan los valores numéricos obtenidos del índice de biodegradabilidad resultantes de la relación  $DBO_5/DQO$  de las aguas residuales proveniente de la etapa de curtición de cada tratamiento realizado. Estos índices permiten determinar el grado de contaminación de las aguas analizadas, información que es básica a la hora de establecer el tipo de tratamiento más adecuado.

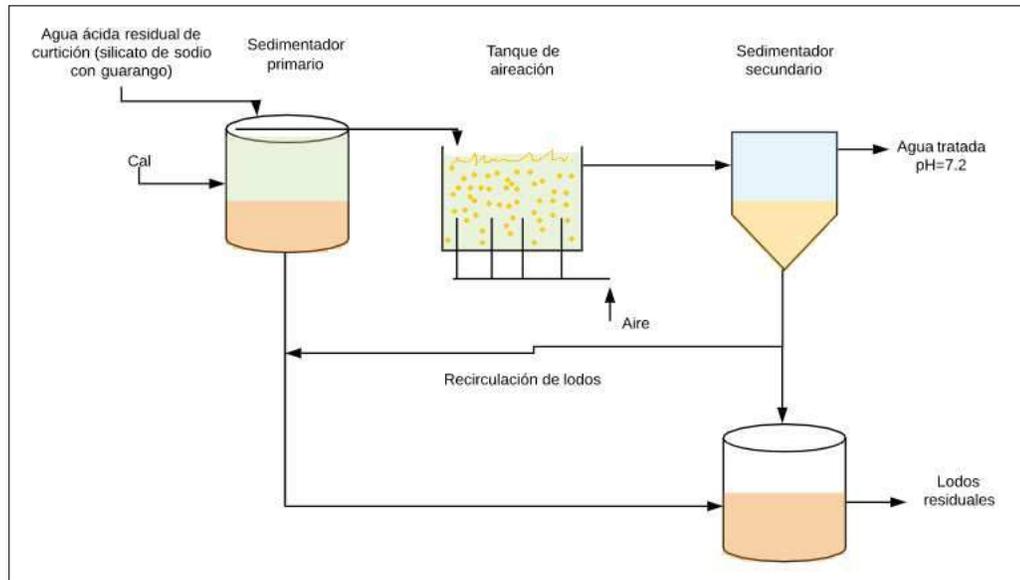
**Tabla 12-4:** Resultados del índice de biodegradabilidad de las aguas residuales procedentes de los tratamientos de curtición

Índice de biodegradabilidad	Tratamientos					Tratamiento cromo III
	T1	T2	T3	T4	T5	
$\frac{DBO_5}{DQO}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

De esta forma, al obtener resultados entre 0.2 y 0.4, se establece que las aguas residuales de los distintos tratamientos de curtición *son biodegradables* y el tratamiento que se debe llevar a cabo antes de su descarga al recurso hídrico o superficial, es únicamente por procesos físicos o biológicos para disminuir la carga contaminante, quedando descartados los procesos químicos.

Por lo tanto, al comparar los índices resultantes en la investigación, con el valor calculado del estudio realizado por Portilla (2013) que es de 0.6, se establece que las descargas generadas en todos los tratamientos presentan menores índices de biodegradabilidad pero una menor complejidad en el tipo de tratamiento que se debe realizar antes de su descarga, debido a que para tratar el efluente procedente de la curtición con sales de cromo son necesarios tratamientos que involucran procesos físicos y químicos, los que presentan una mayor complejidad y mayor costo económico.



**Gráfico 20-4:** Tratamiento de las aguas residuales procedentes del proceso de curtición

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.1.4. Evaluación económica de los cueros caprinos terminados

En la investigación se evaluó los costos de producción de cada uno de los cueros caprinos terminados, costos que varían de acuerdo a la cantidad de agentes químicos utilizados por tratamiento en función del peso de pieles a tratar, así como a los niveles de silicato de sodio y guarango utilizados en la etapa de curtición.

Para determinar el costo generado del sol de sílice coloidal utilizado como agente curtidor en los tratamientos de esta investigación, se consideró el costo del volumen necesario de cada agente químico que interviene en la preparación del sol de sílice, estos son el silicato de sodio y el ácido sulfúrico grado industrial. En la Tabla 13-4, se detallan los valores de los costos de producción en los cuales se incluye tanto la materia prima, insumos y todos los agentes químicos importantes para la transformación de las pieles caprinas en cuero terminado.

**Tabla 13-4:** Costos de producción de los cueros caprinos terminados utilizando silicato de sodio y guarango en el proceso de curtición.

<b>Etapa</b>	<b>%</b>	<b>Producto Químico</b>	<b>USD/Kg</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Materia prima		Piel cruda	2.0	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Insumos		Energía Eléctrica	0.12*	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
	7200	Agua Potable	0.00065**	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Pelambre		Peso de la pieles		16	16	16	16	16
	1	Tenso activo	3	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
	4.1	Cal - Ca(OH) <sub>2</sub>	0.24	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	2.5	Sulfuro de sodio	1.45	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Desencalado		Pesos de las pieles		15.7	15.5	15.5	16.4	15.8
	2	Sulfato de amonio	0.6	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19
	0.5	Bisulfito de sodio	1.3	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10
Rendido	0.5	Rindente	3.8	0.30	0.29	0.29	0.31	0.30
Piquelado	7	Sal común - NaCl	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
	0.5	Formiato de sodio	1.4	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	0.2	Ácido fórmico	2.3	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07
Curtido	3	Aldehído Tensotan 45G	6.9	3.25	3.21	3.21	3.39	3.27
	15 % (T2) 6 % (T3) 8 % (T4) 10 % (T5)	Sol de sílice	0.26	0.00	0.60	0.24	0.34	0.41
	15 % (T1) 8 % (T3, T4, T5)	Guarango	3	7.07	0.00	3.72	3.94	3.79
	1	Grasa PROVOL BA	4.1	0.64	0.64	0.64	0.67	0.65
		Peso de los cueros		6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	0.5	Ácido fórmico	2.3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Neutralización	0.5	Tenso activo	3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
	0.5	Formiato de sodio (HCOONa)	1.4	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	2	Aldehído Tensotan 45G	6.9	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
	2	Bicarbonato de amonio	2.2	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
	2	Dispersante de grasa – agotamiento	3.6	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	2	Rellenante de faldas	3.8	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Tintura y Engrase	5	Grasa PROVOL BA	4.1	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
	2	Anilina negra de atravesado	8.6	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
	5	Sulphirrol HF	3.9	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
	5	Synthol YY 707	4	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
	0.5	Bicarbonato de amonio	2.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	1	Anilina Negra de Superficie	8.6	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
	2	Ácido fórmico	2.3	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
	2	Pintura	5	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Acabado	2	Laca	4	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
Costo / Tratamiento				42.70	36.17	39.53	40.12	39.86
Costo / Cuero				7.12	6.03	6.59	6.69	6.64
Costo / dm <sup>2</sup>		0.12 - 0.20 USD/dm <sup>2</sup>		0.14	0.12	0.13	0.13	0.13

\*: Costo Energía Eléctrica USD/kW.

\*\* : Costo Agua Potable USD/m<sup>3</sup>

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Una vez realizado la evaluación económica del proceso de producción de cuero terminado, se reporta que el costo generado por  $\text{dm}^2$  de cuero producido se encuentra entre 0.12 - 0.14 USD, los mismos que se encuentran dentro de los costos estándares de producción de una curtiembre.

De acuerdo con Puente (2018), los costos estándares de producción para generar rentabilidad a una industria de curtiembre, debe ser entre 0.12 - 0.20 USD/ $\text{dm}^2$  por cuero producido. Por lo tanto, se afirma que este proceso de producción independientemente de los distintos tratamientos que se llevó a cabo en el proceso de producción, genera una gran rentabilidad, acotando que la mayoría de los agentes químicos utilizados en el proceso de producción son de muy buena calidad, pero, si se requiere abaratar costos de producción se utilizarían agentes químicos nacionales que permitan generar una mayor rentabilidad a la curtiembre.

Por otra parte, en la Tabla 14-4, se detallan los costos de producción al utilizar como agente curtiende las sales de cromo, los que se determinaron en función a la Tabla 13-4, sin tomar en cuenta los costos de los agentes químicos utilizados en la curtición (aldehído, silicato de sodio y guarango) y considerando el costo del sulfato de cromo para producir cuero wet blue (cueros curtidos con cromo).

**Tabla 14-4:** Costos de producción de los cueros caprinos terminados utilizando sulfato de cromo en el proceso de curtición.

Etapa	%	Producto Químico	USD/Kg	T1	T2	T3	T4	T5
Curtido	7	Pesos de las pieles		15.7	15.5	15.5	16.4	15.8
		Sulfato de Cromo	1.6	1.76	1.74	1.74	1.84	1.77
Costo / Tratamiento				34.14	34.10	34.10	34.29	34.16
Costo / Cuero				5.69	5.68	5.68	5.71	5.69
Costo / $\text{dm}^2$		0.12 - 0.20 USD/ $\text{dm}^2$		0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

Como se observa los costos de producción por  $\text{dm}^2$  de cuero producido curtido a base de sales de cromo es menor al compararlos con los costos generados usando silicato de sodio y guarango, reportándose para todos los tratamientos un costo de 0.11 USD/ $\text{dm}^2$ . A pesar que presenta un menor costo de producción, estos cueros terminados no son exportados a mercados europeos por ser curtidos con cromo disminuyendo la productividad y ganancias en la actualidad en las curtiembres del país.

Por otra parte, los cueros curtidos a base de silicato de sodio y guarango reportan valores mayores en sus costos de producción principalmente por la utilización de aldehído en su formulación, sin embargo se consideran costos necesarios, ya que se trata de la producción de cueros wet white de muy buena calidad.

## 4.2. Comprobación de Hipótesis

### 4.2.1. Hipótesis 1

$H_0$  = No existen diferencias en las pruebas de calidad del cuero caprino terminado al curtir con silicato de sodio en combinación con guarango.

$H_i$  = Existen diferencias en las pruebas de calidad del cuero caprino terminado al curtir con silicato de sodio en combinación con guarango.

Se rechaza la  $H_0$ , y se asevera que al utilizar distintos niveles de silicato de sodio en el proceso de curtición existe diferencias significativas ( $P < 0.05^{**}$ ) e infiere directamente sobre la calidad del cuero caprino terminado, cumpliendo en todos los tratamientos realizados en la investigación y en sus pruebas de calidad con los límites permisibles que establece la norma referente a cuero.

Además, se afirma que al realizar una curtición única en base a silicato de sodio o guarango existe significancia en comparación a una curtición mixta, teniendo mejores resultados en este último combinando estos dos agentes curtientes, afectando tanto a las pruebas físico-mecánicas como sensoriales: resistencia a la tensión, porcentaje de elongación, lastometría, llenura y blandura, a excepción de la temperatura de contracción y soltura de flor, las cuales no reportan diferencias estadísticas significativas entre sus medias procedentes de los distintos tratamientos utilizados en la curtición.



**Gráfico 21-4:** Representación esquemática de la evaluación de los resultados de las pruebas físico-mecánicas y sensoriales de los cueros terminados.

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019

#### 4.2.2. Hipótesis 2

$H_0$  = No existe disminución en los principales parámetros biológicos de los efluentes provenientes de la curtición con silicato de sodio con guarango.

$H_i$  = Existe disminución en los principales parámetros biológicos de los efluentes provenientes de la curtición con silicato de sodio y guarango.

Se acepta la  $H_0$ , debido a que los resultados de las aguas residuales procedentes de la curtición de silicato de sodio con guarango reportan resultados altos en su valores de DBO<sub>5</sub> y DQO, comparándolos con resultados de análisis de aguas residuales curtidas con cromo según Portilla (2013). Los resultados de DBO<sub>5</sub> y DQO de aguas residuales curtidas con cromo se observan en la Tabla 9-4 y Anexo R, a pesar de esto, estas aguas residuales no presentan materia orgánica o inorgánica perjudicial para el ambiente, por esta razón esta carga contaminante se puede degradar más fácilmente y se requiere de un tratamiento menos complejo que las aguas residuales procedentes de la curtición con cromo debido al tratamiento complejo por recuperar el cromo y reutilizarlo en la etapa de curtición, por lo tanto, la curtición a base de estos dos agentes curtientes es amigable con el ambiente.

Por otra parte, no se reporta diferencias estadísticas significativas en estos parámetros biológicos al curtir con distintos niveles de silicato de sodio y guarango, estableciéndose de esta forma que independientemente de los niveles de silicato de sodio con guarango que se utilicen en la curtición, el tratamiento que se debe llevar a cabo a estas aguas residuales será el mismo previo su descarga.

#### 4.2.3. Hipótesis 3

$H_0$  = No existe rentabilidad económica para la industria de curtiembre curtir pieles caprinas con silicato de sodio más guarango

$H_i$  = Existe rentabilidad económica para la industria de curtiembre curtir pieles caprinas con silicato de sodio más guarango.

Se rechaza la  $H_0$ , y se acepta la hipótesis alternativa debido a que la curtición de pieles caprinas a base de estos dos agentes curtientes genera una gran rentabilidad en las curtiembres del país debido a que los costos de producción fluctúan entre 0.12 - 0.14 USD/dm<sup>2</sup> de cuero producido,

los mismos que se encuentran dentro de los costos estándares aceptables de la industria de curtiembre. Además, siendo cueros curtidos sin cromo se tendrá mayores ganancias al exportarlos a mercados europeos, puesto que cumplen con las normas de calidad y con los objetivos del desarrollo sostenible de la Agenda 2030 contribuyendo con la producción de productos amigables con el ambiente.

#### **4.3. Discusión de resultados**

En la presente investigación se evaluó la calidad de los cueros caprinos terminados iniciando con las pruebas físico-mecánicas, las cuales reportan resultados muy favorables, debido a que todos los cueros terminados cumplen con los límites permisibles de la norma. Posteriormente, al realizar el análisis estadístico se determinó que existe diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) entre los distintos niveles de silicato de sodio en combinación con guarango, estableciéndose de esta manera que los resultados en las pruebas físico-mecánicas: resistencia a la tensión, porcentaje de elongación y lastometría variarán en función de la cantidad de silicato de sodio añadido a la curtición. Sin embargo, no se reportaron diferencias estadísticas significativas con la temperatura de contracción, por lo tanto, se discute que la adición de distintos niveles de silicato de sodio no afectará a esta prueba físico-mecánica.

Por otra parte, y para cada una de las pruebas físico-mecánicas, se realizó la comparación entre los distintos tratamientos de curtición mixta con los tratamientos testigos a base de un solo agente curtiente y además se realizó la comparación entre estos dos tratamientos testigo. Primero, al comparar entre los tratamientos de curtición mixta y el tratamiento testigo se reportan diferencias estadísticas significativas, que establece que al realizar una curtición mixta en base a estos dos agentes curtientes se obtienen mejores resultados. Finalmente, al realizar la comparación entre los tratamientos testigos se observa que no existe diferencia significativa, con lo cual se afirma que el poder curtiente que presenta el silicato de sodio en forma de sol de sílice coloidal es similar al poder curtiente del guarango que es muy utilizado en la actualidad en las curtiembres del país.

Una vez realizado el tratamiento estadístico, se determina que el mejor resultado en sus pruebas físico-mecánicas es al curtir con el 10 % de silicato de sodio en combinación con el 8 % de guarango (T5), obteniéndose los mejores resultados tanto en resistencia a la tensión con un valor de 2861.42 N/cm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación con un valor de 66.25 %, lastometría con un valor de 9.97 mm y con una temperatura de contracción de 90 °C. Es importante mencionar que estos agentes curtientes presentan una buena afinidad entre ellos, debido a que el sol de sílice coloidal forma estructuras estables con los grupos carboxílicos de la proteína de la piel y por otra parte, los taninos del guarango reaccionan con los grupos aminos de la piel, formando una cantidad

suficiente de enlaces para estabilizar a la piel mediante puentes de hidrógeno o enlaces covalentes, con lo que se corrobora que la curtición mixta reporte los mejores resultados.

De igual manera, al evaluar las pruebas sensoriales según Kruskal-Wallis, se establece que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de los distintos tratamientos de curtición mixta (silicato de sodio con guarango), por lo tanto, la adición de distintos niveles de silicato de sodio influirá en los resultados de las pruebas sensoriales: llenura y blandura. En cuanto a la prueba de soltura de flor no se reportan diferencias estadísticas significativas, al adicionar distintos niveles de silicato de sodio, por lo tanto, su soltura de flor presenta resultados favorables lo cual permite obtener productos de marroquinería de buena calidad.

Por otra parte, al realizar la comparación ortogonal entre estos tratamientos de curtición mixta con el primer tratamiento testigo (únicamente guarango) se establece que no existe diferencia estadística significativa. Al realizar la comparación entre los tratamientos testigos (T1 vs T2), se determinó que al curtir únicamente con silicato de sodio (T2) se reportan los mejores resultados en las pruebas sensoriales con un valor de llenura, blandura y soltura de flor de 4.67 puntos.

De esta manera, se observa que al utilizar como agente curtiente al silicato de sodio se tendrá resultados similares que al curtir con guarango en sus pruebas físico-mecánicas, por otra parte, en las pruebas sensoriales los resultados serán mayores al utilizar el silicato de sodio, por lo que el poder curtiente de este agente químico en forma de sol de sílice coloidal, permite que penetre con mayor facilidad a la piel y forme una mayor cantidad de enlaces estables con las fibras de colágeno de la piel.

Con respecto a los análisis de calidad de las aguas residuales procedentes del proceso de curtición, reportan que no existe diferencias estadísticas significativas en los resultados de DBO<sub>5</sub> y DQO, por lo tanto la adición de distintos niveles de silicato de sodio con guarango no influirá en las aguas residuales procedentes de la curtición, siendo los resultados obtenidos de la curtición mixta con el 10 % de silicato de sodio y 8 % de guarango (T5) el que reporta menor cantidad de carga contaminante con un valor de DBO<sub>5</sub> de 7000 mg/l y de DQO con un valor de 20000 mg/l. Si comparamos estos resultados con los obtenidos en el análisis de agua residual proveniente de la etapa de curtido con cromo, según Portilla (2013), siendo estos valores de DBO<sub>5</sub> de 4400 mg/l y DQO de 7790 mg/l, es evidente que tenemos mayor concentración de materia orgánica en los efluentes de los tratamientos de la investigación, esto debido a que en el proceso se utilizaron agentes químicos como aldehído, curtiente vegetal y silicato de sodio que incrementaron estos parámetros biológicos.

En cuanto, a los resultados del índice de biodegradabilidad, todos los tratamientos se encuentran entre valores de 0.2 y 0.4, estableciendo que las aguas residuales son biodegradables, reportándose de igual manera los mejores resultados al curtir con 10 % de silicato de sodio (T5) presentando estas aguas residuales mayor biodegradabilidad que la obtenida en los demás tratamientos.

En cuanto al tratamiento previo que se debe realizar a estas aguas residuales de curtición, presentan menor complejidad en comparación al tratamiento que se lleva a cabo cuando se usa como agente curtiente el cromo, puesto que el silicato de sodio no presenta una acción tóxica en el efluente y se puede eliminar en su totalidad únicamente por procesos físicos de clarificación o procesos biológicos, de esta manera, se afirma que la curtición mixta a base de estos dos agentes curtientes es amigable con el ambiente.

De la evaluación económica realizada a los cueros caprinos terminados, se obtuvo que los costos de producción se encuentran dentro de los costos estándares aceptables dentro de la industria de curtiembre (0.12 - 0.20 USD/dm<sup>2</sup>), reportándose valores entre 0.12 - 0.14 USD/dm<sup>2</sup> de cuero producido a base de silicato de sodio y guarango como agentes curtientes. No obstante, al comparar estos costos con los cueros curtidos a base de cromo, estos costos son mayores debido a que se lleva a cabo la producción de cueros wet white (cueros libres de cromo) en donde se utilizó agentes químicos de buena calidad, especialmente en la etapa de curtición y recurtición donde se añadió una cantidad de aldehído para asegurar la calidad del producto final.

Al comparar los costos generados con el uso de silicato de sodio y guarango en la etapa de curtición, con los costos que se obtendrían al curtir con sales de cromo (0.11 USD/dm<sup>2</sup> de cuero producido), su diferencia es mínima considerando que al producir cueros libres de cromo, se genera mayor rentabilidad en la industria de curtiembre al exportar estos productos, justificando entonces, que el costo de producción sea mayor en estas etapas de producción.

Por otra parte, al producir cueros wet white (cueros libres de cromo) cumplen con las especificaciones requeridas por los mercados europeos para su exportación, obteniéndose mayores ganancias para la industria de curtiembre al exportar estos cueros caprinos terminados debido a que cumplen con las características de calidad en base a la normativa referente a cuero justificándose de esta forma los costos de producción de los cueros caprinos terminados a base de silicato de sodio y guarango.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó la utilización de diferentes niveles de silicato de sodio en combinación con guarango para la curtición de pieles caprinas, siendo una curtición viable para reemplazar al cromo como agente curtiente, obteniéndose resultados muy favorables en cada una de las pruebas de calidad realizadas, tanto a los cueros caprinos terminados como a las aguas residuales provenientes del proceso de curtición.
- Los mejores resultados en las pruebas de calidad físico-mecánicas fueron al llevar a cabo una curtición mixta con el 10 % de silicato de sodio en combinación con el 8 % de guarango (T5), reportándose en la resistencia a la tensión un valor de 2861.42 N/cm<sup>2</sup>, porcentaje de elongación de 66.25 %, lastometría de 9.97 mm y con una temperatura de contracción de 90 °C. Por otra parte, los mejores resultados en las pruebas sensoriales fueron al llevar a cabo una curtición únicamente con 15 % de silicato de sodio (T2), reportándose una homogeneidad en sus valores en las tres pruebas sensoriales: llenura, blandura y soltura de flor con un valor de 4.67 puntos.
- Se caracterizó las aguas residuales provenientes de los distintos tratamientos utilizados en el proceso de curtición, reportándose que no existe diferencias estadísticas significativas, a pesar de esto se obtuvo una menor carga contaminante al llevar a cabo una curtición mixta con el 10 % de silicato de sodio en combinación con el 8 % de guarango (T5), con un valor de DBO<sub>5</sub> de 7000 mg/l y un valor de DQO de 20000 mg/l, sin embargo, para descargar este efluente al recurso hídrico o superficial se requiere de un tratamiento previo, el cual presenta una menor complejidad que al curtir con cromo, debido a que el silicato de sodio y el guarango no presentan toxicidad y de acuerdo al índice de biodegradabilidad obtenido se pueden eliminar por completo del efluente al llevar a cabo únicamente procesos físicos de clarificación o biológicos.
- Se determinó los costos de producción al curtir pieles caprinas con silicato de sodio y guarango, los mismos que se encuentran dentro de los costos estándares aceptables por la industria de curtiembre (0.12 - 0.20 USD/dm<sup>2</sup>), reportándose valores entre 0.12 - 0.14 USD/dm<sup>2</sup> de cuero producido a base de estos agentes curtientes, afirmando de esta manera, que la producción de cueros libres de cromo generan una buena rentabilidad, por lo que se pueden obtener mayores ganancias para esta actividad industrial al exportar estos cueros wet white a mercados europeos que poseen un gran poder adquisitivo.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda llevar a cabo otras investigaciones, utilizando únicamente silicato de sodio en la etapa de curtición, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en cuanto a la calidad del producto final, además se recomienda emplear este agente curtiente tanto en la etapa de curtición como en la de recurtición de pieles, debido a que se reportan buenos resultados en las pruebas físico-mecánicas y sensoriales lo que despierta el interés del curtidor.
- En todos los tratamientos se utiliza aldehído para la producción de cueros wet white, sin embargo, al no utilizarlo los costos de producción bajarían considerablemente, por lo tanto, se recomienda, realizar otras investigaciones para determinar los costos que generaría al utilizar únicamente silicato de sodio.
- Llevar a cabo la presente investigación en otro tipo de piel de animal con la finalidad de comparar los datos resultantes, confirmar el poder curtiente del silicato de sodio en combinación con guarango y determinar la mejor formulación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bacardit, A. (2014). Diseño de un proceso combinado de curtición. *Química Técnica del Cuero*. Cataluña.: COUSO, 12-69.
- Barioglio, C.F. (2001). *Diccionario de producción animal*. Córdoba-Argentina: Brujas.
- Barretto, S. (2006). *Diseño de calzado urbano*. Buenos Aires-Argentina: Nobuko, 72-80. (16 de junio 2019). Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=ykG1RY3NeEkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=ykG1RY3NeEkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Castells, X.E. (2012). *Tipología de los residuos en orden a su reciclaje*. Madrid-España: Díaz de Santos, 194-200. (16 de junio 2019). Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=TKMuDwJXxxQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=TKMuDwJXxxQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Claramunt, R.M. (2013). *Principales compuestos químicos*. Madrid: UNED, 30-34.
- Colville, T.P. (2009). *Clinical Anatomy and Physiology Laboratory Manual for Veterinary Technicians*. Canada: ELSEVIER.
- Corredor, J. (2006). “El residuo líquido de las curtiembres estudio de caso: cuenca alta río Bogotá”. *Ciencia e Ingeniería Neogranadino*, 16(2), 17-24. (16 de junio 2019). ISSN 0124-8170. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91116203>
- Cotance, A. (2004). Curticiones Combinada. *Ciencia y Tecnología en la Industria del Cuero*. España: Igualada. Curtidores Europeos, 23-32.
- De La Cruz Lapa, P. (2012). “Aprovechamiento integral y racional de la tara *Caesalpinia spinosa* - *Caesalpinia tinctoria*”. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Perú, 7(14), 64-73. (16 de junio 2019). ISSN 1682-3087. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/733>
- Font, J. (2002). *Análisis y ensayos en la industria del curtido*. Cataluña-España: CETI, 30-60.
- Gansser, A. (2006). *Manual del Curtidor*. Barcelona: TRIMUL, 187-191.

- González, B. (2004). Efecto del tratamiento de estirado en el Pretant y otras propiedades físicas de la piel. [En línea]. (Maestría) Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España., 54-56. Recuperado de file:///C:/Users/SYSTEMarketPC/Downloads/582\_2005\_ESIT\_MAESTRIA\_berania\_gonzalez.pdf.
- Hidalgo, L. (2013). *Curticion de pieles bovinas con la aplicacion de extractos tánicos*. Riobamba: ESPOCH. Facultad de Ciencias Químicas, 153-180.
- Hoinacki, E. (2009). *Peles e couros -origens defeitos e industrialização*. Brasil: SENAI/RS, 160-175.
- Jones, C.(2002). *Manual de Curtición Vegetal*. Buenos Aires, Argentina: LEMIN.
- Lacerca, M. (2003). *Curtición de Cueros y Pieles*. Buenos Aires, Argentina: Albatros.
- Lucero, S. (2009). *Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa*. Cataluña-España. (15 de junio 2019). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Annex.pdf%3Fsequence%3D3%26isAllowed%3Dy&ved=2ahUKEwiBz-Hi6XIAhWnxYUKHfpVAcgQFjAAegQiChAB&usq=AOvVaw2w392JgmP-FmES-WZmzHtE>.
- Lafuente, L.V. (2003). *Introducción a la química orgánica*. México: Universitat Jaume I.
- Luna, F.J. (2014). *Materiales y servicios en reparación de calzado y marroquinería. TCPC0109*. Antequera-España: IC Editorial, 10-55. (15 de junio 2019). Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=B5XwAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=B5XwAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Morera, J.M. (2000). *Química técnica de curtición*. Cataluña-España: Consorci Escola Técnica d'Igualada, 7-166.
- Peña, D. A. (2007). *Atlas de dermatología del pie / Atlas Foot of Dermatology*, Buenos Aires-Argentina: Médica Panamericana, 16-19. (14 de junio 2019). Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=Sji16aQ9XwUC&printsec=frontcover&dq=atlas+dermatologia&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjYt5r62IDjAhWMyIkKHbmXBFQQ6AEIKzAA#v=onepage&q=atlas%20dermatologia&f=false>

- Portilla, C.A. (2013). Análisis técnico ambiental del proceso de la curtiduría serrano de la ciudad Ambato y diseño de la planta de tratamiento de las Aguas residuales. (Pregrado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. 89-90. (6 de agosto de 2019). Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1564/1/T-UCE-0012-261.pdf>
- Puente, C.A. (2018). Aplicación de un proceso de curtido de pieles bovinas sin cromo utilizando oxazolidina en combinación con *Caelsalpinia Spinosa* (TARA). (Doctorado) Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 13-89. (06 de agosto de 2019). Recuperado de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7710/Puente\\_gc%20%20Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7710/Puente_gc%20%20Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ross, Michael; & Pawlina, Wojciech. (2009). *Histología: Texto Y Atlas*. Madrid-España: Médica Panamericana, 484-487. (23 de junio 2019). Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=NxYmIRZQi2oC&printsec=frontcover&dq=histologia+atlas&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiJmoLh2IDjAhXIuVvKkHVNmDRoQ6AEIKDAA#v=onepage&q=histologia%20atlas&f=false>
- Sáenz, M.C. (2007). “Estudio de las variables de reacción en la síntesis de silica gel adsorbente”. *Ingeniería e Investigación*. (Bogotá) 27(2), 1-6. (02 de julio 2019). ISSN 0120-5609. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092007000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000200006)
- Salguero, A.V. (2018). *Técnicas básicas de guarnicionería. TCPF110*. Antequera-España: IC Editorial. (10 de junio 2019). Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=qKxJDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Soler.J. (2000). *Procesos de curtidos*. Barcelona-España: Consorci Escola Técnica d'Igualada.
- Valdera, B. K. (2013). *Estudio de pre-factibilidad para la instalación de una planta agroindustrial de tara en polvo, en lambayeque, para su exportación al mercado chino*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

## ANEXOS

### ANEXO A: Descripción del proceso de pre-curtición de las pieles caprinas

Junio 2019

Procesos de pre-curtición

**Fecha**  
80.0 Kg

**Unidades**  
30 pieles

**Página**  
Marroquinería - cartera

**Espesor**  
1.2 mm

**Peso**                      **Unidades**                      **Tipo de cuero**                      **Espesor**

PROCESO	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACION	pH
Remojo	Agua de cisterna	Ambiente	24 horas	
	Tensoactivos - directo			
Ecurrir				
Pelambre	Agua de cisterna	Ambiente	5 horas	
	Cal $\text{Ca(OH)}_2$ directo			
	Sulfuro de sodio $\text{Na}_2\text{S}$ - directo			
Descansar			4 horas	
Mover			1 hora	
Descargar				
Sacar lana - Pesar				
Lavado	Agua de cisterna	Ambiente	20 min	
Descargar				
Calero	Agua de cisterna	Ambiente	Hasta terminar tratamientos	
	Cal - $\text{Ca(OH)}_2$ directo			
Continuar con la curtición				

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019.

**ANEXO B:** Descripción del proceso de curtición de piel caprina con distintos niveles de silicato de sodio y guarango.

PROCESO	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACION	pH
Pesar cuero				
Lavado	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Ecurrir				
Lavado	Agua de cisterna			
	Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - directo		20 min	
Ecurrir				
Desencalado	Agua de cisterna	Ambiente		
	Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - directo		30 min	
	Bisulfito de sodio Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - directo		30 min	
Rendido	Rindente - directo		1 hora	
Ecurrir				
Lavar 2 veces y escurrir	Agua suficiente	Ambiente	15 min por lavado	
Piquelado	Agua de cisterna	Ambiente		
	Sal común NaCl - directo		20 min	
	Formiato de sodio HCOONa - directo		20 min	
	Ácido fórmico H-COOH - dilución 1/10		20 min	
	Ácido fórmico H-COOH - dilución 1/10		20 min	
Curtición	Aldehído Tensotan 45G		1 hora	
	(15, 6, 8, 10 %) Sol de sílice (pH 2.6)			
	(15, 8 %) Guarango - directo			
Pre-engrase	Grasa sintética - directo		1 hora	
			5 horas (baño toda la noche)	
Rodar				
Ecurrir y descargar				
Perchar			12 horas	
Ecurrir				
Raspar o rebajar	En 1.2 mm de espesor			

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019.

**ANEXO C:** Descripción del proceso de acabado en húmedo de los cueros curtidos con los diferentes tratamientos.

Junio del 2019

Acabo en húmedo

<b>Fecha</b>	<b>Página</b>			
30 Kg	30 pieles	Marroquinería	1.2 mm	
<b>Peso</b>	<b>Unidades</b>	<b>Tipo de cuero</b>		<b>Espesor</b>
<b>PROCESO</b>	<b>PRODUCTOS OBSERVACIONES</b>	<b>°C</b>	<b>DURACION</b>	<b>pH</b>
Lavado	Agua de cisterna	Ambiente		
	Ácido Fórmico H-COOH - directo			
	Tensoactivo - directo		15 min	
Ecurrir				
Neutralización	Agua de cisterna	Ambiente		
	Formiato de sodio HCOONa - directo		30 min	
	Aldehído Tensotan 45G		1 hora	
	Bicarbonato de amonio		90 min	
Ecurrir				
Lavar 2 veces	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Teñido	Agua caliente	60		
	Dispersante de grasa – agotamiento			
	Rellenante de faldas – directo			
	Grasa PROVOL BA		1 hora	
	Anilina negra de Atravesado		1 hora	
Engrasado	Grasa PROVOL BA			
	Sulphinol HF			

Continuar pág. siguiente

Continuación

PROCESO	PRODUCTOS OBSERVACIONES	°C	DURACION	pH
	Synthol YY 707		1 hora	
	Bicarbonato de amonio		5 min	
	Anilina Negra de Superficie		1 hora	
Fijación	Ácido fórmico H-COOH - directo		15 min	
	Ácido fórmico H-COOH - directo		15 min	
Dejar hasta el otro día				
Ecurrir				
Lavado final	Agua de cisterna	Ambiente	15 min	
Ecurrir y botar baño				
Perchar y secar pieles			24 horas	
Secado, estacado y recortado				
Operaciones de acabado en seco				

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019.

**ANEXO D:** Formulación del proceso de acabado en seco de los cueros curtidos con los diferentes tratamientos

Junio del 2019

Acabo en seco

<b>Fecha</b>	<b>Página</b>		
30 Kg	30 pieles	Marroquinería - cartera	1.2 mm
<b>Peso</b>	<b>Unidades</b>	<b>Tipo de cuero</b>	<b>Espesor</b>

<b>AUXILIARES</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>PROCESO</b>
Compacto	300		
Pigmento	150		
Cera	50		
Penetrante	20		
Estuco	200		
Agua	280		1 cruz con brocha o soplete
			Prensar a 100 °C y 200 PSI
Hidrolaca		500	
Tacto (Tipo silicona)		25	
Complejo metálico		25	
Agua		450	2 cruces con soplete
			Secar

Realizado por: Meléndrez, Freddy, 2019.

ANEXO E: Resultados de los análisis físico-mecánicas de los cueros terminados



HOJA DE CONTROL DE CALIDAD DEL LABORATORIO DE CURTIEMBRE



FECHA: 08 Julio 2019

PROCEDENCIA: Freddy Meléndrez Lara

CÓDIGO: 062

ÁREA DE RASTREO: Producto terminado - cuero caprino

Tratamiento	Repeticiones	Resistencia a la tensión (N/cm <sup>2</sup> ) Método IUP 6	Porcentaje de elongación (%) Método IUP 6	Lastometría (mm) Métod o IUP 9	Temperatura de contracción (°C) Método IUP 16		
					70	80	90
T1	1	2734.00	60.00	9.87	NO	NO	SI
	2	3381.00	60.00	9.96	NO	NO	SI
	3	1980.00	62.50	9.96	NO	NO	SI
	4	2373.33	60.00	9.87	NO	NO	SI
	5	2989.00	60.00	9.96	NO	NO	SI
	6	2156.00	60.00	9.96	NO	NO	SI
T2	1	2303.00	70.00	9.96	NO	NO	SI
	2	2879.09	57.50	9.74	NO	NO	SI
	3	2229.23	57.50	9.28	NO	NO	SI
	4	3100.00	47.50	9.96	NO	NO	SI
	5	2646.00	57.50	10.07	NO	NO	SI
	6	2402.00	55.00	10.07	NO	NO	SI
T3	1	1820.00	55.00	9.96	NO	NO	SI
	2	1720.00	47.50	9.28	NO	NO	SI
	3	1602.50	47.50	9.28	NO	NO	SI
	4	2013.00	52.50	9.28	NO	NO	SI
	5	1560.00	52.50	9.28	NO	NO	SI
	6	2100.00	55.00	9.28	NO	NO	SI
T4	1	1951.00	55.00	9.54	NO	NO	SI
	2	2128.00	57.50	9.74	NO	NO	SI
	3	2200.91	57.50	9.54	NO	NO	SI
	4	2185.00	55.00	9.28	NO	NO	SI
	5	2025.00	60.00	9.28	NO	NO	SI
	6	1999.09	57.50	9.54	NO	NO	SI
T5	1	3200.00	75.00	10.08	NO	NO	SI
	2	2980.00	67.50	10.08	NO	NO	SI
	3	2927.50	67.50	10.02	NO	NO	SI
	4	2670.00	67.50	9.96	NO	NO	SI
	5	2853.00	60.00	9.96	NO	NO	SI
	6	2538.00	60.00	9.74	NO	NO	SI

*Julio Cesar Llerena Zambrano*

ING. JULIO CESAR LLERENA ZAMBRANO

TÉCNICO DOCENTE DE LC - FCP

*Luis Hidalgo Almerda*

DR. LUIS HIDALGO ALMERDA

RESPONSABLE DE CONTROL DE CALIDAD

ANEXO F: Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T1



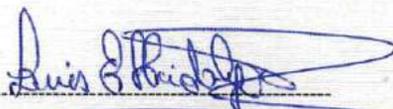
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
LABORATORIO DE CURTIEMBRE DE PIELS

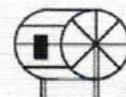
**NOMBRE DEL SOLICITANTE:** Freddy Reinaldo Meléndrez Lara  
**TIPO DE CUERO:** Cueros Caprinos  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 8 de Julio del 2019  
**ESPECIFICACIÓN:** Análisis sensoriales  
**TRATAMIENTO:** 0 % de silicato de sodio más 15 % de guarango (T1)  
**DESTINO:** Planta de curtiembre de pieles

ANÁLISIS SENSORIAL DEL CUERO

REPETICIONES	PRUEBAS SENSORIALES		
	BLANDURA	LLENURA	SOLTURA DE FLOR
1	4	3	5
2	4	3	5
3	3	4	5
4	4	3	4
5	4	4	5
6	3	3	5
CALIFICACIÓN (PUNTOS)			

OBSERVACIONES:.....  
.....  
.....

  
Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida  
RESPONSABLE



ANEXO G: Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T2



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
LABORATORIO DE CURTIEMBRE DE PIELES

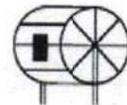
**NOMBRE DEL SOLICITANTE:** Freddy Reinaldo Meléndrez Lara  
**TIPO DE CUERO:** Cueros caprinos  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 8 de julio del 2019  
**ESPECIFICACIÓN:** Análisis sensoriales  
**TRATAMIENTO:** 15 % de silicato de sodio más 0 % de guarango (T2)  
**DESTINO:** Planta de curtiembre de pieles

ANÁLISIS SENSORIAL DEL CUERO

REPETICIONES	PRUEBAS SENSORIALES		
	BLANDURA	LLENURA	SOLTURA DE FLOR
1	5	5	5
2	4	4	5
3	4	5	4
4	5	4	4
5	5	5	5
6	5	5	5
CALIFICACIÓN (PUNTOS)			

OBSERVACIONES:.....  
.....  
.....  
.....

  
Ing. MC. Luis Eduardo Hidalgo Almeida  
RESPONSABLE



**ANEXO H: Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T3**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
LABORATORIO DE CURTIEMBRE DE PIELES**

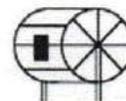
**NOMBRE DEL SOLICITANTE:** Freddy Reinaldo Meléndrez Lara  
**TIPO DE CUERO:** Cueros caprinos  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 8 de julio del 2019  
**ESPECIFICACIÓN:** Análisis sensoriales  
**TRATAMIENTO:** 6 % de silicato de sodio más 8 % de guarango (T3)  
**DESTINO:** Planta de curtiembre de pieles

**ANÁLISIS SENSORIAL DEL CUERO**

REPETICIONES	PRUEBAS SENSORIALES		
	BLANDURA	LLENURA	SOLTURA DE FLOR
1	3	2	4
2	4	3	5
3	3	2	4
4	4	3	3
5	4	4	3
6	3	3	3
CALIFICACIÓN (PUNTOS)			

OBSERVACIONES:.....  
 .....  
 .....  
 .....

  
 \_\_\_\_\_  
 Ing. MC. Luis Eduardo Hidalgo Almeida  
 RESPONSABLE



**ANEXO I: Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T4**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
LABORATORIO DE CURTIEMBRE DE PIELS**

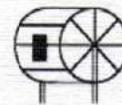
**NOMBRE DEL SOLICITANTE:** Freddy Reinaldo Meléndrez Lara  
**TIPO DE CUERO:** Cueros caprinos  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 8 de julio del 2019  
**ESPECIFICACIÓN:** Análisis sensoriales  
**TRATAMIENTO:** 8 % de silicato de sodio más 8 % de guarango (T4)  
**DESTINO:** Planta de curtiembre de pieles

**ANÁLISIS SENSORIAL DEL CUERO**

REPETICIONES	PRUEBAS SENSORIALES		
	BLANDURA	LLENURA	SOLTURA DE FLOR
1	2	5	3
2	3	4	3
3	4	5	4
4	4	4	4
5	4	5	4
6	4	5	4
CALIFICACIÓN (PUNTOS)			

OBSERVACIONES:.....  
.....  
.....  
.....

Ing. MC Luis Eduardo Hidalgo Almeida  
RESPONSABLE



**ANEXO J:** Resultados del análisis sensorial del cuero producido en el Tratamiento T5



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
LABORATORIO DE CURTIEMBRE DE PIELS**

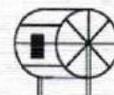
**NOMBRE DEL SOLICITANTE:** Freddy Reinaldo Meléndrez Lara  
**TIPO DE CUERO:** Cueros caprinos  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 8 de julio del 2019  
**ESPECIFICACIÓN:** Análisis sensoriales  
**TRATAMIENTO:** 10 % de silicato de sodio más 8 % de guarango (T5)  
**DESTINO:** Planta de curtiembre de pieles

**ANÁLISIS SENSORIAL DEL CUERO**

REPETICIONES	PRUEBAS SENSORIALES		
	BLANDURA	LLENURA	SOLTURA DE FLOR
1	5	4	4
2	4	4	4
3	5	4	3
4	5	5	4
5	5	5	3
6	4	4	3
CALIFICACION (PUNTOS)			

OBSERVACIONES:.....  
.....  
.....  
.....

Ing. MC. Luis Eduardo Hidalgo Almeida  
RESPONSABLE



ANEXO K: Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T1



Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
Nº SAE LEN 14-009

**INFORME DE ENSAYO Nº: 12750 c**

**MELENDREZ LARA FREDDY**

Solicitado por: Sr. Melendrez Freddy.  
Dirección: Guano.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/06/03 09:00	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/06/08	<b>T máx:</b> 32°C <b>T mín:</b> 22°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Melendrez Freddy.	<b>Fecha y Hora</b>	2019/06/02	No dispone

**Identificación:** Aguas Descarga, T1 Locación Guano.

**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible ®	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D	100	mg/L	10 800	~
*Demanda química de Oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	200	mg/L	32 000	~
Potencial hidrógeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H <sup>+</sup> B	6 - 9	~	4,02	± 0,05

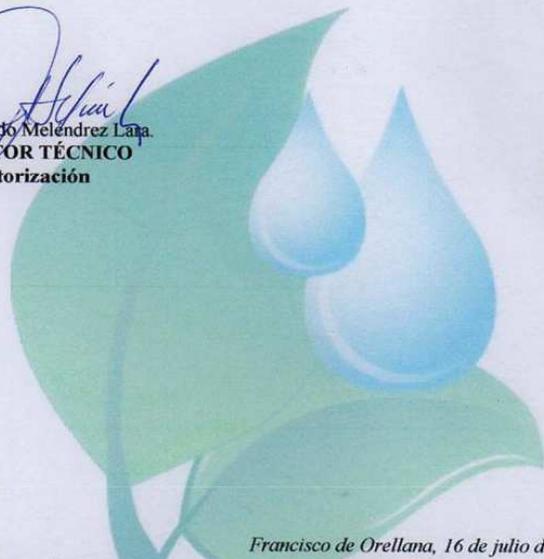
Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial Nº 097-A 04 Noviembre 2015.

Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce



*Armando Melendrez Lara*  
Ing. Armando Melendrez Lara  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
**Autorización**



*Francisco de Orellana, 16 de julio de 2019*

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Aluminia, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com Teléfono.: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

ANEXO L: Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T2



Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
Nº SAE LEN 14-009

**INFORME DE ENSAYO Nº: 12750 a**

**MELENDREZ LARA FREDDY**

Solicitado por: Sr. Melendrez Freddy.  
Dirección: Guano.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/06/01 09:00	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/06/06	<b>T máx:</b> 32°C <b>T mín:</b> 22°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Melendrez Freddy.	<b>Fecha y Hora</b>	2019/05/31	No dispone

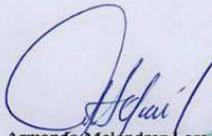
**Identificación:** Aguas Descarga, T2 Locación Guano.

**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible ®	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D	100	mg/L	4 600	~
*Demanda química de Oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	200	mg/L	13 400	~
Potencial hidrógeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H <sup>+</sup> B	6 - 9	~	5,34	± 0,05

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial Nº 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce



  
Ing. Armando Meléndrez Lara.  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
**Autorización**



*Francisco de Orellana, 16 de julio de 2019*

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio  
Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Alumina, detrás de Concesionario Mazda, Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com · Teléfono.: (593) 6 2881715 · Celular: 0991666858

ANEXO M: Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T3



Laboratorios de Análisis y Evaluación Ambiental

Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
Nº SAE LEN 14-009

---

**INFORME DE ENSAYO Nº: 12750 b**

**MELENDREZ LARA FREDDY**  
Solicitado por: Sr. Melendrez Freddy.  
Dirección: Guano.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/06/02 09:00	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/06/07	<b>T máx:</b> 32°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Melendrez Freddy.	Fecha y Hora	2019/06/01	<b>T mín:</b> 22°C
				No dispone

**Identificación:** Aguas Descarga, T3 Locación Guano.

**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible <sup>®</sup>	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D	100	mg/L	8 800	~
*Demanda química de Oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	200	mg/L	26 000	~
Potencial hidrógeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H <sup>+</sup> B	6 - 9	~	4,19	± 0,05

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial Nº 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce




Ing. Armando Meléndrez Lara  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
Autorización

*Francisco de Orellana, 16 de julio de 2019*

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Alumina, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com Teléfono: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

MC2301-02

**Página 1 de 1**

ANEXO N: Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T4



Laboratorios de Análisis y Evaluación Ambiental

Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
Nº SAE LEN 14-009

---

**INFORME DE ENSAYO Nº: 12750 d**

**MELENDREZ LARA FREDDY**  
Solicitado por: Sr. Melendrez Freddy.  
Dirección: Guano.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/06/04 09:00	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/06/09	<b>T máx:</b> 32°C
				<b>T mín:</b> 22°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Melendrez Freddy.	<b>Fecha y Hora</b>	2019/06/03	No dispone

**Identificación:** Aguas Descarga, T4 Locación Guano.

**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permisible ®	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D	100	mg/L	8 400	~
*Demanda química de Oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	200	mg/L	25 000	~
Potencial hidrógeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H <sup>+</sup> B	6 - 9	~	4,23	± 0,05

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial Nº 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce





Ing. Armando Meléndrez Lara.  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
**Autorización**

*Francisco de Orellana, 16 de julio de 2019*

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Alumina, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com Teléfono.: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

MC2301-02

**Página 1 de 1**

ANEXO O: Informe de ensayo del análisis de agua residual del Tratamiento T5



Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE con  
acreditación  
Nº SAE LEN 14-009

**INFORME DE ENSAYO Nº: 12761 a**

**MELENDREZ LARA FREDDY**

Solicitado por: Sr. Melendrez Freddy.  
Dirección: Guano.

<b>Fecha y hora de ingreso al laboratorio:</b>	2019/06/05 15:40	<b>Fecha final de Análisis</b>	2019/06/10	<b>T máx:</b> 32°C <b>T mín:</b> 22°C
<b>Toma de muestra:</b>	Sr. Melendrez Freddy.	Fecha y Hora	2019/06/04	No dispone

**Identificación:** Aguas Descarga, T5 Locación Guano.

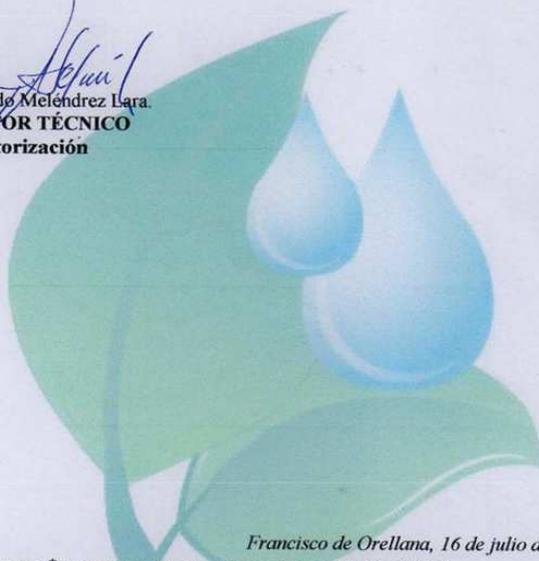
**Parámetros, métodos y resultados:**

Parámetros	Método de Ensayo	Referencia	Límite Máximo Permissible ®	Unidad	Resultado	Incertidumbre (K = 2)
*Demanda Bioquímica de Oxígeno	ITE-AQLAB-08	SM 5210 D	100	mg/L	7 000	~
*Demanda química de Oxígeno	ITE-AQLAB-07	HACH 8000	200	mg/L	20 000	~
Potencial hidrógeno	ITE-AQLAB-01	SM 4500-H <sup>+</sup> B	6 - 9	~	4,30	± 0,05

Fuente: Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la prevención y control de la Contaminación Ambiental.  
Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Acuerdo Ministerial Nº 097-A 04 Noviembre 2015.  
Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce



*Armando Melendrez Lara*  
Ing. Armando Melendrez Lara.  
**DIRECTOR TÉCNICO**  
**Autorización**



Francisco de Orellana, 16 de julio de 2019

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.  
El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio  
Calle Juan Huncite y Fray Gregorio de Alumina, detrás de Concesionario Mazda. Barrio Con Hogar.  
e-mail: laboratorio@aqlabec.com · web: www.aqlabec.com Teléfono.: (593) 6 2881715 Celular: 0991666858

## SILICATO SODIO LIQUIDO

**Descripción:**

Solución acuosa de silicato de sodio. Líquido siruposo, pegajoso claro.

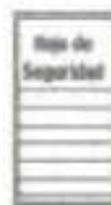
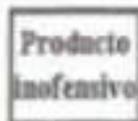
**Usos:**

En la cerámica como defloculante. En la industria textil se impregna en telas e hilos para hacerlas resistentes al fuego. Como detergente en jabones. Como pegamento. Agregado de cementos y pinturas. Fabricación de esmeriles.

Número de Lote:	5-0008945
Kilos:	16000
Fecha de Producción:	2018-11-26
Fecha de Expiración:	2020-02-20

### Certificado de análisis tipo

Especificaciones		Resultados
Estado físico	Líquido viscoso	Pasa Prueba
Turbidez	Líquido opalescente	Pasa Prueba
Densidad	41.5 - 42.5 °Bé	42.2 °Bé
Na <sub>2</sub> O en peso	9.10 - 9.30%	9.28%
SiO <sub>2</sub> en peso	29.00 - 30.00%	29.39%
Rel. En peso SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O	3.17 - 3.30	3.23
Sólidos Totales	38.10 - 39.30	39.15
Gravedad Específica (g/cm <sup>3</sup> )	1.4010 - 1.4140	1.4105
Viscosidad C.P.S.	200 - 800	550



Los datos del presente certificado de análisis fueron proporcionados por nuestro proveedor y revisados por CEDROSA.

## TARA EN POLVO

### ESPECIFICACIONES

**Descripción :** El producto Tara en Polvo, es un polvo muy fino, de color crema, producido a partir de las vainas del árbol de Tara (Caesalpinia Spinosa). Mezclado con agua, la Tara en Polvo produce una solución turbia, de color beige claro.

**Composición:**

(Método A.L.C.A.)	Taninos	47 – 53%
	No Taninos	15 – 23 %
	Insolubles	18 – 26 %
	Agua	Max. 12 %

**Tamaño de Partícula :**

A través de:	250 Micrones, US 60 mesh	min. 99.8%
	150 Micrones, US 100 mesh	min. 99%
	100 Micrones, US 150 mesh	min. 98%
	77 Micrones, US 200 mesh	min. 90%
	44 Micrones, US 325 mesh	min. 80%

**ANEXO R: Resultados del análisis de las aguas residuales de cueros curtidos a base de cromo**

**Cuadro 28. Resultado del análisis de agua del curtido**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límite Máximo permisible<sup>20</sup></b>	<b>Cumple</b>
Aceites y grasas	mg/L	8.6	100	Si
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	4400	250	No
DQO	mg/L	7790	500	No
Sólidos sedimentables	ml/L	300	20	No
Sólidos suspendidos	mg/L	1420	220	No
Cromo hexavalente	mg/L	0.055	0.5	Si
Cromo total	mg/L	3564	-	-
Sulfuros	mg/L	0.17	1.0	Si
Sulfatos	mg/L	19130	400	No
Nitratos	mg/L	<2.3	-	-
Carbonatos	mg/L	<10	0.1	Si
Materia flotante	-	Presencia	Ausencia	No
pH	-	2.41	5 – 9	No
Temperatura	°C	29	<40	Si
Color	Unidades de color	4262	-	-

<sup>19</sup>Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, Anexo I, Tabla 11.

<sup>20</sup>Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, Anexo I, Tabla 11.