

ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y
MUSEOGRAFÍA “MANUEL DEL CASTILLO NEGRETE”

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



“Evaluación experimental de la alteración de textiles de algodón y seda derivada
del lavado acuoso con saponinas como alternativa al uso de Canasol”

TESIS QUE PRESENTA

SOFÍA SAAVEDRA OLEA

PARA OPTAR POR EL GRADO DE

LICENCIADA EN RESTAURACIÓN

MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO

2023

ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y
MUSEOGRAFÍA “MANUEL DEL CASTILLO NEGRETE”

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



“Evaluación experimental de la alteración de textiles de algodón y seda derivada
del lavado acuoso con saponinas como alternativa al uso de Canasol”

TESIS QUE PRESENTA

SOFÍA SAAVEDRA OLEA

PARA OPTAR POR EL GRADO DE

LICENCIADA EN RESTAURACIÓN

Dirigido por Dra. Lilian García-Alonso Alba y Mtro. Armando Arciniega Corona

Asesorado por Mtro. Daniel Meléndez García y Lic. Ana Julia Poncelis Gutiérrez

Agradecimientos

A mis directores por su acompañamiento, sus comentarios y correcciones que ayudaron a construir esta tesis. A Lilian García-Alonso Alba por incluirme al proyecto “La conservación y estudio del patrimonio bio cultural para su uso en la conservación contemporánea”; y a Armando Arciniega Corona, por incluirme al Proyecto INAH 11852 y al Proyecto INFRAESTRUCTURA CONACYT 2014-225845.

A mis asesores Daniel Meléndez García y Ana Julia Poncelis Gutiérrez por sus comentarios, acompañamiento y revisiones.

Al Dr. Eligio Alberto Orozco Mendoza y al Ing. José Germaín Castro Aburto del Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales del Instituto de Física de la UNAM, por el tiempo, espacio y apoyo durante la fase experimental sobre la resistencia a la tensión de los hilos.

A Tec. en Quím. Luz Esperanza López y Lic. Ignacio Castillo del Laboratorio de Enseñanza de la ENCRyM por el apoyo durante la fase experimental del lavado acuoso de las probetas de tela y facilitar el Canasol®.

Al taller de restauración de papel de la CNCPC por la tela Reemay que se ocupó como soporte de las probetas dentro de la cámara de envejecimiento; al taller de restauración de textiles de la CNCPC por la tela de algodón; al Seminario-Taller de Conservación y Restauración de Textiles de la ENCRyM por prestar vidrios utilizados durante la fase experimental del lavado acuoso de las probetas de tela.

Al Dr. Omar Velázquez y al Ing. David Gómez-Urquiza, por el apoyo en el análisis de datos en MATLAB®; al Dr. Andrés Campero, por su apoyo en Python®.

También quiero agradecer a todas las profesoras y profesores que conocí durante mi camino por la ENCRyM, así como al área de Asuntos Escolares, Conchita y Martha Isabel por su apoyo durante la carrera y titulación. A todos los que colaboran en la Escuela, por haberme acompañado y ayudado de distintas formas durante la carrera y el tiempo que he estado en la ENCRyM. A Perla Téllez por su apoyo y ayuda durante la experimentación en el Laboratorio CODICE y sus ánimos y palabras de aliento.

Dedicatoria

Un agradecimiento especial a mi familia: Renata, Federico, Diego, Juan Pablo, Atala; a mis mejores amigas: Mónica, María José, Mariana y Ariadna; mis amigos y gente importante que me ha acompañado y apoyado en diferentes momentos de la carrera, la realización y la presentación de mi tesis.

Hago una dedicatoria especial a mi mamá, Ana Cristina Saavedra Olea que por nuestro esfuerzo lo logramos; y a mi abuelo, Miguel Ángel Saavedra Schlittler, quien siempre me apoyó y me dio los ánimos para sentirme emocionada y motivada con mi carrera y mi tesis.

Contenido

Índice de figuras	1
Índice de gráficas	4
Resumen	6
Palabras clave	6
Abstract	7
Key Words	7
Índice de abreviaturas	8
Introducción	10
CAPÍTULO I.	15
Marco teórico: caracterización de fibras textiles y tensoactivos, técnicas analíticas y conceptos clave	15
1. Fibras textiles de algodón y seda: caracterización de las fibras y su comportamiento	16
1.2. Fibras de algodón	16
1.3. Fibras de seda	20
1.4. Alteraciones de las fibras de algodón y seda	24
1.5. Parámetros de conservación para fibras textiles	34
2. Tensoactivos: saponinas y Canasol®	36
2.1. Tensoactivos	36
2.2. Canasol®	39
2.3. Saponinas	39
2.4. Implicaciones ambientales del uso de tensoactivos	43
3. Técnicas analíticas	47
3.1. Colorimetría	47
3.2. Medición de pH	48

3.3. Resistencia a la tensión	49
CAPÍTULO II.	50
Metodología de la experimentación	50
4. Preparación de las probetas textiles de algodón y seda	53
5. Lavado acuoso	55
5.1. Preparación de tensoactivos	55
5.2. Determinación de concentración de lavado	59
5.3. Proceso de lavado acuoso	63
6. Envejecimiento acelerado en laboratorio	66
6.1. Condiciones del envejecimiento acelerado en laboratorio.	66
6.2. Colocación de probetas en la cámara	71
7. Medición de características y propiedades físicas de las fibras textiles por técnicas analíticas	72
7.1. Toma de muestras	72
7.2. Colorimetría	74
7.3. Medición de pH	77
7.4. Resistencia mecánica	78
CAPÍTULO III.	81
Análisis y discusión de resultados	81
Parte 1. Resultados antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio	84
8. Fibras de algodón	84
8.1. Color	84
8.2. pH	88
8.3. Resistencia a la tensión	90
9. Fibras de seda	93

9.1. Color	93
9.2. pH	97
9.3. Resistencia a la tensión	99
Parte 2. Comparación de los resultados de probetas envejecidas con tensoactivos contra probeta de referencia envejecida	102
10. Fibras de algodón	104
10.1. Color	104
10.2. pH	105
10.3. Resistencia a la tensión	106
11. Fibras de seda	108
11.1. Color	108
11.2. pH	109
11.3. Resistencia a la tensión	110
12. Conclusiones	112
13. Reflexiones finales	115
14. Aportes conseguidos durante la realización de la tesis	116
15. Referencias bibliográficas	117
16. Anexos	127
16.1. Anexo 1. Información complementaria	127
16.2. Anexo 2. Fichas técnicas de los tensoactivos	146
16.3. Anexo 3. Códigos de programación para el análisis de datos	147
16.4. Anexo 4. Resultados de la resistencia a la tensión de los hilos de algodón y seda	150

Índice de figuras

Figura 1. a. Cadena molecular de la celulosa (Lenz del Río, 1969, p. 311); b. Esquema de corte transversal de la fibra de algodón señalando sus componentes. (Joseph, 1977).	16
Figura 2. Estructura molecular de la fibroína. Obtenida de: https://es.wikipedia.org/wiki/Fibro%C3%ADna#/media/Archivo:Silk_fibroin_primary_structure.svg	20
Figura 3. Regiones del campo electromagnético (Atkins & De Paula, 2006, p. 984).	26
Figura 4. Espectro electromagnético en representación gráfica de la longitud de onda por región. Obtenida de: https://quintadimensionperuascension.blogspot.com/2015/10/visible-espectro-de-luz.html	26
Figura 5. Formación de micelas en distintos medios (Capek, 2019). Traducido y editado por la autora.	36
Figura 6. Esquema en inglés de los distintos tipos de surfactantes con distinta carga iónica en el extremo hidrofílico de la molécula (Achaw & Danso-Boateng, 2021, p. 17).	38
Figura 7. Estructura química del nonilfenol. Obtenida en línea el 5/1/21 en: https://es.wikipedia.org/wiki/Nonilfenol	39
Figura 8. Estructura de distintos tipos de saponinas (Monterrosas Brisson, 2013, p. 11).	41
Figura 9. Representación tridimensional de las coordenadas del espacio de color $L^*a^*b^*$ (Mondelo, 2018).	48
Figura 10. Probetas de algodón sin separar para llevar a cabo el lavado acuoso de manera eficiente.....	54
Figura 11. Detalle de la clave de identificación bordada con hilo blanco identificando a la probeta 3 de algodón lavada con saponinas Sigma-Aldrich®.	54
Figura 12. Paquete de "Shishi. Jabón natural prehispánico vegetal, biodegradable" de la productora CHAHIN.....	55

Figura 13. a. Utilización de balanza granataria para pesar las fibras de agave lechuguilla. Laboratorio de Enseñanza- ENCRyM. b. Fibras de agave en la disolución hirviendo para extraer las saponinas.....	56
Figura 14. a. Disolución obtenida después de la primera filtración. b. Segunda filtración a través de papel filtro.....	57
Figura 15. a. Saponina marca Biorganix® antes de ser triturada. Se observan granos de distintos tamaños. b. Proceso de trituración de la saponina Biorganix® en mortero de cerámica. Laboratorio de Enseñanza-ENCRyM. c. Saponina Biorganix® después de la trituración se observa como un polvo homogéneo.	58
Figura 16. a. Envase de saponina Sigma-Aldrich®. b. Envase de Canasol®.	59
Figura 17. Marcas de los distintos niveles de líquido y espuma después de la agitación en una disolución de saponinas Sigma-Aldrich® al 2% en agua destilada en tres tubos de ensayo.	60
Figura 18. Cinco disoluciones utilizadas durante los lavados. De izquierda a derecha: Saponina Sigma-Aldrich®, saponina Biorganix®, saponina de agave lechuguilla, Canasol® y agua destilada.....	63
Figura 19. Detalle de acción mecánica ejercida sobre la superficie de las probetas con una esponja marina.	64
Figura 20. Enjuague con baño de agua destilada y acción mecánica con esponja marina limpia.	65
Figura 21. a. Probetas extendidas sobre una superficie plana y limpia en proceso de secado. b. Las treinta probetas secas y separadas para la siguiente fase de la experimentación.	65
Figura 22. Cámara de envejecimiento y aparato de medición de condiciones ambientales. Los sensores se introducen por una apertura en la pared de la cámara.	67
Figura 23. a. Equipo de medición de condiciones ambientales. b. Sensores dentro de la cámara de envejecimiento acelerado.	70
Figura 24. Gráficas de las fluctuaciones ambientales del ciclo mantenido durante el envejecimiento acelerado.....	70

Figura 25. Distribución aleatoria de las probetas sobre el soporte de tela Reemay.	71
Figura 26. Muestreo de hilos de algodón de las probetas AC3 y AX3.	72
Figura 27. Medición de colorimetría en probetas textiles en el Laboratorio CODICE- CNCPC.....	74
Figura 28. Acetato con tres orificios de 1 cm ² colocado sobre una probeta (circulado en rojo).	75
Figura 29. Captura de pantalla de la página Colorizer.org, donde se convierten valores CIELAB a RGB.	76
Figura 30. a. Medición de pH con tiras reactivas de surfactantes y agua destilada antes del lavado acuoso. b. Medición de pH de las probetas después del lavado con potenciómetro digital y electrodo de vidrio.....	78
Figura 31. Micro máquina de análisis de resistencia a la tensión. Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales- IF-UNAM.	78
Figura 32. Muestra de hilo (circulado en rojo) montada en la micro máquina de resistencia del LCMN-IF-UNAM.	79
Figura 33. Procesamiento de datos de resistencia de la muestra AC1c en MATLAB®.	80
Figura 34. a. Esquema de la estructura de cartón corrugado y papel aluminio de la cámara de envejecimiento. b. Asa de cartón y orificios en pared lateral para agregar agua al interior. Esquemas realizados por Sofía Saavedra en SketchUp Free. ...	130
Figura 35. Vista interior de la cámara de envejecimiento donde se observan los dos contenedores de agua y el soporte para las probetas. Esquema realizado por Sofía Saavedra en SketchUp Free.	130
Figura 36. a. Lámpara de radiación UV. b. Lámparas incandescentes para radiación IR.....	131
Figura 37. Probetas cuatro años después. a. Probetas de algodón. b. Probetas de seda.	132
Figura 38. Vasos de precipitados con esponjas marinas sumergidas durante 24 horas aprox. El vaso izquierdo contiene una esponja nueva y el vaso derecho una esponja previamente utilizada en varias ocasiones.	134

Figura 39. Vasos de precipitados sin las esponjas. En el vaso izquierdo se observa el agua de color amarillo y con partículas depositadas. En el vaso derecho se observa el agua prácticamente incolora y sin partículas.	134
Figura 40. De lado izquierdo se encuentran las probetas de algodón y de lado derecho las probetas de seda.	135

Índice de gráficas

Gráfica 1. Concentración de saponinas naturales de agave lechuguilla marca CHAHIN.....	61
Gráfica 2. Concentración de saponinas Saponin84510 de Sigma-Aldrich® (ahora Merck®).....	62
Gráfica 3. Comparación de ΔL^* entre las probetas de algodón lavadas y envejecidas.	85
Gráfica 4. Comparación de Δa^* entre las probetas de algodón lavadas y envejecidas.	85
Gráfica 5. Comparación de Δb^* entre probetas de algodón lavadas y envejecidas.	86
Gráfica 6. pH de las probetas de algodón antes y después del envejecimiento acelerado.....	89
Gráfica 7. Gráfica de las cargas resistidos por los hilos de algodón antes y después del envejecimiento acelerado.	91
Gráfica 8. Gráfica del desplazamiento de los hilos de algodón ante la tensión, antes y después del envejecimiento acelerado.....	91
Gráfica 9. Gráfica del módulo de pendiente de los hilos de algodón antes y después del envejecimiento acelerado.	92
Gráfica 10. Comparación de ΔL^* de las probetas de seda lavadas y envejecida...	94
Gráfica 11. Comparación de Δa^* en las probetas de seda lavadas y envejecidas.	94
Gráfica 12. Comparación de Δb^* en probetas de seda lavadas y envejecidas.	95
Gráfica 13. pH de las probetas de seda antes y después del envejecimiento acelerado.....	98

Gráfica 14. Gráfica de carga (N) resistida por los hilos de seda antes y después del envejecimiento acelerado.....	99
Gráfica 15. Gráfica del desplazamiento (mm) ante la tensión de los hilos de seda antes y después del envejecimiento acelerado.....	100
Gráfica 16. Gráfica del módulo de pendiente de la tensión de los hilos de seda antes y después del envejecimiento acelerado.....	101
Gráfica 17. Valor crítico de t del pH de las probetas de fibras de algodón envejecidas.	105
Gráfica 18. Valor crítico de t sobre la carga (N) resistida por los hilos de algodón envejecidos.	106
Gráfica 19. Valor crítico de t sobre el desplazamiento (mm) ante la tensión de los hilos de algodón envejecidos.	107
Gráfica 20. Valor crítico de t del módulo de Young (N/mm) ante la tensión de los hilos de algodón envejecidos.	107
Gráfica 21. Valor crítico de t del pH de las probetas de seda envejecidas.....	109
Gráfica 22. Valor crítico de t de la carga (N) resistida por los hilos de seda envejecidos.	110
Gráfica 23. Valor crítico de t del desplazamiento (mm) ante la tensión de los hilos de seda envejecidos.....	111
Gráfica 24. Valor crítico de t del módulo de la pendiente (N/mm) de los hilos de seda envejecidos.	111

Resumen

La presente investigación evalúa el uso de las saponinas como tensoactivo en el lavado acuoso de textiles de algodón y seda, con el fin de encontrar un sustituto al tensoactivo sintético Canasol®. Se ha comprobado que el Canasol® es altamente tóxico para seres vivos incluidos animales, plantas y seres humanos, contamina el medio ambiente y se ha prohibido en varios países de la UE y en EUA.

Se analizaron probetas de tela de algodón y seda lavadas con saponinas de fibras de agave lechuguilla CHAHIN®, saponinas *Biotika®Saponin-L* marca *Biorganix®*, saponinas *Saponin84510* marca *Sigma Aldrich®* (ahora Merck®), el tensoactivo sintético Canasol® y una probeta de referencia lavada con agua destilada sin tensoactivos. Se midieron las propiedades de color, pH y resistencia a la tensión de los hilos de las probetas antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio durante seis meses.

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante la prueba *T-test*, la cual indica que tan significativa es la diferencia entre grupos de valores. Mediante este análisis se determinó que el uso de saponinas como tensoactivo en el lavado acuoso de fibras textiles de algodón y seda no genera una alteración significativa en las probetas, comparando los resultados con las alteraciones en las probetas de referencia. A partir de esto, se propone el uso de saponinas purificadas como tensoactivo natural, biodegradable y de baja toxicidad como alternativa al Canasol® en la conservación-restauración de bienes textiles.

Después de analizar las probetas cuatro años después, se visibilizó la importancia del enjuague para retirar por completo los restos de tensoactivos que pudieran modificar el color de la superficie de las fibras textiles y se sustenta el uso de saponinas como tensoactivos.

Palabras clave

Surfactante, tensoactivo, tensoactivo natural, tensoactivo sintético, Canasol®, saponinas, envejecimiento acelerado en laboratorio, fibras textiles, propiedades físicas, propiedades químicas, algodón, seda, lavado acuoso, alteración, diferencia significativa, conservación, impacto ambiental.

Abstract

The present investigation evaluates the use of saponins as a surfactant in the aqueous washing of cotton and silk textiles, to find a substitute for the Canasol® synthetic surfactant. The surfactant Canasol® has been found to be highly toxic to living beings, including animals, plants, and humans, and has been banned in several countries of the European Union and in the United States of America.

The textile test samples were washed with *agave lechuguilla* fibre saponins from CHAHIN®, Biotika®Saponin-L saponins from Biorganix®, Sigma Aldrich® (now Merck®) saponins Saponin84510, Canasol®, and a reference test sample washed with distilled water without surfactants. The properties of the textile test samples (colour, pH, and tensile strength) were measured before and after accelerated aging in the laboratory for six months.

The results were statistically analysed using the T-test, which indicates how significant the difference is between groups of values. Through this analysis, it was determined that the use of saponins as a surfactant in the aqueous wash of cotton and silk textiles does not generate a significant alteration in the test samples, comparing the results with the alterations in the reference test sample. From this, the purified saponins are proposed as a natural, biodegradable, and low toxicity surfactant and an alternative to Canasol® in the textile conservation-restoration.

After the analysis of the test samples four years later, the importance of rinsing to completely remove traces of surfactants that could modify the colour of the surface of the textile fibres became visible, and the use of saponins as surfactants is supported.

Key Words

Surfactant, natural surfactant, synthetic surfactant, Canasol®, saponins, laboratory accelerated aging, textiles fibres, physical properties, chemical properties, cotton, silk, wet cleaning, alteration, t-statistic, significant difference, conservation, environmental impact.

Índice de abreviaturas

CE: Comisión Europea.

CIE: *Commission Internationale de l'Éclairage*. Comisión Internacional de la Iluminación (Traducción por la autora).

CNCPC: Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural- INAH.

ENCRyM: Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía- INAH.

EUBIA: *European Biomass Industry Association*. Asociación europea sobre la industria de biomasa. (Traducción por la autora).

HR: humedad relativa.

IARC: *International Agency for Research on Cancer- World Health Organization*. Agencia internacional para la investigación del cáncer- Organización mundial de la Salud. (Traducción por la autora).

IFI: *International Fabricare Institute*. Instituto nacional del cuidado textil (Traducción por la autora).

IIC: *International Institute for Conservation of Historic and Artistic*

Works. Instituto Internacional para la Conservación de Obras Históricas y Artísticas. (Traducción por la autora).

INAH: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

IR: radiación infrarroja.

Laboratorio TECTRAD: Laboratorio de Tecnologías Tradicionales y Sostenibles para la Conservación del Patrimonio- ENCRyM- INAH.

Laboratorio CODICE: Laboratorio de Conservación, Diagnóstico y Caracterización Espectroscópica de Materiales-CNCPC-INAH.

LED: *light-emitting diode*. diodo emisor de luz. (Traducción por la autora).

NP: nonilfenol.

NPEO: nonilfenol etoxilado.

NTP: *National Toxicology Program*. Programa nacional de toxicología, parte del departamento de salud y servicios humanos de E.U.A. (Traducción por la autora).

OSHA: *Occupational Health and Safe Administration*. Administración de la salud y seguridad ocupacional del

departamento de trabajo de E.U.A.
(Traducción por la autora).

SiC: *Sustainability in Conservation*.
Sustentabilidad en conservación.
(Traducción por la autora).

UNAM: Universidad Nacional
Autónoma de M

UV: radiación ultravioleta.

Introducción

La presente tesis es una investigación experimental que busca ampliar el conocimiento que se tiene actualmente sobre las saponinas y su uso como tensoactivo durante el lavado acuoso de fibras textiles de algodón y seda en la conservación-restauración en México. Este análisis se realizó a partir de la caracterización de las alteraciones de las fibras antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio durante seis meses.

Se utilizaron 30 probetas de tela, 15 de algodón y 15 de seda, lavadas en un medio acuoso utilizando distintas disoluciones de tensoactivos: el tensoactivo sintético Canasol®, la saponina *Saponin84510* de Sigma-Aldrich® (ahora Merck®), la saponina *Biotika®Saponin-L* de *Biorganix®* y saponinas obtenidas de fibras de agave lechuguilla de la marca CHAHIN®. Además, se incluyeron probetas lavadas únicamente con agua que funcionaron como referencia para comparar los resultados. Se utilizaron tres probetas por cada variable de lavado.

Se realizó el mismo método de lavado acuoso en todas las probetas, incluida la acción mecánica y el enjuague. Después del lavado, las probetas se colocaron dentro de una cámara de envejecimiento acelerado en laboratorio donde se generó un ambiente en donde interactuaron la radiación infrarroja, la radiación ultravioleta, la humedad y la temperatura en un ciclo de exposición definido y continuo a lo largo de seis meses.

La caracterización de alteraciones se realizó a partir del análisis comparativo de los resultados de la medición de las propiedades físicas de las probetas antes y después del envejecimiento acelerado. Las propiedades físicas medidas fueron el color, el pH y la resistencia a la tensión de los hilos. El análisis de resultados después del envejecimiento acelerado comprobó que hubo alteraciones visibles y medibles en las fibras. A partir de esto, las disoluciones de tensoactivos se evaluaron como variable dentro del envejecimiento de las fibras.

Los resultados de las probetas envejecidas lavadas con tensoactivos se analizaron estadísticamente para saber qué tan significativamente diferentes fueron a los resultados de la probeta de referencia envejecida. Este análisis permitió saber qué

resultados forman parte del envejecimiento esperado en las fibras, sustentado por información de fuentes bibliográficas, y cuáles se pueden atribuir a la acción de los tensoactivos sobre las fibras, llegando a significar una alteración no deseada.

Debido a varios factores, incluida la pandemia de Covid-19, la presentación de los resultados se retrasó, por lo que fue posible analizar el cambio de color de las probetas cuatro años después de concluir el experimento. Con esto resaltó la importancia del enjuague para asegurar la remoción de restos de tensoactivos para evitar la alteración del color de las fibras con el paso del tiempo. Además, se sostuvo la posibilidad de utilizar saponinas como alternativa de tensoactivo durante el lavado acuoso de textiles de algodón y seda.

Estado de la cuestión

Esta tesis forma parte del proyecto de investigación *Análisis de materiales y tecnologías tradicionales aplicadas a la conservación del patrimonio cultural* del Laboratorio de Tecnologías Tradicionales y Sostenibles para la Conservación del Patrimonio Cultural (TECTRAD), de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRyM) del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Parte de una de las líneas de investigación abiertas en la tesis de licenciatura de Emmanuel Lara Barrera (2018), quien analizó los resultados de la limpieza acuosa de soportes textiles de algodón y seda con los tensoactivos Canasol® y las saponinas *Biotika®Saponin-L* de la marca *Biorganix®*, derivadas del *Agave lechuguilla Torrey*.

Lara (2018) hizo un recuento histórico del uso de agaves como producto de limpieza en México desde la época de contacto, así como en otras partes del mundo, principalmente en el sureste asiático y con enfoque industrial. Describió la estructura química, los componentes y propiedades de las saponinas *Biorganix®*, así como la estructura y componentes del tensoactivo sintético Canasol®. También mencionó las repercusiones que tiene este último para el medio ambiente y seres vivos.

Como resultado, mencionó que el nivel de limpieza obtenido tras el lavado acuoso de probetas textiles de algodón y seda con las saponinas *Biotika*® y el Canasol® es similar, e incluso, en algunos casos las saponinas retiraron mayor cantidad de partículas. Detalló que en el soporte textil no se generan cambios de color perceptibles a simple vista y da pie a seguir con la investigación.

Las saponinas son un producto utilizado mayormente por la industria alimenticia, agrícola como complemento alimenticio y farmacéutica como medicamento para regular al sistema endócrino. Su uso dentro de la conservación de patrimonio cultural textil en México es limitado. García-Alonso, Sámano (2016) y Lara (2018) hacen un primer acercamiento.

Por otro lado, las características físicas, químicas, alteraciones y deterioro de las fibras textiles que componen al patrimonio cultural se han estudiado ampliamente desde el ámbito industrial hasta de conservación-restauración. Corona (2012) describe las características físicas de las fibras de algodón y seda, entre otras. Tímár-Balázs & Eastop (1998) y Landi (1992) explican la estructura de las fibras, su deterioro físico y químico, así como las implicaciones del lavado acuoso en ellas, los efectos en el textil y los agentes involucrados.

Hasta la fecha, no se ha identificado bibliografía que trate sobre los efectos del uso de saponinas como tensoactivo en el lavado acuoso de fibras textiles en el ámbito de la conservación-restauración, ni sobre las alteraciones o posibles deterioros en las fibras provocados por su uso.

Planteamiento del problema

El Canasol® es un tensoactivo sintético ampliamente utilizado durante procesos de lavado acuoso de bienes culturales en México. Sin embargo, se sabe que es un agente contaminante y tóxico para distintos organismos, incluidos los seres humanos. Por ello, es necesaria la búsqueda de alternativas de agentes limpiadores menos dañinos, como las saponinas, que puedan usarse en el proceso de lavado acuoso dentro de bienes culturales textiles.

La información escrita sobre los efectos que puede tener el uso de saponinas como tensoactivo durante el lavado acuoso de textiles dentro de la conservación-restauración de patrimonio cultural en México es limitada. Para que las saponinas sean una alternativa cotidiana en talleres de restauración, se requiere un análisis metodológico de los efectos de su uso en las fibras celulósicas y proteicas que constituyen la mayor parte de los bienes textiles.

Justificación

Si se comprueba la hipótesis de que el uso de saponinas utilizadas como tensoactivo durante el lavado acuoso de textiles de fibras de algodón y seda no genera alteraciones negativas en las mismas, las saponinas serían una alternativa eficiente, biodegradable y no tóxica al Canasol®.

Además, utilizar productos naturales y de tradición mexicana, promueven no sólo la conservación de los bienes culturales sino de la cultura inmaterial de conocimiento tradicional y fomenta la preservación de especies originarias, el cuidado de ciertos cultivos y el desarrollo económico alrededor de ello.

Por último, esta investigación da continuidad a una línea abierta dentro de una tesis de licenciatura cuyo fin es evaluar la aplicación de un producto novedoso en la conservación-restauración de textiles en México.

Objetivo general

Identificar los efectos que provoca el uso de saponinas durante el lavado acuoso de fibras textiles de algodón y seda después del envejecimiento acelerado en laboratorio, para promover su uso en la conservación- restauraciones de bienes culturales textiles.

Objetivos específicos

- Encontrar un tensoactivo que sustituya al Canasol®,
- Determinar el cambio de propiedades de las fibras textiles de algodón y seda después del lavado acuoso y el envejecimiento acelerado en laboratorio,
- Determinar la acción de las saponinas dentro de las alteraciones de las fibras textiles tras el envejecimiento acelerado en laboratorio,
- Participar en el crecimiento de la disciplina al utilizar herramientas de análisis de datos poco utilizadas.

Hipótesis

El uso de saponinas como tensoactivo en el lavado acuoso de fibras textiles de algodón y seda no genera alteraciones negativas en las mismas después del envejecimiento acelerado en laboratorio durante seis meses.

CAPÍTULO I.

Marco teórico: caracterización de fibras textiles y tensoactivos, técnicas analíticas y conceptos clave

1. Fibras textiles de algodón y seda: caracterización de las fibras y su comportamiento

Este es el punto de partida para comprender el aspecto material de las fibras textiles, incluyendo sus características, propiedades y comportamiento a partir de la naturaleza celulósica del algodón y proteínica de la seda.

1.2. Fibras de algodón

1.2.1. Composición y morfología

El algodón es una fibra natural compuesta principalmente de celulosa representando entre el 87 al 90% de su composición, además de entre 5 a 8% de agua y el resto son impurezas naturales (International Fabricare Institute, 1995; Olney, 1947). La celulosa es un polímero natural (polisacárido) cuya molécula está compuesta por la unidad básica de glucosa β -D-glucosa (Hollen, 2002; Tímár-Balázs & Eastop, 1998). Se constituye por los elementos carbono, oxígeno e hidrógeno y de tres grupos oxhidrilo reactivos (grupos OH). Su fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)$ (Hollen, 2002; Lenz del Río, 1969; Olney, 1947) (ver figura 1a).

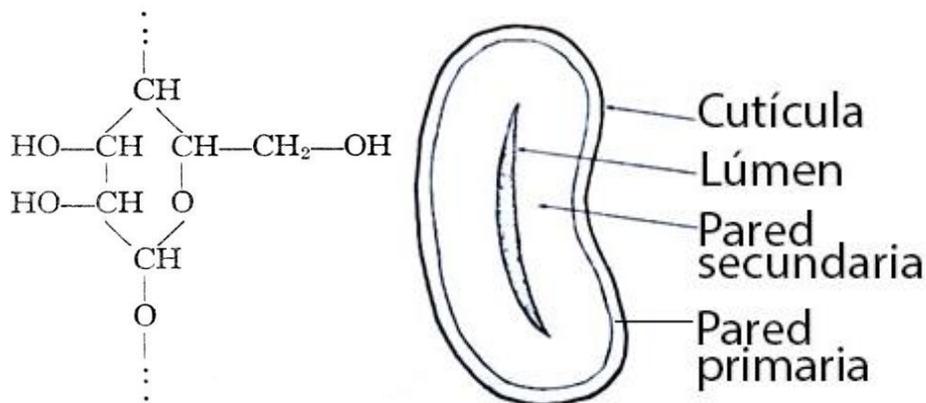


Figura 1. a. Cadena molecular de la celulosa (Lenz del Río, 1969, p. 311); b. Esquema de corte transversal de la fibra de algodón señalando sus componentes. (Joseph, 1977).

Las fibras de algodón se forman cuando se unen cadenas moleculares lineales de entre 2,000 a 12,000 unidades de glucosa llamadas *fibrillas*, por medio de puentes de hidrógeno entre los grupos oxhidrilos de las cadenas adyacentes. Las fibrillas se

enrollan una con otra logrando obtener una fibra con gran resistencia física (Hart & Schuetz, 1980; Hollen, 2002).

La estructura de la fibra se conforma por una cutícula exterior que forma la pared primaria, una pared secundaria más gruesa que la anterior que acumula más celulosa y un núcleo central llamado lumen (ver figura 1b). Las fibras maduras presentan paredes más gruesas y un lumen pequeño que no siempre es continuo, ya que las paredes se ensanchan tanto que lo oprimen y cierran en algunas secciones. El grosor de la fibra varía ya que en el punto de adherencia a la semilla es de 20 a 40 μm y va disminuyendo hacia el otro extremo. Cada fibra mide entre $\frac{1}{4}$ a $1\frac{3}{4}$ de pulgada, lo que equivale de 0.635 a 4.45 cm (Erhardt et al., 1980; International Fabricare Institute, 1995; Joseph, 1977).

Vista longitudinalmente al microscopio, la fibra tiene una forma parecida a un listón de bordes gruesos con torceduras helicoidales también llamadas convoluciones, distribuidas de forma irregular a lo largo de la fibra. Pueden torcerse o girar a la derecha o a la izquierda, simulando forma de S y Z debido a la tensión superficial de la pared primaria una vez que la fibra alcanza la madurez (Erhardt et al., 1980; Joseph, 1977; Olney, 1947).

1.2.2. Características y propiedades físicas de la fibra de algodón

Las propiedades físicas identificables a simple vista son el color y el lustre. La fibra de algodón es de color blanco, pero el algodón crudo varía de color crema claro a oscuro dependiendo del tipo de algodón, el clima y las condiciones del suelo donde se cultivó. El algodón sin tratar tiene poco lustre o brillo (Joseph, 1977; Nickerson, 1954; Olney, 1947).

Otras propiedades físicas requieren examinarse con herramientas y técnicas analíticas como son la resistencia a la tensión, higroscopicidad, resiliencia, elasticidad, elongación y tenacidad.

Olney (1947) menciona que la fibra de algodón tiene una capacidad de carga de 2 a 8 gramos, lo que le da una buena resistencia. Joseph (1977) mide la tenacidad¹ de la fibra en seco de 3.0 a 5.0 g/d², lo que la clasifica como una fibra de resistencia moderada. Hollen (2002) coincide con la clasificación de resistencia media de las fibras de algodón, señalando que la resistencia a la ruptura es de 3.5 a 4 g/d, medida que entra en el parámetro mencionado anteriormente. En húmedo se incrementa del 10 al 20% de su resistencia en seco y también se vuelven más flexibles (Hollen, 2002; International Fabricare Institute, 1995; Joseph, 1977).

La fibra mantiene sus dimensiones relativamente estables ya que no se estira o encoge, sin embargo, una vez tejidas, las telas tienden a encogerse debido a la tensión aplicada durante el hilado y el tejido (Joseph, 1977). Esto se relaciona con la capacidad de elongación de la fibra y su elasticidad. Erhardt, *et al.* (1980), mencionan que la elasticidad y resistencia al aplastamiento se clasifica como suficiente, mientras Hollen (2002) menciona que la elasticidad es baja ya que el algodón es una fibra rígida y Olney (1947) señala que su elasticidad es menor comparada con fibras de seda. Además de coincidir en que no se puede clasificar como elástico, Joseph (1977) explica lo anterior en porcentajes de elongación y recuperación de la dimensión original, diciendo que el algodón tiene una elongación del 3 al 7%, llegando arriba del 10% en condiciones particulares, sólo recupera 75% de longitud ante una elongación del 2% de su longitud original y ante una elongación del 5%, recupera menos del 50%.

Las fibras tienen baja resiliencia, lo que significa que al deformarse no cuentan con suficiente fuerza entre ellas para regresar a su posición inicial, debido a que los enlaces de hidrógeno que mantienen a las cadenas moleculares inmóviles entre sí son débiles y cuando la tela se dobla o arruga, en especial en presencia de humedad, las cadenas moleculares se mueven libremente hasta nuevas posiciones (Hollen, 2002, p. 50).

¹ Resistencia a una ruptura por deformación y resistencia a la abrasión (Hollen, 2008, p.20).

² Gramos por denier. Unidad utilizada en la industria textil que se refiere a la densidad lineal de la masa de la fibra.

Las fibras de algodón se clasifican como una fibra muy higroscópica ya que los componentes de la celulosa: la glucosa y los grupos OH, son afines a la molécula del agua y su estructura tiene la capacidad de enlazarse con más moléculas. Además, la estructura tubular hueca de la fibra le permite absorber agua por capilaridad. El IFI (1995) plantea la absorción de entre 7 a 10% de humedad cuando el ambiente está a 21°C y hay una HR del 65%. Cuando el porcentaje de humedad relativa del ambiente aumenta, también aumenta la absorción de las fibras (Erhardt et al., 1980; Joseph, 1977).

1.2.3. Características y propiedades químicas de la fibra de algodón

El algodón es altamente resistente a los álcalis, tanto así que suelen utilizarse en ciertos procesos y acabados industriales y muchos de los detergentes comerciales tienden a ser alcalinos sin que generen un daño en las fibras. En cambio, los ácidos fuertes pueden destruir la fibra y los ácidos disueltos en soluciones calientes causan su desintegración. Ácidos disueltos en soluciones frías causan un daño gradual que no será evidente inmediatamente.

El algodón es resistente a la mayoría de los solventes orgánicos, muchos de los cuales se utilizan en productos comerciales de limpieza. Pero es soluble en algunas sustancias como el hidróxido de cupramonio, utilizado para ciertos análisis químicos (Joseph, 1977), aunque no es usado en ningún proceso de conservación-restauración.

El algodón es mejor conductor de calor que la seda y resiste altas temperaturas en seco (Olney, 1947). Erhardt *et al.* (1980) mencionan que en calor continuo hasta 120°C la fibra llega a amarillarse, pero otros autores señalan que puede alcanzar 150°C sin experimentar una descomposición. Por arriba de esa temperatura empieza una descomposición gradual observable como deshidratación y arriba de 246°C la fibra se deteriora rápidamente (IFI, 1995; Joseph, 1977; Olney, 1947).

1.3. Fibras de seda

1.3.1. Composición y morfología de la fibra de seda

La seda es una fibra proteínica natural que produce el gusano *Bombyx mori* para formar su capullo. La seda está constituida por dos sustancias: fibroína y sericina. La fibroína, conforma los dos filamentos estructurales de la seda y se compone de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en cadenas de polipéptidos con grupos reactivos amino (NH_2) y carboxilo (COOH) (Erhardt et al., 1980; Hollen, 2002; Joseph, 1977; Tímár-Balázsy, 1994). Dentro de los grupos reactivos se encuentran aproximadamente quince aminoácidos, unidos por un enlace peptídico (International Fabricare Institute, 1995; Tímár-Balázsy, 1994).

Según Joseph (1977), hay diferencias de opinión entre autores sobre el arreglo molecular pero la mayoría coincide que los aminoácidos simples como glicina, alanina, serina y tirosina conforman la parte más larga de la cadena molecular de la fibra. Por otro lado, Tímár-Balázsy (1994) menciona que los aminoácidos constitutivos de la fibroína son la glicina, alanina y serina en una proporción 3:2:1 y coincide al señalar que componen hasta el 60% de la región cristalina de la fibroína (ver figura 2). Los aminoácidos arginina, treonina y tirosina conforman la estructura amorfa de la fibra.

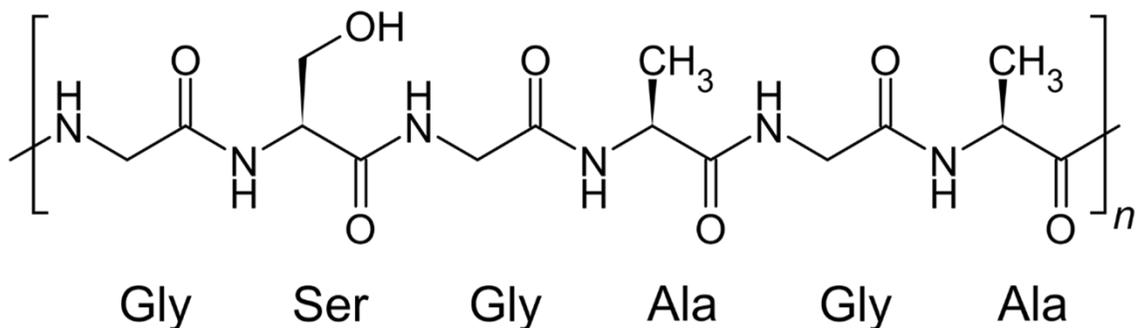


Figura 2. Estructura molecular de la fibroína. Obtenida de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Fibro%C3%ADna#/media/Archivo:Silk_fibroin_primary_structure.svg

Por otro lado, la sericina es un material gomoso que recubre a los dos filamentos de fibroína y los mantiene unidos. Es soluble en agua caliente y una vez disuelta, los filamentos de fibroína se separan para obtener dos fibras de seda.

Los filamentos de fibroína pueden llegar a medir de 90 a 600 metros de largo (IFI, 1995). El diámetro de la fibra varía de entre 9 a 30 μm (Olney, 1947), pero según Joseph (1977) es de entre 9 a 11 μm y Erhardt *et al.* (1980) entre 8 a 15 μm . Las medidas de los dos últimos son más parecidas entre ellas, por lo que probablemente, se refieran a uno de los filamentos de fibroína desgomado, mientras que Olney considera los dos filamentos de fibroína aún unidos por la sericina, ya que es aproximadamente el doble, aunque no lo aclara en su texto.

1.3.2. Características y propiedades físicas de la fibra de seda

La fibra de seda desgomada es altamente lustrosa y brillante debido a su superficie lisa y redondeada. Esto también contribuye a que los textiles de seda sean suaves al tacto. La fibroína es de color blanco a crema y la sericina puede variar del amarillo pálido al gris ya que tiene material colorante. La seda cultivada varía de transparente a blanco (International Fabricare Institute, 1995; Joseph, 1977; Olney, 1947).

La seda es una de las fibras más resistentes para hacer telas y según el IFI (1995), es la más resistente de las fibras naturales. Tiene alta tenacidad o resistencia a la ruptura, mayor comparada con la fibra de algodón, alcanzando a resistir entre 5 a 28 gramos de peso antes de su ruptura (Olney, 1947). De acuerdo con Joseph (1977), tiene una tenacidad en seco de 2.4 a 5.1 g/d y de 3.5 a 5 g/d según Hollen (2008). En húmedo su resistencia disminuye, siendo del 80 al 85% de su resistencia en seco (Joseph, 1977), constatado por el IFI (1995) al indicar la pérdida del 15 al 25% de su fuerza en húmedo.

La característica de alta resistencia mecánica, así como resistencia a agentes químicos se debe a la abundante cantidad de zonas cristalinas estabilizadas por enlaces de hidrógeno de la fibroína (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

La fibra de seda se puede estirar aproximadamente 20% de su longitud original y regresar casi por completo a su longitud inicial (IFI, 1995; Olney, 1947). Joseph (1977) clasifica su elasticidad como buena y con elongación moderada ya que cuando la fibra está seca, su elongación varía de 10 a 25% y en húmedo alcanza de 33 a 35%. La misma autora menciona que al estirar la seda al 2% de su

dimensión inicial, se recupera un 92% a la dimensión original. Sin embargo, Tímár-Balázszy e Eastop (1998), coincidiendo con Hollen (2008), mencionan que al estirarse un 2%, la fibra no recupera su dimensión inicial ya que el acomodo molecular de las cadenas de proteína ya se encuentra completamente extendido. A pesar de lo anterior, la seda es más elástica que la fibra de algodón.

Ya que la fibroína es un tubo sólido, no absorbe humedad por capilaridad como lo hace el algodón. Sin embargo, debido al acomodo molecular amorfo, el agua puede penetrar fácilmente a la fibra, así como otras sustancias líquidas (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Puede absorber hasta 30% de HR según Olney (1947), de 25 a 35% en un clima normal según Joseph (1977) y 11% a en un clima de 65% de HR y 21°C (IFI, 1995). Por esta capacidad de absorción, la fibra de seda se expone a la degradación ocasionada por la acumulación de sustancias disueltas, impurezas o sales metálicas, que la contaminan y debilitan hasta el punto de causar rupturas (Brick, 1954; Hollen, 2002; Joseph, 1977).

1.3.3. Características y propiedades químicas de la fibra de seda

Para entender el pH de la fibra de seda y su comportamiento ante diferentes pH, es necesario conocer el carácter anfotérico de los aminoácidos y el punto isoeléctrico. Los aminoácidos se conforman de diferentes grupos funcionales que llegan a tener un carácter químico opuesto, por lo que los aminoácidos tienen un carácter anfotérico, es decir, dual básico-ácido (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Lenz del Río explica que “en disolución acuosa los aminoácidos se comportan como bases frente a los ácidos y como ácidos frente a bases” (1969, p. 252). Esto quiere decir que, a cierto pH, el carácter anfotérico entra a un “punto donde la disolución es eléctricamente neutra” (Lenz del Río, 1969, p. 253), un punto de equilibrio llamado punto isoeléctrico. La región isoeléctrica de la fibra de seda, donde permanece estable, es en un intervalo de pH 3 a 7 (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998) o hasta pH 10 según Brick (1954) quien menciona que arriba de pH 11 y debajo de pH 3, su estabilidad decrece rápidamente.

Hollen (2008) y Joseph (1977) mencionan que la fibra de seda resiste ácidos diluidos y ácidos orgánicos, los cuales se utilizan para acabados industriales textiles,

como el ácido acético en la remoción de manchas (IFI, 1995). Sin embargo, Tímár e Eastop (1998) señalan que los ácidos disueltos provocan la hidrólisis de la fibra, ya que la región amorfa es más propensa al rompimiento de enlaces peptídicos, enlaces de sales y enlaces de hidrógeno. Los ácidos minerales fuertes pueden descomponer a la cadena polimérica de la fibra, llegando a disolverla (IFI, 1995; Joseph, 1977).

El efecto de los álcalis en fibras de seda no es tan marcado como el de los ácidos, pero aun así pueden provocar la ruptura de enlaces peptídicos y la despolimerización lenta de la fibroína. Su efecto es progresivo y se refleja en la falta resistencia a futuro. La fibra de seda se puede disolver en sosa cáustica (NaOH), álcalis débiles como jabón, bórax y amoniaco causan poco o ningún daño a menos que estén en contacto con la fibra por un periodo prolongado (IFI, 1995; Joseph, 1977, Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

Las fibras de seda resisten temperaturas altas pero al exceder los 100°C se empiezan a romper los enlaces de hidrógeno, enlaces peptídicos y de sales (Kiron, 2021). Otros autores mencionan las temperaturas 110°C, 135°C o 140°C (Brick, 1954; Joseph, 1977; Olney, 1947). Brick y Olney coinciden en que, a partir de los 170°C, la fibra se descompone rápidamente, aunque Joseph indica que esto ocurre a partir de 177°C. Al ser una fibra producida de manera natural, sus propiedades y diferencias están ligadas al proceso de producción y tratamiento.

1.4. Alteraciones de las fibras de algodón y seda

La naturaleza de las fibras, que abarca la composición química, morfología, sus propiedades físicas y químicas, interactúan y se modifican con factores externos, como el medio ambiente que las rodea. Los principales agentes ambientales involucrados en las alteraciones de las fibras son la luz, la humedad, la temperatura y la atmósfera, los cuales degradan continua y progresivamente a los materiales. Otros agentes de alteración son procesos realizados a los textiles de fibras naturales a lo largo de su historia de vida y uso por los distintos usuarios. Esto incluye desde el uso cotidiano hasta procesos de conservación-restauración como el lavado, el enjuague, el secado, la exhibición, el resguardo, entre otros.

Se define a las alteraciones como cambios observables y medibles en las fibras textiles ocasionados por reacciones químicas entre su materia y los agentes externos (ambientales o inducidos). En este trabajo, se utilizará el término *alteración* para nombrar aquellas modificaciones que se deban a “la respuesta física [de un material] hacia el medio ambiente” (Appelbaum, 2007, p. 18), diferenciándolo de *deterioro* el cual es “una alteración que se valora negativamente” (Muñoz-Viñas, 2004, p. 106) o un cambio no intencional e indeseable (Appelbaum, 2007). Denominar deterioro a una alteración implica realizar un juicio crítico con base en parámetros escogidos por el equipo de conservación y no se ahondará en ello.

A continuación, se explican las alteraciones de las fibras de algodón y seda provocadas por el envejecimiento natural (factores ambientales) y las generadas a partir del lavado acuoso como proceso de conservación-restauración. Ambos son factores a los que se expusieron las fibras de las probetas textiles durante la fase experimental de la presente investigación.

1.4.1. Alteraciones por envejecimiento natural

Se entiende como envejecimiento natural a “la degradación del material constitutivo al estar en contacto con el medio ambiente (en uno controlado o uno normal) durante un largo tiempo, [y] sucede de forma natural” (Corona, 2012, p. 47).

Las cadenas poliméricas de las fibras de algodón y seda tienen un proceso de oxidación por la acción de la radiación, donde la temperatura y humedad funcionan como catalizadores y medio donde ocurre la reacción.

La degradación de las fibras tiene implicaciones moleculares que se ven reflejadas en cambios irreversibles en la apariencia y en las propiedades físicas de las mismas y, en consecuencia, los tejidos que componen (R. C. González, 1998). Las fibras se debilitan y el punto de ruptura se alcanza con mayor facilidad (Goldthwait & Guthrie, 1954). Estos cambios son distinguibles a simple vista o al microscopio.

A continuación, se describe brevemente el mecanismo mediante el cual cada agente interactúa con las fibras, para comprender el origen y causa de los efectos que podemos observar y medir en las fibras textiles de algodón y seda. Es importante mencionar que no trabajan de manera aislada, sino que en una constante y variada interacción.

a. Radiación

Thomson (1986) describe que la luz es la forma de radiación visible para el ojo humano y existen otros tipos de radiaciones que son invisibles para nuestros ojos pero que también interactúan con la materia. De ahora en adelante se utilizará el término *radiación*, para abarcar la luz visible e invisible para nosotros.

Existen dos teorías que buscan explicar el fenómeno de la luz. Una es a través de longitudes de onda y otra es por partículas llamadas fotones (Beiser, 2003). La radiación se entiende en términos del campo electromagnético en donde la energía electromagnética se libera en forma de onda a través de cuantos o paquetes (Atkins & De Paula, 2006; Thomson, 1998). Los cuantos de energía lumínica se llaman fotones y están relacionados a la longitud de onda de manera inversamente proporcional, es decir, a menor longitud de onda la energía cuántica incrementa y viceversa (Thomson, 1998; Tímár-Balázs & Eastop, 1998).

Beiser (2003) explica que la radiación tiene un carácter dual: viaja o se desplaza como ondas, pero absorbe y cede energía como partícula. Es por eso por lo que al explicar la radiación se habla de la teoría de ondas y la teoría de fotones (teoría

cuántica) y ambas se complementan entre sí. La discusión sobre ambas teorías sale completamente del objetivo de esta tesis, pero para fines de esta investigación se considerará la radiación lumínica como ondas, sin rechazar la teoría cuántica.

El campo electromagnético se divide en regiones dependiendo de las características de la onda: longitud y frecuencia, que va relacionado con el nivel de excitación de los cuántos. A la mitad del espectro se encuentra la región de luz visible para el ojo humano (ver figura 3).

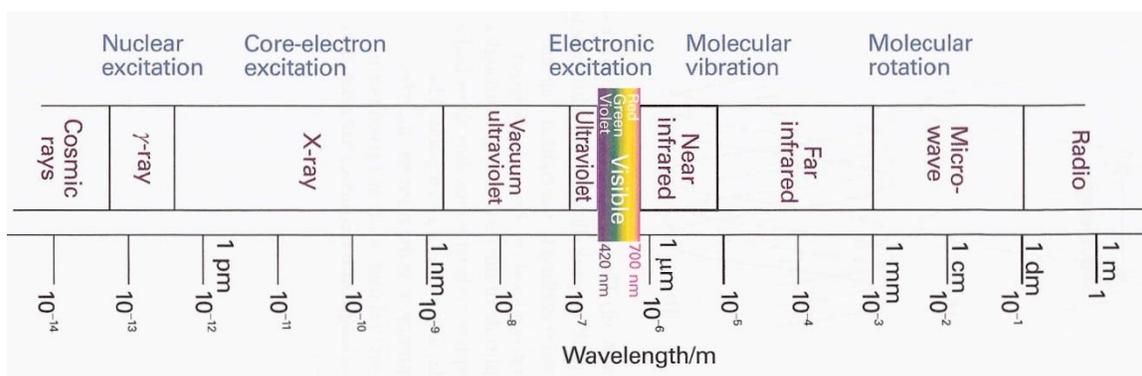


Figura 3. Regiones del campo electromagnético (Atkins & De Paula, 2006, p. 984).

Las regiones relevantes para esta investigación son la ultravioleta (UV), la visible y el infrarrojo (IR). La longitud de onda en estas regiones se mide en nanómetros (nm) siendo: UV de 400-300 nm a menos nm; luz visible de 400 a 760 nm; IR de 760 nm a más (Thomson, 1986, p. 7), (ver figura 4).

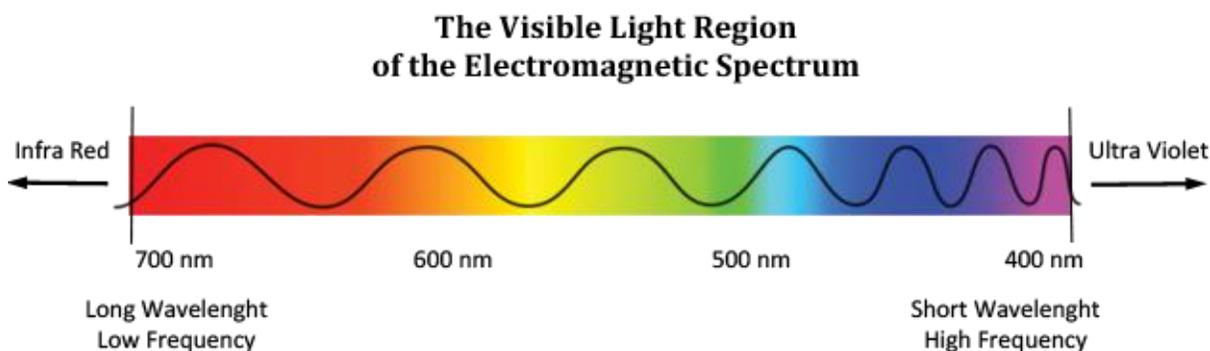


Figura 4. Espectro electromagnético en representación gráfica de la longitud de onda por región. Obtenida de: <https://quintadimensionperuascension.blogspot.com/2015/10/visible-espectro-de-luz.html>

La primera ley de fotoquímica Grotthus-Draper, establece que sólo la radiación que es absorbida por una molécula produce una reacción con cambios efectivos en

dicha molécula. Es decir, la radiación transmitida, dispersada y refractada, no produce cambios en las moléculas. Una reacción fotoquímica es aquella reacción química de átomos o moléculas excitadas por la absorción de radiación de un rango de longitud de onda de 200 nm a 700 nm aproximadamente (Pfoertner, 2012). Esto quiere decir que, dentro del espectro de radiación infrarroja hasta ultravioleta, se provocan reacciones fotoquímicas cuando se absorbe por la materia.

El tipo de reacción dependerá de la energía de la radiación en relación con la longitud de onda: mientras más corta y continua sea, mayor es el impacto y la alteración en la materia que la absorbe (Thomson, 1986). Por otro lado, el autor menciona que es complicado medir cuantitativamente esta relación ya que “cada sustancia tiene una respuesta característica al color [longitud de onda] de la radiación que da sobre ella, absorbiendo unas bandas de onda y reflejando otras, sensible a unas, pero no a otras” (Thomson, 1998, p. 179).

Para las fibras de algodón y seda la radiación UV es la más dañina ya que es absorbida por los enlaces y grupos funcionales de las cadenas poliméricas. Si existe energía suficiente, sucede una reacción fotoquímica llamada fotólisis donde se rompen los polímeros (Thomson, 1998; Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Al romperse la cadena polimérica se da pie a la formación de radicales libres que se enlazan en nuevos reacomodos o con otros compuestos o moléculas de la atmósfera como el oxígeno, lo que inicia la fotooxidación de las fibras (Thomson, 1998). Los efectos de la radiación sobre las fibras de algodón y seda son acumulativos e irreversibles (Corona, 2012).

En las fibras de algodón, la fotooxidación de la celulosa inicia en la zona amorfa de la fibra y se extiende lentamente hacia la zona cristalina. A partir del rompimiento del polímero, los radicales libres se reacomodan y se forman nuevos productos como peróxidos e hidroperóxidos que, a su vez, forman parte de reacciones posteriores (Corona, 2012; Olney, 1947; Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Cuando la celulosa absorbe radiación UV menor a 350 nm, se produce la oxidación de los grupos laterales hidroxilo alcohólico convirtiéndolos en grupos carbonilos, así como la ruptura de enlaces de éter glucosídico (Landi, 1992; Tímár-Balázszy & Eastop,

1998). Cuando incrementan los grupos carbonilo se forma oxixelulosa, una degradación ácida que desprende un olor particular y se puede reconocer por la modificación del color de las fibras hacia un tono amarillo-café. Cuando la celulosa absorbe radiación con longitud de onda mayor a 350 nm (radiación dentro del rango de luz visible), tiene un cambio de color hacia un tono más claro y se acidifica (Landi, 1992; Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

De acuerdo con Tímár e Eastop (1998) y Corona (2012), la seda es la fibra más sensible a la radiación ya que la oxidación afecta al enlace peptídico de la cadena de los aminoácidos triptófano, tirosina y fenilalanina en la región amorfa de la fibra y a los grupos laterales. Estas regiones absorben radiación de longitud de onda entre 250 a 300 nm (UV) y se rompe la cadena molecular. Los radicales libres de los aminoácidos se entrecruzan en la región amorfa de la fibra, lo que provoca mayor rigidez y fragilidad, facilitando el quiebre de la fibra o tejido (Joseph, 1977). Los grupos laterales al oxidarse se convierten en grupos cromóforos y el color de la seda cambia hacia colores amarillo-café o gris-rosáceo (Joseph, 1977; Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

Las reacciones de fotólisis (ruptura de cadenas moleculares y formación de radicales libres) provocadas por la absorción de energía electromagnética se clasifican como reacciones primarias de la fotodegradación de las fibras. Las reacciones secundarias ya no requieren la incidencia de radiación sino de la interacción de los productos formados en las reacciones primarias con la temperatura (Química.es, s/f).

b. *Temperatura*

Según Atkins (2006) el concepto de temperatura se deriva del flujo o transferencia de energía térmica (calor). El flujo de energía térmica puede originarse por la radiación infrarroja sobre la materia. Cuando la radiación térmica (IR) es absorbida por una molécula de fibra de algodón o seda, se distribuye aleatoriamente de tres formas: energía rotacional, energía vibracional y energía de traslación. Al distribuirse aleatoriamente se ocasiona una disparidad en los estados de excitación

de las moléculas, provocando la reactividad y/o descomposición de ciertas regiones de las fibras (Grattan, 1978 citado en Tímár & Eastop, 1998).

Además, el aumento de temperatura funciona como catalizador de las reacciones secundarias de la fotooxidación, las cuales ya no requieren la absorción de radiación electromagnética, sino son reacciones en cadena de un proceso auto catalítico (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Esto quiere decir que un compuesto de una reacción química “induce y controla una reacción química sobre sí mismo” (Universidad de Salamanca, s/f).

En las fibras de celulosa, el aumento de temperatura lleva a cabo reacciones como la condensación entre grupos hidroxilos formando un enlace que elimina agua del polímero (Tímár-Balázszy, 1994), se promueve el entrecruzamiento de las cadenas poliméricas, así como la oxidación térmica de los grupos OH funcionales y su ruptura. Como resultado, las fibras cambian de color a tonos amarillos-cafés, se resecan, se vuelven rígidas y frágiles, y disminuye su resistencia física y su capacidad de enlazarse con agua y volverse a humectar (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

En las fibras de seda también hay una desecación por el aumento de temperatura y la oxidación térmica de los radicales libres. Tímár e Eastop (1998) mencionan que la fibra de seda expuesta a altas temperaturas, que puede ser a partir de los 110°C que Olney (1947) menciona como límite, cambia su color a tonos amarillos. Sin embargo, arriba de 140°C ya hay cambios en las propiedades mecánicas.

c. *Humedad*

Los cambios en la temperatura van de la mano con la humedad, ya que una variación en una suele tener un efecto inversamente proporcional en la otra en ciertos ambientes y contextos. Al hablar de la humedad en relación con las fibras textiles es necesario aclarar el término *humedad relativa* (HR) que ya se ha usado con anterioridad en el capítulo. La HR es la medida de la cantidad de vapor de agua presente en el aire, comparado con la máxima saturación posible a una temperatura

determinada (Callahan et al., 2019; Moyano, 2011). Se cuantifica mediante el porcentaje de saturación de agua en el aire (%).

La humedad, como la temperatura, es un agente que contribuye en las reacciones fotoquímicas secundarias como un catalizador, es decir, promueve y acelera las reacciones (Tímár-Balázsy & Eastop, 1998). La humedad necesaria para catalizar reacciones se puede obtener de la HR o del contacto directo con líquidos o vapor de agua. Sin embargo, no sólo contribuye en reacciones químicas, sino que también genera cambios físicos importantes en las fibras.

La celulosa se relaciona con el agua de tres maneras: agua estructural, agua enlazada y agua excedente (Tímár-Balázsy & Eastop, 1998, p. 23). La primera se refiere al contenido de agua presente en la zona amorfa de la fibra desde su formación, la segunda es la humedad atmosférica o líquida absorbida por capilaridad y la tercera es el exceso de agua líquida. Cuando las fibras textiles se encuentran hidratadas, los polímeros tienen mayor elasticidad a temperatura ambiente, permitiendo que las fibras soporten ciertas tensiones como la elongación y deformación, regresando a su forma inicial.

Según Tímár e Eastop (1998), el deterioro de la celulosa se acelera en condiciones húmedas, estando expuesta a agentes químicos y biológicos, además de que el exceso de humedad provoca el hinchamiento de las fibras. El efecto contrario es el encogimiento de la fibra cuando pierde humedad. El agua enlazada se evapora cuando se eleva la temperatura y/o cuando la HR se encuentra por debajo del 30%. Si el secado se lleva a cabo muy rápido o a altas temperaturas, el encogimiento provocará deformaciones considerables reflejadas en su dimensión y flexibilidad (Thomson, 1998; Tímár-Balázsy & Eastop, 1998). Lo anterior sucede debido a la formación de nuevos enlaces de hidrógeno secundarios, que unen a las cadenas de celulosa entre ellas, provocando que se incremente el porcentaje de región cristalina en la fibra y dificulta o imposibilita la capacidad de hidratarse nuevamente. Esto impide que la fibra recupere su forma original (Tímár-Balázsy & Eastop, 1998).

Las fibras de seda tienen la capacidad de retener gran cantidad de agua estructural debido al alto número de enlaces peptídicos y de grupos funcionales polares. Esta

gran capacidad absorbente, vuelve a la fibra de seda propensa a absorber sustancias y contaminantes disueltos en el agua que pueden incrementar la alteración de las fibras (Brick, 1954).

1.4.2. Alteraciones por lavado acuoso

El lavado acuoso es “un tratamiento de conservación que consiste en sumergir un sustrato textil en un baño de agua, con jabón, detergentes y/o aditivos, generalmente acompañado de acción mecánica para favorecer los resultados del proceso” (Lara, 2018, p. 24). Se considera una operación de limpieza (González-Varas Ibáñez, 2001) que implica un cambio irreversible que puede traer consecuencias positivas o negativas en las fibras y su conservación. Incluso se recomienda realizar la limpieza acuosa sólo en casos absolutamente necesarios (Corona, 2012; Landi, 1992). Los efectos del proceso sobre las fibras van de la mano con la forma en la que se realiza y los materiales empleados como los tensoactivos y las herramientas para ejercer la acción mecánica (C. González, 2010; Magar, 2010; Marín & Méndez, 2013; Philippot, 1996).

A continuación, se describen las etapas que conforman el lavado acuoso para entender su efecto en las alteraciones de las fibras naturales de algodón y seda.

a. Humectación

El agua tiene una doble función durante el lavado acuoso: ser disolvente y el medio donde ocurre el proceso (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Su pureza es un factor crucial durante la limpieza. Landi (1992) seguida por Corona (2012) señalan que el lavado acuoso es efectivo para retirar impurezas de los tejidos debido a que la humedad relaja e hincha las fibras textiles, liberando las partículas incrustadas entre los hilos del tejido. Sin embargo, el cambio dimensional al hincharse durante la humectación y encogerse al secar, pone en riesgo su estabilidad. Tímár & Eastop (1998) recomiendan disminuir la duración del lavado para prevenir el hinchamiento y/o hidrólisis de las fibras, aún más si se encuentran previamente alteradas.

A esto se le agregan los efectos descritos anteriormente, donde la humedad funciona como catalizar de reacciones fotoquímicas secundarias.

b. Acción mecánica

La acción mecánica es vital para remover la suciedad del textil. Puede aplicarse de manera directa sobre las fibras, por agitación del textil dentro del medio acuoso e incluso la agitación de todo el contenedor donde se realiza el lavado (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

La acción mecánica implica siempre la abrasión de la superficie de las fibras. Es por ello por lo que Landi (1992) puntualiza que toda limpieza implica pérdida de fibras en algún grado, aún si se utiliza una herramienta suave como una esponja marina o un cepillo de cerdas suaves. La seda corre el riesgo de modificar o perder su lustre ya que cualquier marca en la superficie de la fibra distorsiona la manera en que se refleja la luz, provocando un reflejo heterogéneo observable una reducción en su brillo o lustre (Olney, 1947).

c. Agentes de limpieza

Para remover la suciedad de manera más eficiente, se sugiere el uso de detergentes o tensoactivos. Tanto las saponinas como el Canasol® son tensoactivos no iónicos, capaces de formar micelas que se enlazan con las partículas de suciedad polar y no polar de un sustrato y se dispersan en el medio acuoso. Dada la extensión del tema, esto se retomará más adelante en el apartado 2. *Tensoactivos: saponinas y Canasol®*.

d. Enjuague

El enjuague es un segundo momento de humectación de las fibras con el objetivo de remover restos de suciedad y tensoactivo del textil. Para ello es necesario desechar el agua del lavado, agregar agua limpia y repetir la acción mecánica para dispersar los materiales no deseados en el medio acuoso (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). Para asegurar la completa remoción de restos y lograr un lavado exitoso podrían realizarse varios enjuagues, repitiendo el proceso siempre desechar el agua del lavado anterior y agregando agua limpia. Esto implica la humectación constante de las fibras y varias etapas de acción mecánica directa, lo que invariablemente representa un momento de estrés en las fibras.

Cuando se utilizan tensoactivos no iónicos durante el lavado es indispensable realizar el enjuague ya que sus moléculas tienen una región polar que suele enlazarse con fuerza a la superficie de las fibras textiles, llegando a dificultar el proceso de removerlos por completo. Tímár & Eastop (1998) señalan que la concentración de tensoactivo en los lavados acuosos suele ser muy baja, por lo que el remanente en el textil será en una concentración casi insignificante. Mientras se mantenga la baja concentración en proporción al agua utilizada durante el lavado acuoso, se reduce la probabilidad de remanentes en la superficie.

Los restos de tensoactivo o suciedad que no se hayan retirado de las fibras textiles atraerán nuevos contaminantes que se depositarán en la superficie del textil. Si esto sucede es necesario repetir el lavado acuoso, lo que vuelve a colocar a las fibras en una situación de estrés por cambios dimensionales y reacciones químicas.

e. Secado

Después del lavado y enjuague acuoso el textil necesita secarse. Se recomienda evitar que el textil permanezca húmedo por tiempo prolongado para evitar el crecimiento de microorganismos y el debilitamiento de las fibras y el tejido. El momento del secado influye en el acomodo de las fibras, de los hilos y la forma que tendrá la tela. Es por eso por lo que Landi (1998) sugiere acomodar el tejido de la tela de forma que la trama y la urdimbre correspondan a líneas rectas y horizontales, perpendiculares entre sí. Este acomodo se tiene que hacer mientras las fibras estén húmedas.

Al secar, las fibras de celulosa suelen adherirse ligeramente entre ellas y a la superficie, lo que promueve que se mantengan planas. En cambio, la seda tiende a curvarse por los bordes de la tela si se estiró demasiado al momento de aplanarla sobre la superficie (Landi, 1998).

Una vez acomodado el tejido, la tela se debe colocar en una superficie lisa y limpia, para evitar dobleces y burbujas de aire que pudieran deformar el tejido. Para evitar una fuente de calor innecesaria, a menos que el caso específico lo requiera, se recomienda dejar secar al aire libre, en un ambiente resguardado.

1.5. Parámetros de conservación para fibras textiles

Se han definido parámetros que buscan preservar a los bienes culturales orgánicos, incluidos los textiles, en un estado de conservación óptimo, enfocados en condiciones ambientales estables durante exposiciones museográficas y el resguardo. Esto se ha definido a partir de investigaciones realizadas en museos.

Durante exposiciones o resguardo de fibras textiles el “control de la humedad es mucho más importante que el de la temperatura” (Thomson, 1998, p. 71) por lo que se recomienda mantener una HR constante sin cambios bruscos ni condiciones extremas (Moyano, 2011).

Thomson (1986) recomienda mantener el siguiente parámetro para evitar alteraciones en las fibras textiles: el límite máximo de HR puede ser 65% pero nunca exceder el 70% ya que podría propiciarse el biodeterioro. El rango mínimo de 40 a 45% de HR evita la deshidratación y quiebre de las fibras. Moyano recomienda una HR del 55% y una temperatura de entre 19 a 24°C resaltando que un factor a considerar es el “compromiso con la presentación al público” (Moyano, 2011, p. 17), ya que los parámetros ambientales en una exposición tienen como objetivos mantener en buen estado al material y propiciar un ambiente cómodo para el usuario. Moyano brinda un rango de fluctuación donde las condiciones pueden variar de +/- 3 a 5%.

Para condiciones de iluminación se recomienda un mínimo de 50 luxes con los cuales hay una mínima incidencia en la materia y se permite su correcta apreciación (Moyano, 2011). Sin embargo, Thomson (1986) señala que 50 luxes es el máximo recomendado para materiales orgánicos sensibles a la luz como son las fibras textiles naturales. Además, el autor brinda una serie de recomendaciones para mediar las necesidades del material expuesto y el público como la limitación de iluminación únicamente durante el horario de visita o iluminar únicamente cuando un espectador se encuentre frente al objeto.

Siguiendo con la iluminación, Thomson (1986) menciona que las lámparas de uso doméstico ordinario (de tungsteno o incandescentes) llegan a emitir más calor que

luz, mencionando que del 100% de electricidad que recorre el filamento de las lámparas de tungsteno, el 94% se convierte en energía térmica, no lumínica. Es por eso por lo que las lámparas LED se utilizan hoy en día en las exposiciones museísticas ya que no emiten calor, se puede regular fácilmente la emisión de luxes y sus múltiples formatos permiten nuevas propuestas museográficas.

Es importante mencionar que las fibras de algodón y seda, aunque se mantengan en condiciones óptimas de almacenamiento, serán alteradas por el oxígeno de la atmósfera en una descomposición gradual, reflejada en la reducción de resistencia, que en cierto punto puede provocar su completa degradación (Joseph, 1977).

2. Tensoactivos: saponinas y Canasol®

2.1. Tensoactivos

Los tensoactivos son compuestos activos en superficie, también llamados surfactantes por la palabra en inglés *surfactant*, que es la contracción de *surface-active agent* (Rosen & Kunjappu, 2012a).

2.1.1. Estructura molecular

La estructura molecular de los tensoactivos consiste en un grupo liofóbico que tiene poca atracción con un solvente y un grupo liofílico fuertemente atraído al solvente (Rosen & Kunjappu, 2012a). En otras palabras, un extremo de la molécula tiene carácter hidrofílico y otro extremo carácter hidrofóbico con afinidad a materiales oleosos. Esta estructura con propiedades activas en superficie con afinidad hacia el agua y lípidos, se denomina anfifílica (Muntaha & Khan, 2015; Novelo & Gracia, 2005; Tímár-Balázszy & Eastop, 1998).

La estructura anfifílica genera que las moléculas se acomoden en la superficie de una disolución con uno de los extremos orientado hacia la interfaz con la atmósfera. Cuando la superficie se encuentra totalmente cubierta, las moléculas anfifílicas dispersas en la disolución se ensamblan entre ellas formando micelas, estructuras formadas por la unión de los grupos polares en forma esférica con el extremo no polar en la parte interior (Knepper & Berna, 2003; Novelo & Gracia, 2005; Samal et al., 2017) (ver figura 5).

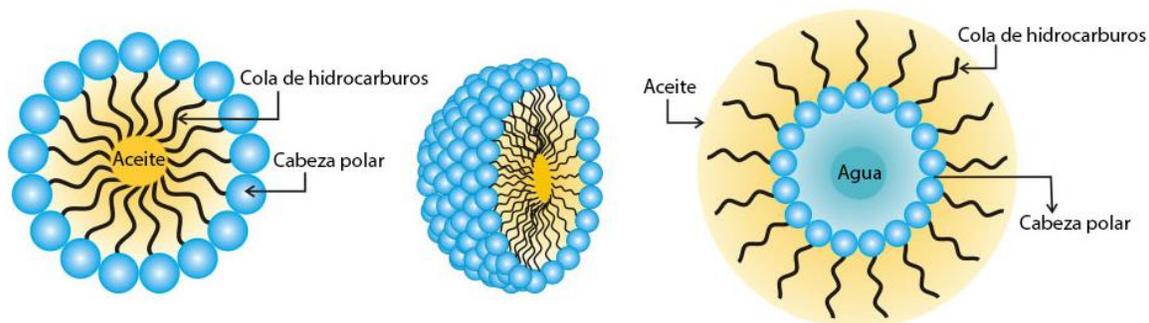


Figura 5. Formación de micelas en distintos medios (Capek, 2019). Traducido y editado por la autora.

Si la disolución fuera no polar, el extremo no polar de las micelas se orientaría hacia el exterior de la formación, llamándose micelas invertidas (Müller, 1994), pero en este caso son de menor tamaño y tienen un comportamiento distinto a las formadas en disoluciones polares (Rosen & Kunjappu, 2012b).

2.1.2. Función dentro del lavado acuoso

La capacidad de formar micelas permite que los tensoactivos, dependiendo su concentración en una disolución, formen emulsiones, se produzca espuma y contribuyan en fenómenos como la solubilización y la detergencia, que es la capacidad de limpiar (Mitra & Dungan, 1997; Myers, 1992; Rosen & Kunjappu, 2012b). Las micelas en el lavado acuoso de textiles, por su capacidad de reducir la tensión superficial, permiten mojar el textil logrando que el agua recorra los intersticios entre las fibras y libere partículas de suciedad, al mismo tiempo emulsiona la suciedad del soporte, la dispersa y suspende en el medio acuoso permitiendo que se elimine al enjuagar. Esto promueve que el proceso del lavado acuoso sea exitoso.

Dentro del grupo de tensoactivos se encuentran sustancias como los jabones y los detergentes, los cuales actúan de manera similar cuando se utilizan con el propósito de limpiar la suciedad de superficies. Sin embargo, se diferencian entre sí por los compuestos que los constituyen. Los jabones son sales derivadas de ácidos grasos solubles en agua. Se obtienen por el proceso de saponificación donde se mezcla una grasa o aceite con un álcali fuerte a alta temperatura. Se pueden agregar aditivos que aporten otras características como color, fragancia, entre otros (Achaw & Danso-Boateng, 2021; Knepper & Berna, 2003). En presencia de agua dura, los jabones forman residuos de sales de calcio insolubles, las cuales pueden depositarse sobre la superficie que se busca limpiar.

Los detergentes son sustancias sintéticas formuladas específicamente para la limpieza, donde se mezclan tensoactivos sintéticos y aditivos que agregan otras características como textura, color, fragancia, cantidad de espuma, suavizantes, brillantadores, entre otros. Los detergentes son menos propensos a formar sales

de calcio en aguas duras y tienen un mejor desempeño de mojado y limpieza que los jabones (Achaw & Danso-Boateng, 2021).

Con lo anterior se entiende que todos los jabones y todos los detergentes son sustancias tensoactivas, pero este grupo abarca más sustancias. Las saponinas son tensoactivos naturales que no se catalogan en ninguno de estos dos grupos mientras que el Canasol® sí es un detergente.

A pesar de que detergente es como se llama a los tensoactivos sintéticos, el término se suele aplicar para nombrar productos que realicen las funciones de remover suciedad de una superficie, dispersar y suspender dicha suciedad en micelas dentro de una disolución (Myers, 1992; Showell, 2006), más allá de si son sintéticos o no. A lo largo de la presente investigación se les llamará tensoactivos tanto a las saponinas como al Canasol®.

2.1.3. Clasificación de tensoactivos

Una clasificación más general de los tensoactivos es la carga y naturaleza del grupo hidrofílico de la molécula. Esto les da distintas características de solubilización en medios polares y no polares. Según Landi (1992) hay tres tipos: aniónicos, catiónicos y no iónicos, pero otros autores agregan los anfotéricos (Achaw & Danso-Boateng, 2021; Knepper & Berna, 2003) también llamados zwitteriónicos (Rosen & Kunjappu, 2012b) (ver figura 6).

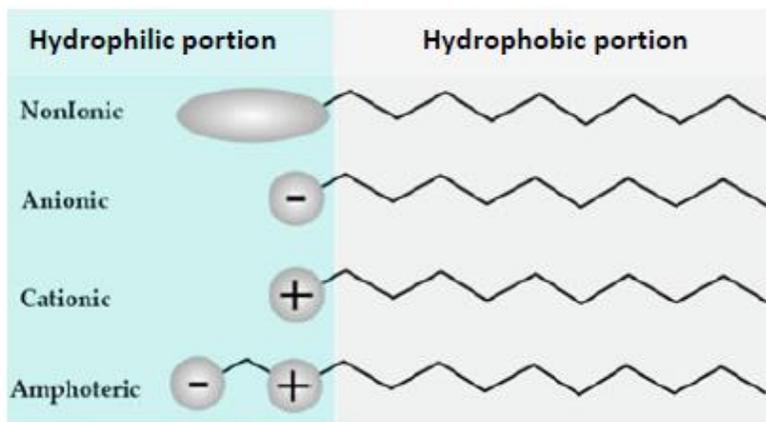


Figura 6. Esquema en inglés de los distintos tipos de surfactantes con distinta carga iónica en el extremo hidrofílico de la molécula (Achaw & Danso-Boateng, 2021, p. 17).

Los tensoactivos no iónicos no tienen una carga iónica aparente en la sección hidrofílica de la molécula, es decir, no tienen carga eléctrica. Son adecuados para usarse como detergentes por ser higroscópicos y solubles en agua por la presencia de grupos funcionales hidrofílicos, además de ser muy eficientes en remover suciedad no polar y no disminuir su poder detergente en agua dura (Achaw & Danso-Boateng, 2021; Knepper & Berna, 2003). Tanto el Canasol®, un tensoactivo sintético, como las saponinas, tensoactivo natural, se clasifican como no iónicos (Negi et al., 2013; Rosen & Kunjappu, 2012a; Tucker et al., 2020).

2.2. Canasol®

El Canasol® es un tensoactivo sintético no iónico perteneciente a la familia del compuesto nonilfenol etoxilado (ver figura 7). Los derivados de la sustancia nonilfenol (NP) o nonilfenol etoxilado (NPEO) representan un 80% de los detergentes presentes en el mercado como productos de limpieza y de aplicación industrial (Knepper & Berna, 2003; PRTR España, 2019). En México, se utiliza ampliamente para procesos de limpieza durante la conservación-restauración de bienes culturales, resaltando el lavado acuoso de bienes textiles (Lara, 2018).

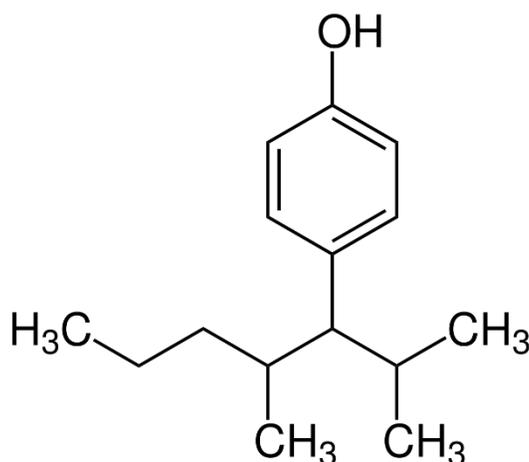


Figura 7. Estructura química del nonilfenol. Obtenida en línea el 5/1/21 en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Nonilfenol>.

2.3. Saponinas

Las saponinas son tensoactivos naturales no iónicos. La palabra saponina se deriva de la palabra en latín *sapo* que significa “jabón” (Liu et al., 2017; Troisi et al., 2014;

Vincken et al., 2007). La región hidrofóbica de la molécula de saponina consiste en un grupo triterpenoide, esteroide o alcaloide-esteroide, mientras que la región hidrofílica consiste en diferentes residuos de sacáridos. Ambas regiones se unen por un enlace glucosídico (Tucker et al., 2020).

Las saponinas son compuestos secundarios presentes en una gran diversidad de plantas y se encuentran en diferentes partes del organismo: desde raíces y tallos hasta hojas, semillas y frutos (Liu et al., 2017; Tucker et al., 2020). Los tensoactivos que se obtienen de una fuente natural ya sean plantas, organismos marinos o procesos metabólicos de hongos y microorganismos, se denominan tensoactivos naturales o biosurfactantes (Liu et al., 2017; Muntaha & Khan, 2015).

2.3.1. Composición química de las saponinas

Su estructura molecular anfifílica le otorga la capacidad de limpiar y permite la formación de espuma estable al agitarse en soluciones acuosas. Por tratarse de un compuesto orgánico proveniente de una extensa variedad de plantas, existen muchos tipos de saponinas con estructuras moleculares diversas, lo que les otorga características biológicas y propiedades fisicoquímicas particulares como el carácter iónico de la molécula y su actividad en superficie (Cheok et al., 2014; Góral & Wojciechowski, 2020; Santini et al., 2019; Tucker et al., 2020). Aunado a esto, la estructura química de las saponinas depende en gran medida y podría modificarse por el método de extracción (Schmitt et al., 2014).

Diversos autores clasifican a las saponinas en el grupo de triterpenos o esteroides, los cuales se diferencian entre sí por las unidades de azúcar en diferentes posiciones de la cadena molecular (Cheok et al., 2014; Góral & Wojciechowski, 2020). Las triterpenoides tienen treinta átomos de carbono mientras que las esteroidales tienen veintisiete (Liu et al., 2017; Vincken et al., 2007) (ver figura 8).

El rol biológico de las saponinas aún no se comprende completamente, pero varios autores las consideran parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, ya que tienen propiedades antimicóticas, insecticidas, antibacteriales

y antivirales (Cheok et al., 2014; Góral & Wojciechowski, 2020; Negi et al., 2013; Troisi et al., 2014; Tucker et al., 2020).

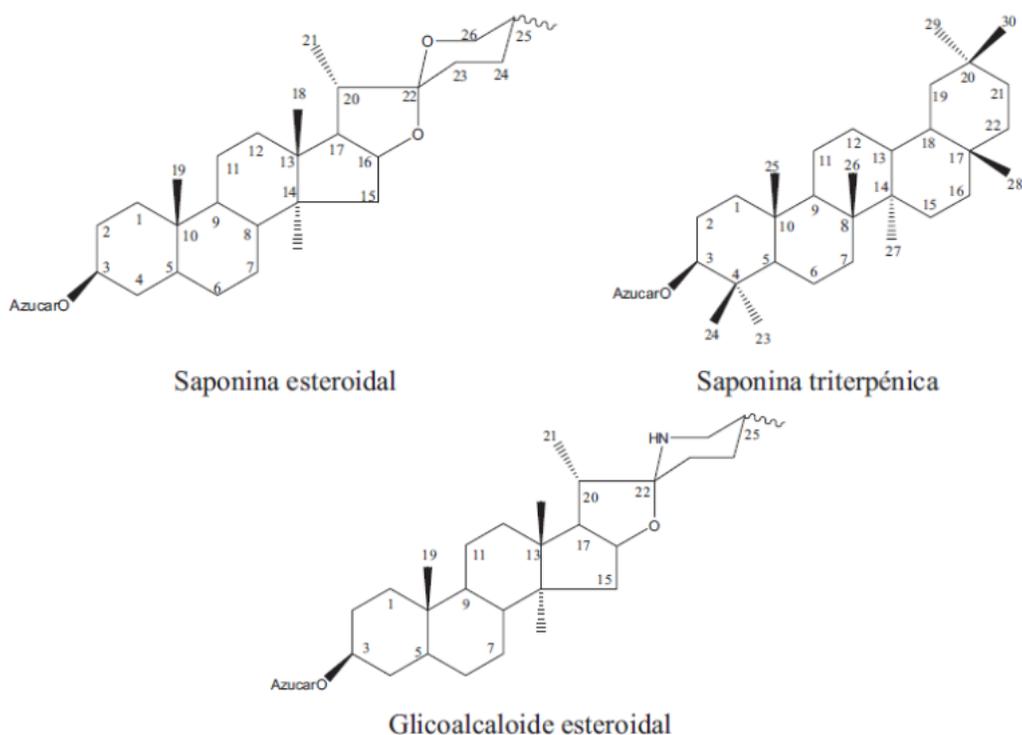


Figura 8. Estructura de distintos tipos de saponinas (Monterrosas Brisson, 2013, p. 11).

2.3.2. Usos de las saponinas

Las plantas con contenido de saponinas se han utilizado como tensoactivos para limpieza y medicina tradicional en varias partes del mundo desde la antigüedad, con evidencia de su uso en México desde la época prehispánica (García-Alonso & Sámano, 2016; Góral & Wojciechowski, 2020; Samal et al., 2017). En años más recientes su uso e investigación se ha extendido a la industria alimenticia, farmacéutica y también para la agricultura. En ésta última se han ocupado como ingrediente natural biopesticida para el control de hongos patógenos o parásitos en cultivos frutales o vegetales, así como potenciadoras de crecimiento al utilizarse como aditivos de suelo (Jiang et al., 2018).

La industria alimenticia aprovecha las saponinas por su capacidad de formar micelas, utilizándolas como aditivo, emulsificante, formador de espuma en bebidas y en procesos de extracción o purificación de alimentos para retirar sabores

indeseables (Liu et al., 2017; Mitra & Dungan, 1997), así como conservador para evitar el crecimiento de microorganismos en alimentos (Cheok et al., 2014). Se ha planteado su uso como fuente de esteroides para humanos y suplemento alimenticio para la engorda de animales de granja como borregos y cerdos (Hernández et al., 2005). En la industria farmacéutica se utilizan en productos comerciales como champú, cosméticos y productos contra el envejecimiento, aprovechando las propiedades antioxidantes, antibacteriales y antimicóticas (Cheok et al., 2014; Liu et al., 2017; Tucker et al., 2020). También se utilizan para la elaboración de antiinflamatorio de cortisona y la posible obtención de estrógeno y progesterona como apoyo en la reducción de colesterol y como tratamiento alternativo contra el cáncer, pero aún no se tienen resultados contundentes al respecto (Hernández et al., 2005).

Otro uso de las saponinas como biosurfactante es la remediación de suelos contaminados. Un problema ambiental reconocido es la contaminación de suelos por metales pesados, compuestos orgánicos hidrofóbicos (HOCs) como residuos de aceites, petróleo y otros derivados de hidrocarburos que además son volátiles y contaminan suelos y cuerpos de agua (Resendiz Vega & García Melo, 2019; Song et al., 2008). Se ha demostrado que las saponinas promueven la remoción de estos compuestos a través de los grupos secundarios de la molécula con alto contenido de oxígeno, los cuales forman quelatos con los metales pesados. La formación de micelas permite remover los compuestos y mejorar la calidad de sustratos (Liu et al., 2017; Muntaha & Khan, 2015). Se han realizado estudios que indican que las saponinas utilizadas como biosurfactante tienen un mejor desempeño que tensoactivos sintéticos, en términos de movilización y retiro de contaminantes oleosos de suelos contaminados (Liu et al., 2017).

2.4. Implicaciones ambientales del uso de tensoactivos

El uso extendido doméstico e industrial de tensoactivos sintéticos es un problema ambiental serio debido a dos factores: su permanencia en el ambiente por el lento proceso de degradación y el mal manejo de aguas residuales. Esto último ocasiona que se dispersen en cuerpos de agua y suelos (Muntaha & Khan, 2015; Samal et al., 2017). Cuando los NP, familia a la que pertenece el Canasol®, se liberan en cuerpos de agua, permanecen en las interfaces del medio, es decir, entre la superficie del agua y la atmósfera o entre los sedimentos y el agua, significando un riesgo para organismos acuáticos incluidas especies animales y vegetales.

La exposición prolongada a NP induce la oxidación celular y altera la permeabilidad de la membrana celular que lleva a una alteración del balance iónico de las células y la desnaturalización de cadenas de proteína (Knepper & Berna, 2003; Samal et al., 2017). También se inhibe la capacidad de auto filtración del sistema respiratorio de organismos acuáticos (Muntaha & Khan, 2015). Varios investigadores coinciden en que tienen la capacidad de reconocer, imitar, cambiar o bloquear hormonas, lo que altera al sistema endócrino, afectando la salud general de los organismos y su capacidad reproductiva. Esto impacta en el desarrollo de distintos organismos marinos como algas, invertebrados, algunas especies de peces, e incluso se ha reportado su incidencia en humanos. Estos efectos son de larga duración y acumulativos, por lo que provocan la bioacumulación (European Chemicals Agency, 2019; Knepper & Berna, 2003; Olea et al., 2003; PRTR España, 2019).

La bioacumulación o bioconcentración es un proceso en el que un organismo acumula una sustancia por la exposición continua a ésta, ya sea por su presencia en el medio que lo rodea o por la ingesta de alimentos contaminados por dicha sustancia. En el caso de los NF, su capacidad de permanecer en interfaces y asociarse en las membranas celulares permite su permanencia entre el organismo y su medio (Sáez et al., 2003). Aunque no se ha confirmado, existe el planteamiento de que la sección hidrofóbica de la molécula de NP podría formar enlaces en la interface del tejido adiposo del organismo de humanos y animales y bioacumularse por un tiempo indefinido (Olea et al., 2003).

Cuando los NP alcanzan la degradación ambiental, forman metabolitos indeseables que son aún más resistentes a la degradación (Knepper & Berna, 2003; Olea et al., 2003). Debido a su persistencia y toxicidad, muchos países han reducido su utilización y se han creado nuevas regulaciones legales para ciertos sectores de la industria sobre prohibiciones de uso y consideraciones sobre el tratamiento de los residuos contaminados. Sin embargo, su efectividad y el bajo costo de producción evitan que se sustituyan por alternativas más amigables con el medio ambiente o que salgan completamente del mercado (Knepper & Berna, 2003; Samal et al., 2017; Santini et al., 2019).

Con el aumento de la conciencia medioambiental en la sociedad, nuevas tendencias ambientalistas impulsan a los consumidores a cuestionar prácticas que dañan al medio ambiente y a pedir productos menos contaminantes. La conciencia ambiental en el ámbito de la conservación-restauración es un tema que ha iniciado un diálogo entre profesionales. Por ejemplo, la organización internacional SiC, perteneciente al IIC, brinda un espacio que inspira a conservadores a ser más creativos con la búsqueda de soluciones responsables con el medio ambiente a problemas de conservación de bienes culturales (Southwick, 2019).

La búsqueda de alternativas que sean funcionales para cumplir los objetivos de conservación de los bienes culturales, además de tener baja toxicidad para los usuarios y no sean un riesgo para el medio ambiente, amplía el horizonte y la visión de la conservación. Un caso aplicado de esta práctica reflexiva es la discontinuación del uso de la tiourea durante el proceso de limpieza de bienes de plata (Contreras, 2010).

Dentro de la búsqueda de alternativas que impliquen un menor riesgo ambiental se encuentran los biosurfactantes como las saponinas, sustancias naturales con un desempeño equivalente a tensoactivos sintéticos en términos de distribución y estabilidad de micelas. Además, son poco sensibles a sales, tienen la posibilidad de utilizarse en soluciones con distintos pH y tienen un bajo cmc que permite que con poca cantidad de saponinas en una disolución se obtenga un tensoactivo funcional (Liu et al., 2017; Samal et al., 2017; Santini et al., 2019).

Sin embargo, es importante resaltar que el potencial como biosurfactante de muchas plantas permanece inexplorado. No se tiene información detallada de los contenidos de las diferentes plantas, la composición de los distintos tipos de saponinas, de sus características particulares ni sus efectos o toxicidad (Góral & Wojciechowski, 2020; Jiang et al., 2018). Aún hay problemáticas y dudas técnicas a resolver para que las saponinas puedan alcanzar un uso comercial extendido, ya que “el aprovechamiento óptimo y persistente de un recurso natural renovable (...) refiriéndose al agave lechuguilla], requiere que se conozca con detalle tanto la especie como el ambiente en que se desarrolla” (Reyes et al., 2000, p. 86).

A pesar de lo anterior, no cabe duda de que las saponinas son una alternativa prometedora para un nuevo tensoactivo biodegradable y renovable (Schmitt et al., 2014). Los autores Jiang *et al.* mencionan que los materiales ricos en saponinas son generalmente residuos biodegradables llamados productos *bio-waste*, palabra en inglés que es la contracción de *biodegradable waste*, los cuales tienen un alto potencial de reutilización (Jiang et al., 2018, p. 416). La CE ha definido el término como se muestra a continuación en el idioma original para no perder conceptos en la traducción. Al pie de página se encuentra la traducción realizada por la autora.

Bio-waste is defined as biodegradable garden and park waste, food and kitchen waste from households, restaurants, caterers and retail premises, and comparable waste from food processing plants. It does not include forestry or agricultural residues, manure, sewage sludge, or other biodegradable waste such as natural textiles, paper, or processed wood. It also excludes those by-products of food production that never become waste³ (European Commission, 2019).

Según esta definición, el residuo de saponinas puede o no incluirse, dependiendo de la industria que lo produzca y con qué fin. Por otro lado, la EUBIA hace la aclaración que otros desechos de origen orgánico como fibras naturales (madera,

³ Bio-residuo se define como residuos biodegradables de jardín y parques, residuos de comida y cocina domésticos, restaurantes, proveedores y locales comerciales, y desechos comparables de plantas procesadoras de alimentos. No incluye residuos forestales o agrícolas, estiércol, lodos de depuradora u otros desechos biodegradables como textiles naturales, papel o madera procesada. También excluye aquellos subproductos de la producción de alimentos que nunca se convierten en desperdicio. Traducción por la autora.

papel, textiles, etc.), también son residuos biodegradables, aunque no entren en la clasificación de *bio-waste* (European Biomass Industry Association, 2020).

Ya que el objetivo de la tesis no es clasificar a las saponinas y sus residuos, la discusión sobre si es o no *bio-waste* permanece abierta. Sin embargo, su origen natural implica menor toxicidad de los residuos. Por una parte, los residuos de materia orgánica pueden aprovecharse como composta, asegurando la pronta reintegración de las fibras a la tierra y su reutilización. Por otra parte, las aguas residuales con saponinas son menos tóxicas que aquellas con presencia de tensoactivos sintéticos con grupos funcionales fenol (Canasol®) y tienen un bajo riesgo ambiental. El origen orgánico de las saponinas las hace biocompatibles al adaptarse ecológicamente, es un recurso renovable y además tienen el potencial para utilizarse en aplicaciones medioambientales como se mencionó anteriormente sobre la recuperación de suelos (Liu et al., 2017; Muntaha & Khan, 2015; Samal et al., 2017; Schmitt et al., 2014).

La experimentación y los resultados obtenidos en esta investigación forman parte de un estudio en búsqueda de alternativas que sustituyan prácticas y sustancias que afectan al medio ambiente en muchos ámbitos, y que sigan siendo útiles en la conservación-restauración de bienes culturales.

3. Técnicas analíticas

En la fase experimental se utilizaron tres técnicas analíticas para medir las propiedades físicas de las probetas textiles de fibras de algodón y de seda después del lavado acuoso con tensoactivos de saponinas y Canasol®. Estas técnicas son la colorimetría, la medición de pH y la medición de resistencia mecánica.

3.1. Colorimetría

La CIE es una organización independiente, profesional y sin fines de lucro, aceptada como la mejor autoridad en temas sobre la ciencia y arte de la luz, la iluminación, el color, la visión y la tecnología de la imagen, entre otros (CIE, 2020).

Para “comunicar y expresar el color objetivamente”, la CIE definió *espacios de color* o “métodos para expresar el color de un objeto usando algún tipo de anotación, como pueden ser los números”. Uno de esos espacios de color es $L^*a^*b^*$, también llamado CIELab (Datacolor, 2020; Konica Minolta, s/f).

L^* = luminosidad,

a^* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde),

b^* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul) (Konica Minolta, s/a).

A partir de un sistema de coordenadas tridimensionales, donde cada una tiene una escala de 0.00 al 100.00, se ubica el valor visual de un color en un valor numérico replicable y reproducible. La siguiente figura es una representación de esta tridimensionalidad (ver figura 9).

El colorímetro es un equipo que permite medir los valores $L^*a^*b^*$ de una superficie. Estos datos pueden compararse entre sí para notar diferencias.

Las diferencias entre las mediciones de color se indican con Delta (Δ) por lo que cada eje se llama ΔL^* , Δa^* y Δb^* pudiendo ser positivo (+) o negativo (-).

La diferencia total es ΔE^* la cual siempre es positiva (+) (Konica Minolta, s/f; Quantotec, s/f). La diferencia total se obtiene con la fórmula de diferencia de color CIE2000 (Datacolor, 2020; Gargano et al., 2017; Luo et al., 2001; Sharma et al., 2005) que se muestra a continuación:

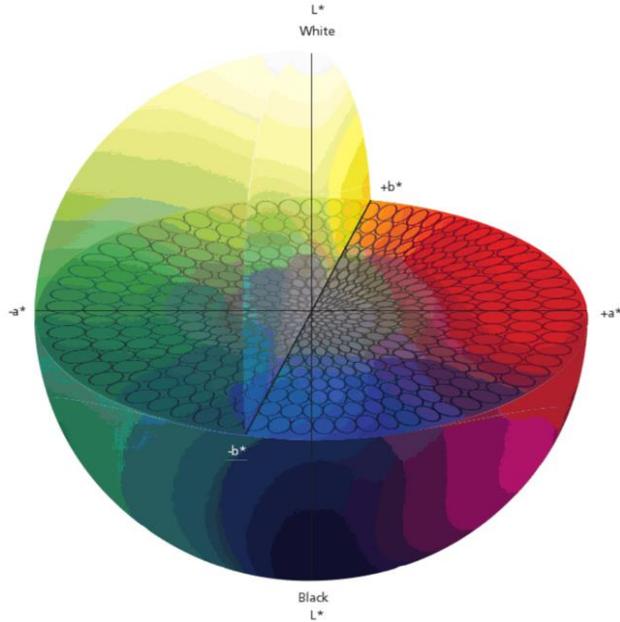


Figura 9. Representación tridimensional de las coordenadas del espacio de color $L^*a^*b^*$ (Mondelo, 2018).

$$\Delta E = \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (L_1 - L_2)^2}$$

3.2. Medición de pH

La acidez de una disolución acuosa depende de la presencia de iones de hidrógeno (Kolb, 1979), lo que se expresa como potencial de hidrógeno (pH) de una disolución. A partir de la teoría desarrollada por Sørensen en 1909 (Science History Institute, 2018), se definió una escala de pH utilizando la fórmula:

$$pH = -\log (H^+)$$

Sin embargo, se han hecho anotaciones y adecuaciones a su uso, llegando a una fórmula más precisa que toma en cuenta la actividad del ion de hidrógeno (Kolb, 1979).

$$pH = -\log \alpha_{H^+}$$

Se estableció la escala de pH, lo que permitió que los valores de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) disueltos, que suelen ser de más de 5 ceros a la izquierda, se expresen con un valor positivo y de manera más compacta y útil

(MacInnes, 1951). La escala es del 0 al 14, siendo ácido del 0 al 6, 7 neutral y básico del 8 al 14.

El pH de una sustancia se puede conocer mediante dos métodos estandarizados: las tiras reactivas como indicadores de color o un equipo llamado potenciómetro, también conocido como pHímetro por el término *pH-meter* en inglés, que consiste en una celda electroquímica donde un electrodo de vidrio se combina con un lector digital y mide el pH de una superficie plana. Para validar la medición, se debe calibrar con *buffers* o sustancias de pH conocido (Kolb, 1979).

3.3. Resistencia a la tensión

Esta prueba se llevó a cabo en la micro máquina elaborada por Lic. Germaín Castro como parte de su tesis de licenciatura, siguiendo especificaciones de la norma (ASTM D 3822-07, 2007) para las pruebas de tensión textil de los hilos. La máquina es “un prototipo de TGA basado en el empleo de sensores de deformación aplicados a la medición de fuerzas” (Castro, 2012, p. 35).

Los datos obtenidos en la máquina se procesaron en un “software desarrollado bajo el esquema LabView” (Castro, 2012, p. 37), lo que permite exportar los datos obtenidos a un archivo Excel y manejarlos posteriormente. Aunque el diseño original de Castro incluye un horno en el que se someten las muestras, la máquina se ha adaptado para medir únicamente la resistencia del hilo ante una fuerza de tensión.

La propiedad de tensión de las fibras es el comportamiento de estas ante fuerzas y deformaciones aplicadas a lo largo del eje de la fibra, donde en un primer momento hay una elongación y finaliza en el quiebre (Morton & Hearle, 2008a).

CAPÍTULO II.

Metodología de la experimentación

A continuación, se definen términos clave empleados durante la experimentación.

El término *probeta* se utiliza como material de prueba, en este caso textiles de fibra de algodón y seda, sometidas a diferentes estudios para analizar su comportamiento, incluido el envejecimiento acelerado en laboratorio.

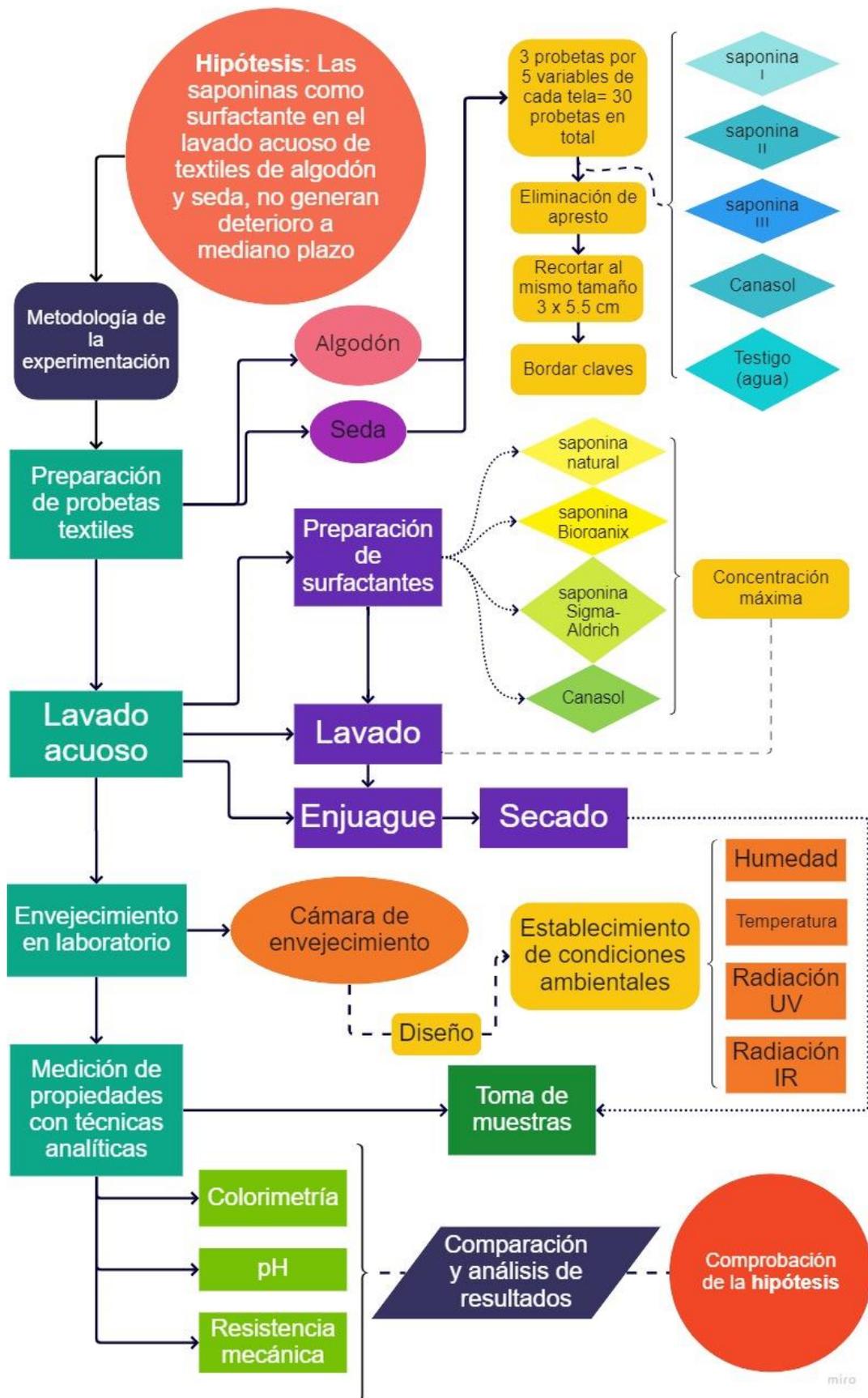
Como se mencionó en el capítulo anterior, el *envejecimiento* es la degradación de un material al estar expuesto a condiciones medioambientales por un periodo de tiempo determinado (Corona, 2012). Por lo tanto, el *envejecimiento en laboratorio* pretende una degradación lograda a través de condiciones ambientales establecidas y controladas, tales como humedad, temperatura y radiación, utilizando equipos, lámparas y materiales dentro de un laboratorio.

Las *variables de lavado* son los distintos lavados acuosos realizados con los tensoactivos analizados durante la investigación: tres saponinas distintas y el Canasol®, así como el lavado sin tensoactivo para la probeta de referencia.

Las etapas de la experimentación se dividen en cuatro:

- *Preparación de probetas textiles,*
- *Lavado acuoso,*
- *Envejecimiento en laboratorio, y*
- *Medición de propiedades físicas con técnicas analíticas.*

A continuación, se presenta un diagrama de flujo con los pasos seguidos durante la experimentación de esta tesis.



4. Preparación de las probetas textiles de algodón y seda

Para la elaboración de las probetas se utilizó tela de algodón y tela de seda, cerciorando que cada una estuviera compuesta al 100% de dichas fibras mediante la observación al microscopio. Una mezcla de distintas fibras (ej. poliéster) hubiera implicado una variable indeseada en la experimentación que podría alterar el comportamiento de las saponinas y con ello, afectar la comprobación de la hipótesis planteada.

Se utilizó tela de algodón sin mercerizar de tejido tafetán, con una densidad de 24 hilos de urdimbre por 32 hilos de trama en 1 cm². El hilo de urdimbre junto con el hilo de trama tiene un cabo con torsión en “Z”. La tela de seda es un tejido en tafetán con una densidad de 45 hilos de urdimbre por 60 hilos de trama en 1 cm². El hilo de urdimbre es de un cabo con torsión en “S”, al igual que el hilo de trama.

Cada tela se enjuagó por separado dos veces en agua destilada tibia para asegurar la eliminación de materiales añadidos como el apresto o engomado que pudieran alterar la experimentación. Se dejaron secar sobre una superficie plana con vidrios como pesos en las orillas para evitar la deformación durante el secado.

Cada probeta es un rectángulo de tela de 3 cm de alto por 5.5 cm de largo. Son treinta probetas en total, quince de algodón y quince de seda. Se realizaron tres probetas de cada tela por cada una de las cinco variables del lavado: los tensoactivos de saponina I, II y III, Canasol® y el lavado sin tensoactivo que funciona como testigo o material de referencia durante el análisis de resultados (ASTM G 151-00, 2000).

Al momento de trazar y recortar los rectángulos de cada tela, se mantuvieron unidas tres probetas para realizar el lavado acuoso y se separaron ya secas antes de meterlas a la cámara de envejecimiento (ver figura 10).

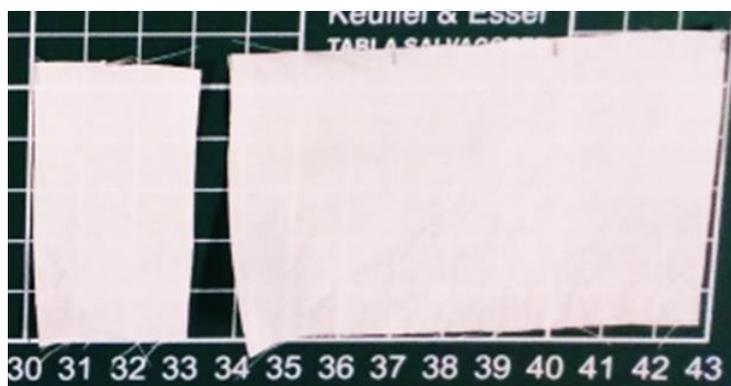


Figura 10. Probetas de algodón sin separar para llevar a cabo el lavado acuoso de manera eficiente.

Para diferenciar cada una de las treinta probetas se establecieron claves que indican el tipo de fibra, el tipo de tensoactivo utilizado durante el lavado y el número de probeta. La clave de cada probeta se bordó en la esquina inferior izquierda de cada una con hilo blanco de poliéster (ver figura 11).

Tabla 1. Claves para la identificación de probetas									
Tela		TENSOACTIVOS					No. de probeta		
		Saponinas			Canasol®	Testigo	1	2	3
		Sigma-Aldrich®	Biorganix®	Fibras de agave lechuguilla					
Algodón	•	—	—	—	∖	X	I	II	III
Seda	/	—	—	—	∖	X	I	II	III



Figura 11. Detalle de la clave de identificación bordada con hilo blanco identificando a la probeta 3 de algodón lavada con saponinas Sigma-Aldrich®.

5. Lavado acuoso

5.1. Preparación de tensoactivos

Durante la experimentación se analizaron tres saponinas, tensoactivos naturales obtenidos de plantas, y el tensoactivo sintético Canasol® distribuido por Opciones Químico-Tecnológicas S.A. de C.V.

Las tres saponinas se diferencian entre sí por su grado de purificación. La primera se obtuvo directamente de fibras naturales de agave lechuguilla marca CHAHIN, provenientes de Hidalgo, México. Las segundas saponinas utilizadas son la Biotika®Saponin-L de Biorganix® evaluada por Lara en 2018, la cual tiene un mayor procesamiento que la primera, sin estar purificada. Por último, la saponina *Saponin84510* distribuida por el grupo Sigma-Aldrich® (ahora Merck®). En el anexo 16.1.1 se describen más detalles de cada saponina y en el anexo 16.2 se agregan las fichas técnicas y hojas de seguridad.

5.1.1. Saponinas de fibras naturales de agave lechuguilla

a. Concentración en disolución

Según la etiqueta, el productor recomienda utilizar todo el contenido de la bolsa de 200 gramos en 5 litros de agua para utilizar la disolución en el lavado de pisos y telas (ver figura 12). Para fines de la experimentación, la primera disolución se preparó más concentrada.



Figura 12. Paquete de "Shishi. Jabón natural prehispánico vegetal, biodegradable" de la productora CHAHIN.

La concentración recomendada por el fabricante: 200 g en 5 L de agua, se preparó 2.5 veces más concentrada y con menos cantidad de material. Se utilizaron 100 gramos de fibra de agave lechuguilla en un litro de agua destilada.

Se debe tomar en cuenta que, al tratarse de un producto natural con un método de extracción sencillo, se asume que la disolución contiene otros componentes además de saponinas como pueden ser colorantes, sales, aceites esenciales, taninos, entre otros (Lara, 2018).

b. Preparación del surfactante.

Los 100 gramos de fibras de agave lechuguilla se pesaron en una balanza granataria en el Laboratorio de Enseñanza de la ENCRyM (ver figura 13a). Aunque la etiqueta sólo indica agregar la fibra en agua y dejar reposar, se utilizó agua hirviendo para extraer mayor cantidad de saponinas de la planta en menor tiempo. Las fibras se mantuvieron en el agua hirviendo por veinte minutos, removiendo constantemente (ver figura 13b). Esto se realizó por recomendación de la directora de tesis Lilian García-Alonso y su experiencia previa en la utilización y experimentación con saponinas, ya que hervir la disolución promueve una mejor extracción y disolución de las saponinas en un menor volumen de agua.

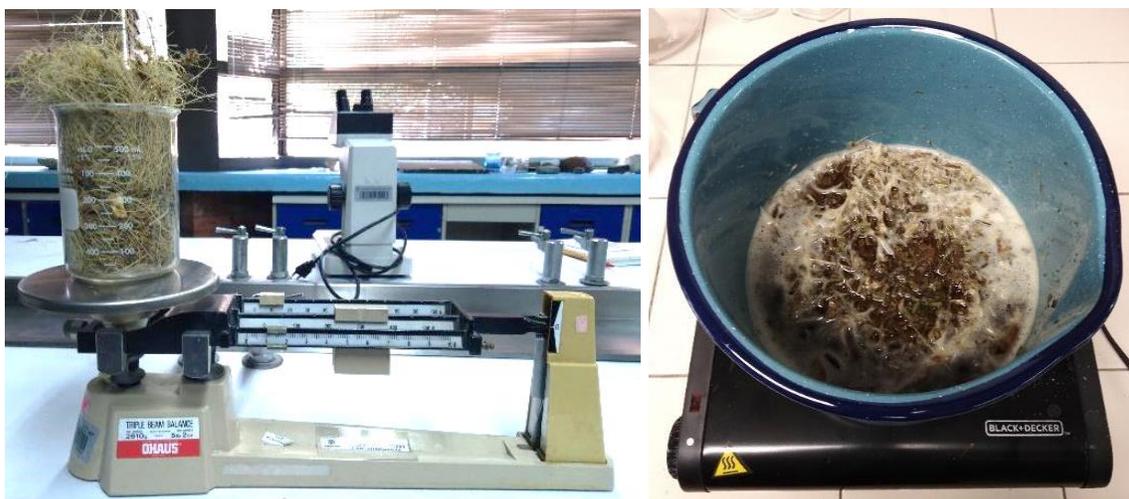


Figura 13. a. Utilización de balanza granataria para pesar las fibras de agave lechuguilla. Laboratorio de Enseñanza- ENCRyM. b. Fibras de agave en la disolución hirviendo para extraer las saponinas.

Después, la disolución se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró dos veces con un colador sintético cubierto de tela de nylon para cerrar el tejido (ver figura 14a). Se realizó una segunda filtración con papel filtro para retirar el material insoluble (ver figura 14b).



Figura 14. a. Disolución obtenida después de la primera filtración. b. Segunda filtración a través de papel filtro.

La disolución obtenida, realizada con 100 gramos de fibra de lechuguilla en un litro de agua, se consideró la disolución más saturada de donde partió la experimentación en búsqueda de la concentración adecuada a utilizar durante la fase del lavado acuoso de probetas. Para partir de una base medible que permitiera realizar las siguientes disoluciones, se consideró que las saponinas componían el 10% de la disolución en 1 L de agua destilada V/V.

Cabe mencionar que el uso de la disolución tensoactiva, desde su extracción hasta el lavado acuoso de las probetas textiles, se realizó en menos de una semana. Al tratarse de un producto orgánico, no se puede conservar por mucho tiempo sin que empiece su descomposición. Dentro de los cinco días en los que se ocupó, se mantuvo en refrigeración en el Laboratorio de Enseñanza de la ENCRyM.

5.1.2. *Biotika*®*Saponin-L* de Biorganix®

Para la preparación de las saponinas marca Biorganix®, se empleó el mismo método realizado por Lara (2018). Primero, el producto vaciado del empaque se trituró en un mortero de cerámica hasta obtener cristales de un tamaño homogéneo (ver figura 15). Esto se realizó para promover una mejor y más rápida disolución de las saponinas en el agua destilada a temperatura ambiente.

Los cristales se disolvieron en agua destilada a temperatura ambiente en un vaso de precipitados, moviendo constantemente con un agitador de vidrio y realizando ligera presión al fondo del vaso para triturar cualquier material sólido e integrarlo por completo. Se preparó una disolución de 2% de saponinas de Biorganix® en agua destilada M/V, como lo indica la metodología (cfr. Lara, 2018).

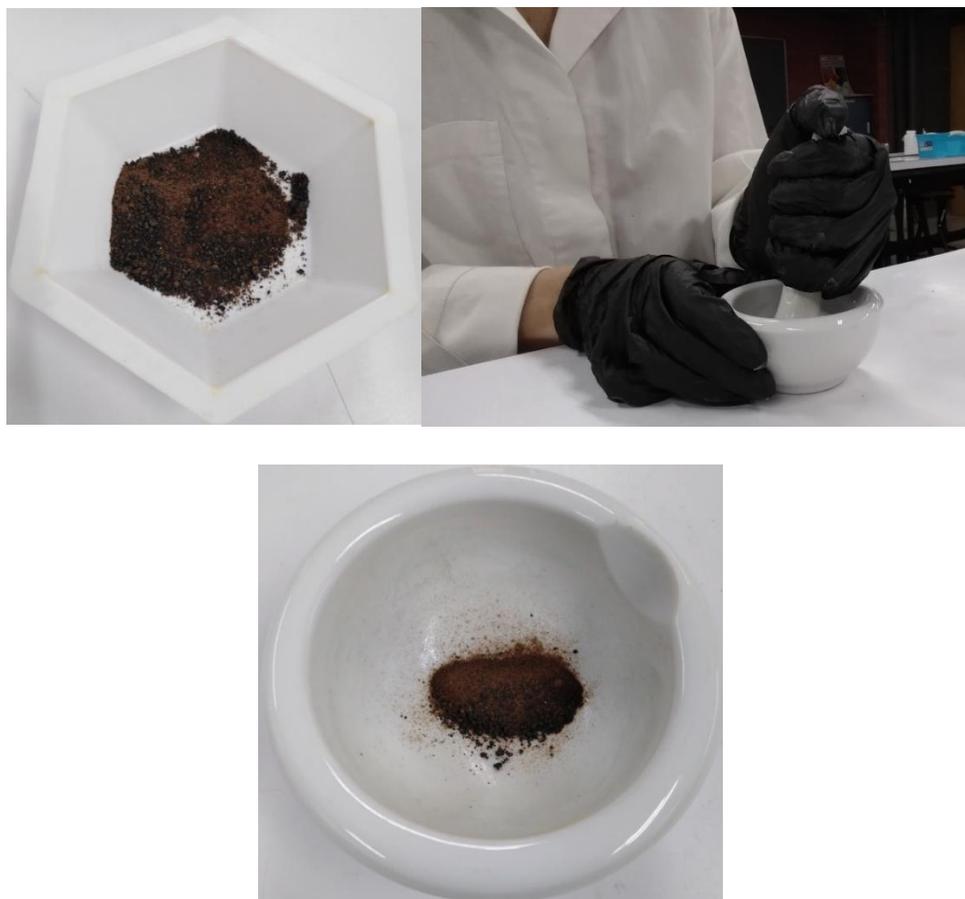


Figura 15. a. Saponina marca Biorganix® antes de ser triturada. Se observan granos de distintos tamaños. b. Proceso de trituración de la saponina Biorganix® en mortero de cerámica. Laboratorio de Enseñanza-ENCRyM. c. Saponina Biorganix® después de la trituración se observa como un polvo homogéneo.

5.1.3. Saponin84510 de Sigma-Aldrich® (ahora Merck®)

Su preparación consistió en pesar el producto necesario para preparar una disolución inicial de 2% de saponinas en 100 mL de agua destilada M/V a temperatura ambiente. Se utilizó esta concentración para obtener una disolución inicial que se utilizó como base para obtener los valores de concentración máxima (ver figura 16a).

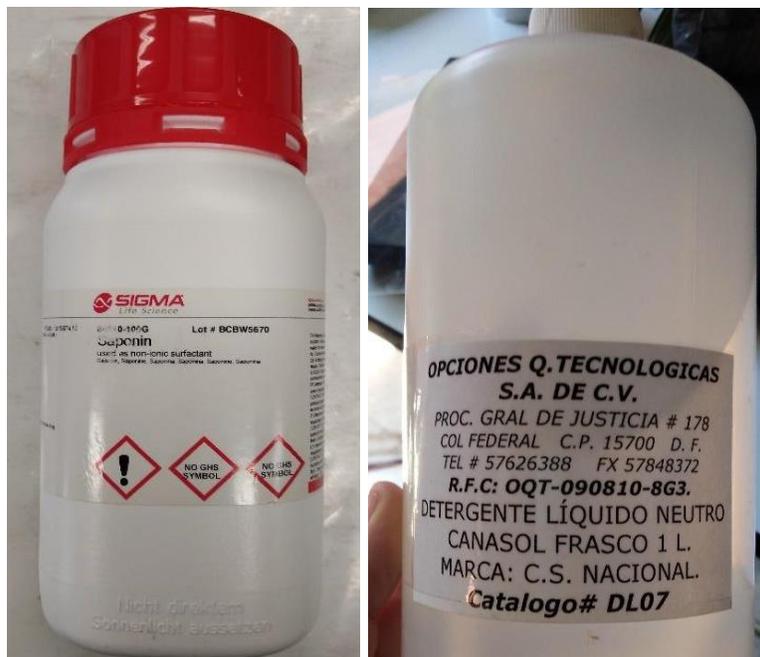


Figura 16. a. Envase de saponina Sigma-Aldrich®. b. Envase de Canasol®.

5.1.4. Canasol®

El Canasol® utilizado para la experimentación es de origen una concentración del 100% (ver figura 16b). Igual que las saponinas *Biotika®Saponin-L*, Lara (2018) lo utilizó durante su evaluación experimental, por lo que se utilizó su misma concentración. Se prepararon 50 mL de disolución al 0.5% de Canasol® V/V.

5.2. Determinación de concentración de lavado

El procedimiento para definir la concentración de saponinas en una disolución se realizó mediante el nivel de espuma. Esto se realizó con las saponinas de fibras de agave lechuguilla CHAHIN y las saponinas *Saponin84510* de Sigma-Aldrich®

(ahora Merck®). Los tensoactivos *Biotika*®*Saponin-L* de Biorganix® y el Canasol® se utilizaron a las concentraciones propuestas en la tesis de Lara (cfr. Lara, 2018).

5.2.1. Metodología de determinación por nivel de espuma

En un tubo de ensayo se agregaron 3 mL de la disolución base y con un marcador indeleble se marcó el borde del líquido representando la altura inicial. Después el tubo se cerró y agitó continuamente por 30 segundos y se dejó reposar 5 minutos. Pasado este tiempo, se marcó el nivel de la interfaz entre el líquido y la espuma y también el límite de altura de la espuma, teniendo tres marcas en total (ver figura 17). Por cada disolución con cierta concentración de saponinas, se utilizaron tres tubos de ensayo para promediar los resultados.

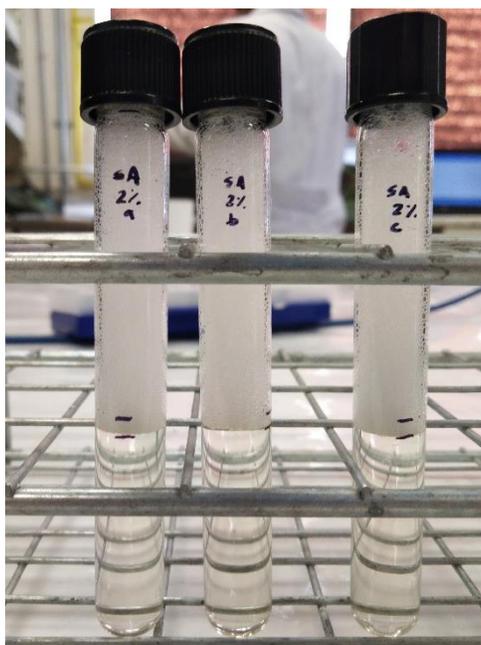


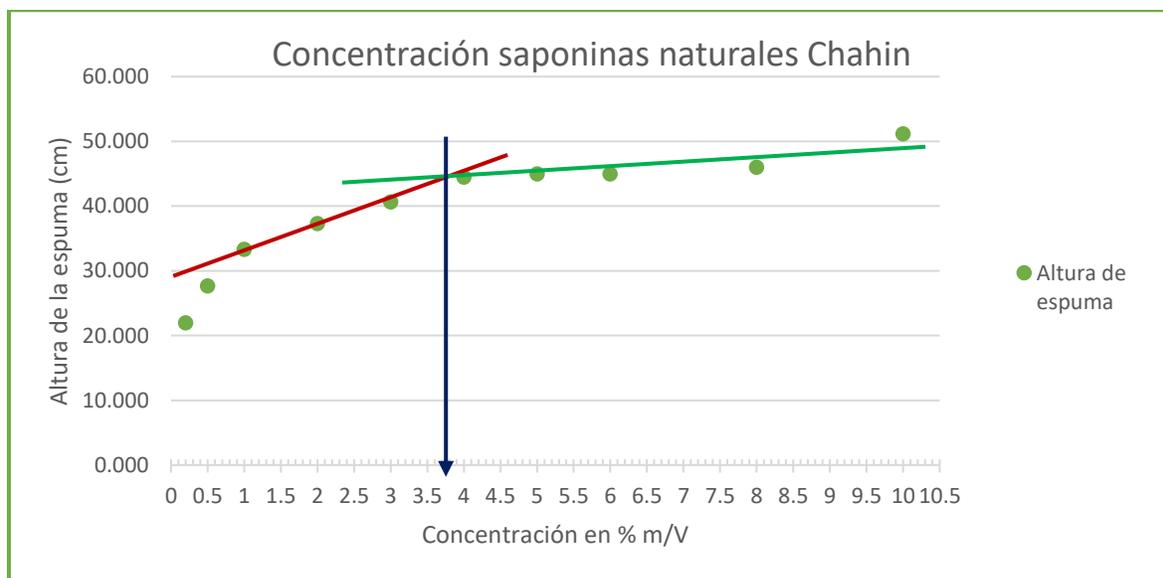
Figura 17. Marcas de los distintos niveles de líquido y espuma después de la agitación en una disolución de saponinas Sigma-Aldrich® al 2% en agua destilada en tres tubos de ensayo.

Con las marcas se realizaron dos mediciones: primero se midió la distancia entre la marca de altura inicial del líquido con la marca de altura después de agitar, la cual está por debajo de la primera; la segunda medición es la altura total de la espuma, es decir, desde la marca en la interfaz líquido-espuma hasta la altura máxima alcanzada por la espuma. Este procedimiento se replicó con disoluciones donde se

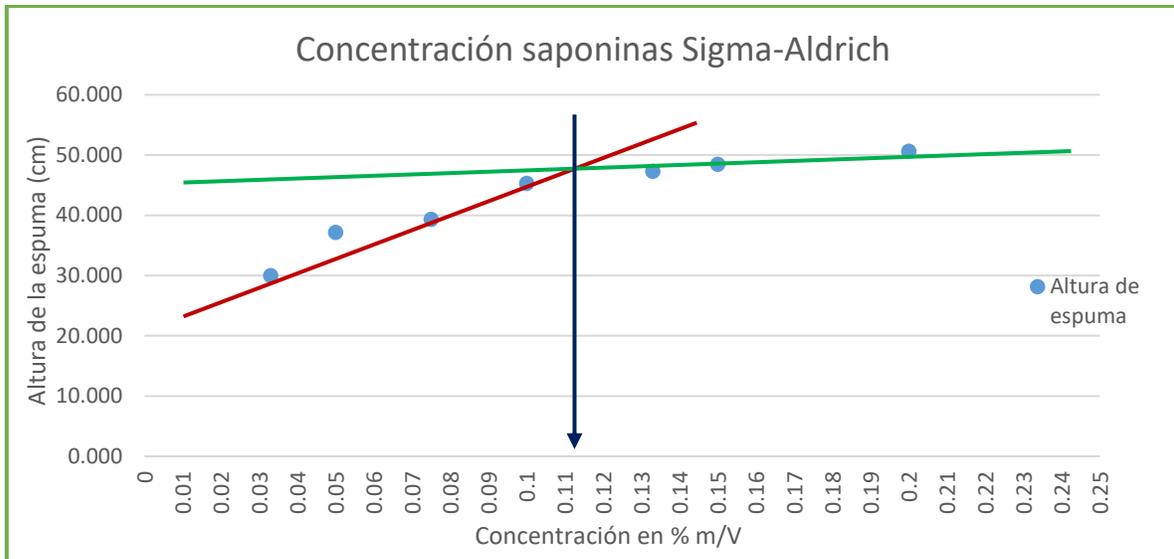
fue disminuyendo gradualmente el porcentaje de saponinas, sustituyéndolo por agua destilada.

5.2.2. Resultados

Las mediciones de altura de espuma de las tres réplicas del experimento se promediaron entre sí y se graficaron. En las gráficas que se muestran a continuación, se observan varios puntos de color verde que indican los valores de las mediciones. Con una línea roja se marca la pendiente en la que asciende la curva de la concentración de las disoluciones; con una línea verde se marca la línea de tendencia cuando los valores tuvieron un comportamiento similar y se aplana la curva de ascenso. En el punto de intersección de las dos líneas se colocó una flecha que indica el valor aproximado de la concentración ideal de saponinas en la disolución.



Gráfica 1. Concentración de saponinas naturales de agave lechuguilla marca CHAHIN.



Gráfica 2. Concentración de saponinas Saponin84510 de Sigma-Aldrich® (ahora Merck®).

En el caso de las saponinas de agave lechuguilla, de 0 a 3.5% de concentración de saponinas en 100 mL se distingue una variación en el comportamiento, medido por la cantidad de espuma formada. La capacidad de formar espuma es una cualidad de los tensoactivos dentro de una disolución, gracias a los arreglos en micelas de sus moléculas anfifílicas.

A partir del 4 hacia el 10% de concentración, se observa un comportamiento similar, lo que indica que agregar más tensoactivo a partir del punto de estabilización de la línea de tendencia horizontal no produce una mayor cantidad de espuma de forma tan acelerada como en menores concentraciones.

En otras palabras, la cantidad de moléculas anfifílicas con poder tensoactivo dispersadas en la disolución llegan a un punto de saturación a partir del cual, aunque se siga agregando tensoactivo, su comportamiento no tiene variaciones significativas, por lo que se infiere que su poder de lavado tampoco.

En el caso de las saponinas Sigma® este punto se alcanza aproximadamente al 0.11% en agua destilada m/V.

5.2.3. Concentraciones de tensoactivos definidas

A partir del análisis de los datos graficados sobre las saponinas de fibra de agave lechuguilla marca CHAHIN y de las saponinas marca Sigma-Aldrich®, sumando la información proporcionada por la metodología experimental de Lara (2018) sobre las saponinas marca Biorganix® y el tensoactivo sintético Canasol®, se establecieron los porcentajes de concentración de los tensoactivos utilizados durante el lavado acuoso de las probetas textiles.

Tensoactivo	Concentración
Sigma - Aldrich®	0.1%
Biorganix®	2%
Fibra de agave lechuguilla	3.5%
Canasol®	0.5%

5.3. Proceso de lavado acuoso

5.3.1. Disoluciones de tensoactivos

Se utilizaron tres probetas textiles de cada tela (algodón y seda) con cada una de las cinco variables de lavado utilizadas durante el lavado acuoso: saponinas de fibra de agave lechuguilla marca CHAHIN, saponinas *Biotika®Saponin-L* de Biorganix®, saponinas *Saponin84510* de Sigma-Aldrich®, ahora Merck®, el tensoactivo sintético Canasol® y agua destilada sin tensoactivo (ver figura 18). El lavado se realizó en el Laboratorio de Enseñanza de la ENCRyM.



Figura 18. Cinco disoluciones utilizadas durante los lavados. De izquierda a derecha: Saponina Sigma-Aldrich®, saponina Biorganix®, saponina de agave lechuguilla, Canasol® y agua destilada.

Como se mencionó en el apartado 3.1 *Preparación de las probetas textiles de algodón y seda*, las tres probetas designadas para cada disolución de tensoactivo se mantuvieron unidas para asegurar las mismas condiciones de lavado. Esto para reducir las variables que pudieran afectar la comparación de resultados entre probetas.

5.3.2. Lavado acuoso

El lavado inició con el mojado de las probetas, sumergiéndolas por un minuto en 50 mL de agua destilada limpia dentro de un cristizador. Se retiró el agua manteniendo la probeta en el recipiente. Después se agregaron 50 mL de la disolución del tensoactivo determinado y se mantuvo sumergida la probeta durante 15 minutos.

Durante el tiempo de inmersión de la probeta, al minuto 5 y al minuto 10 se realizó la acción mecánica del lavado. Por un minuto se arrastró una esponja marina sobre la superficie de la probeta en sentido de horizontal, vertical y diagonal, por ambas caras de la tela (ver figura 19).

A los 15 minutos de la inmersión de la probeta en el baño de lavado se retiró la disolución, manteniendo a la probeta dentro del recipiente mientras drenaba la disolución.



Figura 19. Detalle de acción mecánica ejercida sobre la superficie de las probetas con una esponja marina.

5.3.3. Enjuague

Para enjuagar se agregaron 50 mL de agua destilada limpia al cristizador y se realizó la misma acción mecánica con esponja marina por un minuto (ver figura 20). Se retiró el agua del primer enjuague y se agregaron nuevamente 50 mL de agua destilada para el enjuague final, manteniendo sumergida la probeta por un minuto sin realizar acción mecánica. Al finalizar se retiró el agua.

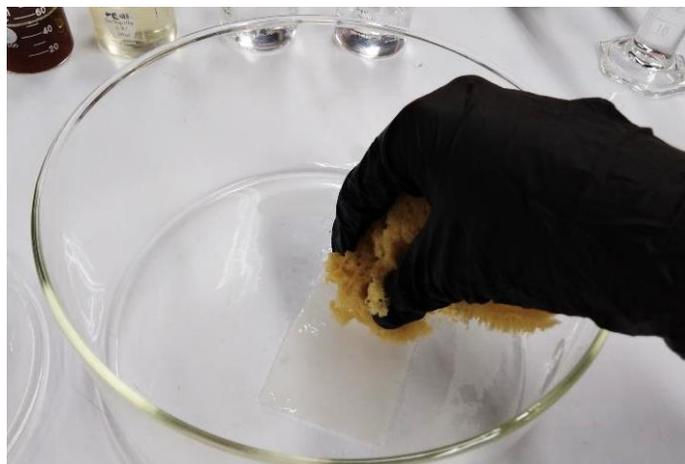


Figura 20. Enjuague con baño de agua destilada y acción mecánica con esponja marina limpia.

5.3.4. Secado

Las probetas húmedas se colocaron sobre una superficie limpia, seca y plana (ver figura 21a); y se ubicaron en un sitio ventilado dentro el laboratorio para permitir el secado al aire libre. Ya secas, las probetas se cortaron para separarlas entre sí.



Figura 21. a. Probetas extendidas sobre una superficie plana y limpia en proceso de secado. b. Las treinta probetas secas y separadas para la siguiente fase de la experimentación.

6. Envejecimiento acelerado en laboratorio

El envejecimiento de las probetas se realizó dentro de una cámara de envejecimiento acelerado en laboratorio elaborada específicamente para este experimento. La cámara somete a las probetas a variaciones ambientales mediante los factores de humedad, radiación UV e IR durante seis meses. Las especificaciones de la construcción de la cámara se encuentran en el anexo 16.1.2.

6.1. Condiciones del envejecimiento acelerado en laboratorio.

La cámara se adaptó para mantener las condiciones planteadas para alterar las probetas de tela durante seis meses, apegándose a las normas G 151-00 y G 158-99 de ASTM. Es importante mencionar que las condiciones dentro de la cámara no intentan simular el deterioro que causarían fenómenos climáticos locales, la contaminación atmosférica o ataques biológicos, entre otros (ASTM G 154-98, 1998). Esta cámara intenta inducir condiciones ambientales que rompan con las condiciones sugeridas para la conservación de materiales orgánicos como son las fibras textiles de algodón y seda, mencionadas en el apartado *1.5. Parámetros de conservación para fibras textiles*.

Antes de introducir las probetas a la cámara e iniciar su exposición, se estableció un ciclo definido y replicable de los factores ambientales. Para definirlo se realizaron dos pruebas piloto con distintos arreglos de las condiciones, es decir, diferentes lapsos donde las lámparas de radiación UV e IR se mantuvieron prendidas o apagadas. Durante las pruebas se midió y observó el comportamiento de las condiciones ambientales al interior de la cámara, resaltando los límites (máximos y mínimos) alcanzados.

Para la medición se utilizó un dispositivo del Laboratorio CODICE que mide, registra y almacena información sobre temperatura, humedad, radiación UV, luxes y presión atmosférica a través de sensores que se introducen en la cámara de envejecimiento (ver figura 22). Este dispositivo también controló los ciclos de encendido y apagado de las lámparas de acuerdo con las horas establecidas.



Figura 22. Cámara de envejecimiento y aparato de medición de condiciones ambientales. Los sensores se introducen por una apertura en la pared de la cámara.

6.1.1. Pruebas piloto

a. Parámetros alcanzados en cada prueba piloto

La primera prueba (A) se realizó por 16 horas en un ciclo de exposición de 6 horas. En cada ciclo, durante tres horas se mantuvieron prendidas las lámparas, fuentes de radiación UV e IR, mientras que en las siguientes tres horas ambas lámparas se apagaron. Los parámetros alcanzados se muestran en la siguiente tabla.

Variable	Unidad de medida	Máximo	Mínimo
TEMPERATURA	°C	56.2	22.6
HUMEDAD	%	69.9	16.7
LUXES	Luxes	64784	6183 y 0
UV	mW/cm ²	0.14	0.05

La segunda prueba (B) se realizó por 17 horas en un ciclo de 6 horas. En cada ciclo, durante las primeras tres horas se prendió únicamente la lámpara de radiación UV y las siguientes tres horas se prendió únicamente la lámpara de IR. Durante esta prueba no hubo un momento donde ambas lámparas se mantuvieran apagadas. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Prueba B. Índices de condiciones dentro de la cámara			
Variable	Unidad de medida	Máximo	Mínimo
TEMPERATURA	°C	50.7	25.7
HUMEDAD	%	65.2	14.8
LUXES	Luxes	65164	99
UV	mW/cm ²	0.11	0.03

b. Resultados

Se compararon los valores más altos y bajos de ambas pruebas, para identificar cómo fluctúan los niveles de temperatura, humedad y radiación dependiendo de la combinación de las lámparas durante los ciclos de exposición. Con el análisis de los datos se concluyó lo siguiente:

- Temperatura: La temperatura más elevada se alcanza al mantener ambas lámparas (UV e IR) prendidas al mismo tiempo y la menor temperatura cuando ambas están apagadas.
- Humedad: Se logra concentrar mayor humedad mientras las dos lámparas permanecen apagadas. El menor porcentaje de humedad se alcanza cuando únicamente está prendida la lámpara UV.
- Radiación UV: Se concentra mayor radiación cuando ambas lámparas están prendidas y el menor cuando se encuentra apagada la lámpara UV y prendida la IR.
- Luxes: Cuando sólo está prendida la lámpara IR se obtiene el valor máximo y el mínimo cuando está apagada.

Se definió un ciclo que combinara las condiciones de las dos pruebas piloto para lograr una fluctuación de los factores (temperatura, humedad, radiación UV e IR) lo más extrema posible. La drástica variación de condiciones provoca un esfuerzo y fatiga en las fibras textiles, que se ve reflejado en alteraciones observables, medibles y cuantificables en las probetas textiles.

6.1.2. Condiciones establecidas

a. Ciclo de exposición

Se definió un ciclo de exposición de 24 horas con lapsos de radiación individual, combinada y ausente, lo que permitió fluctuaciones en la temperatura y la humedad dentro de la cámara. La siguiente tabla muestra el horario en que se acomodaron las lámparas y el lapso de cada una.

Relación a 24 horas	Factor ambiental	Número de horas
0 - 6	UV	6
6 - 9	Apagado	3
9 - 15	IR	6
15 - 18	Apagado	3
18 - 21	UV + IR	3
21 - 24	Apagado	3

Para controlar la humedad se colocaron dos contenedores al interior de la cámara, con esferas de hidrogel los cuales se rellenaron de agua destilada una vez a la semana durante los seis meses de la experimentación. El agua se agregó a través de orificios en una de las paredes de la cámara utilizando una piseta de boquilla larga, rellenando el contenedor hasta que las esferas de hidrogel estuvieran completamente cubiertas, cuidando de no derramar por fuera de los contenedores. El lapso de siete días permitió que el agua se fuera evaporando paulatinamente, gracias a la evaporación retardada por las esferas.

En la tabla 6 se muestran los parámetros alcanzados con el ciclo de exposición propuesto, en donde se superaron los valores de las pruebas piloto, logrando alcanzar extremos que implican mayor estrés en las fibras y mejor visualización de las alteraciones para su análisis.

	MÁXIMO	PROMEDIO	MÍNIMO	PROMEDIO
TEMPERATURA °C	61	58	18	19.5
HUMEDAD %	71	66.75	10	13.5

b. Monitoreo

A lo largo de la experimentación los parámetros se mantuvieron monitoreados con un aparato construido por el Laboratorio CODICE, el cual tienen sensores que midieron y registraron la humedad, temperatura, luxes y radiación UV del ambiente (ver figura 23).

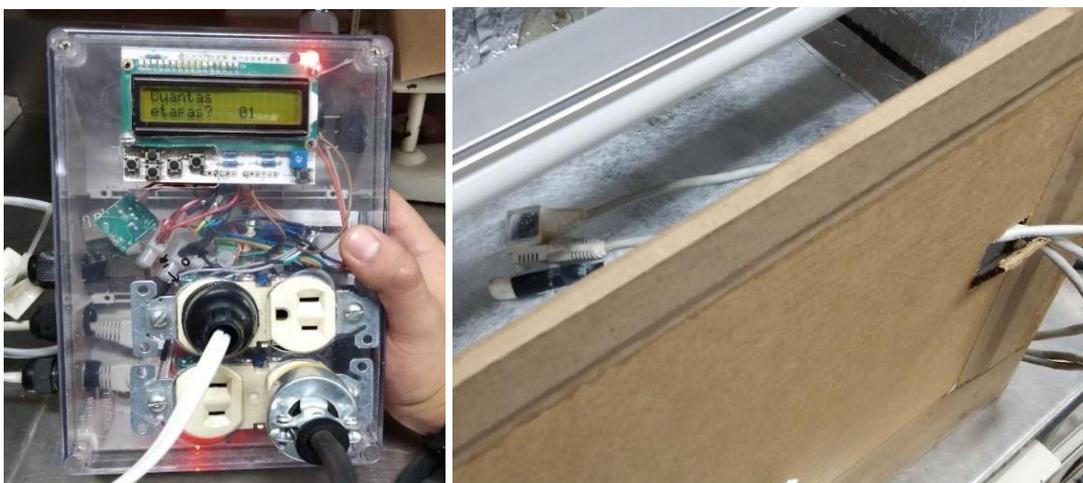


Figura 23. a. Equipo de medición de condiciones ambientales. b. Sensores dentro de la cámara de envejecimiento acelerado.

Los valores recopilados y registrados en un archivo Excel, se graficaron en el programa Lasca del Laboratorio CÓDICE. La representación gráfica permitió observar el ciclo y la fluctuación de las variables ambientales, mostrando cuál fue la exposición de las probetas textiles (ver figura 24).

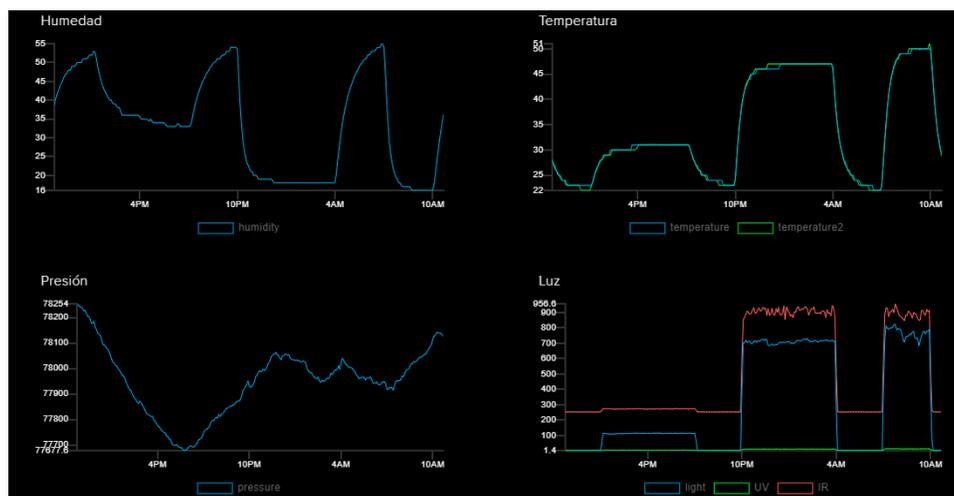


Figura 24. Gráficas de las fluctuaciones ambientales del ciclo mantenido durante el envejecimiento acelerado.

6.2. Colocación de probetas en la cámara

Las probetas de algodón y seda se colocaron de manera aleatoria sobre un soporte de tela Reemay (ver figura 25). La cámara se construyó con base en las dimensiones del soporte de las probetas y el largo de las lámparas de luz UV utilizadas. Esto aseguró la radiación uniforme de todas las probetas, que representa más del 70% de radiación mínimo indicado por la norma ASTM G151-00 (2000). Después de su colocación aleatoria, se registró la posición de cada probeta como se muestra en la tabla 7.



Figura 25. Distribución aleatoria de las probetas sobre el soporte de tela Reemay.

SC3	AII1	AII3	SIII3	SII3	AC3
AI2	SX3	AX1	SII1	AX2	SC1
SC2	AI1	SI3	AC1	AI3	SX1
AC2	SI2	SIII1	SX2	AII2	AIII1
SI1	SII2	AX3	AIII2	SIII2	AIII3

7. Medición de características y propiedades físicas de las fibras textiles por técnicas analíticas

Antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio de las probetas textiles lavadas con los distintos baños (sin y con tensoactivos), se realizaron pruebas mediante técnicas analíticas para medir propiedades y características físicas de las fibras textiles. Estas técnicas fueron la toma de muestras, la medición de pH, la colorimetría y la prueba de resistencia a la tensión de los hilos.

7.1. Toma de muestras

Se tomaron muestras de hilo de cada probeta para realizar la prueba de resistencia a la tensión. La norma indica utilizar por lo menos tres especímenes replicados donde las propiedades se midan utilizando técnicas no destructivas y seis especímenes para pruebas destructivas (ASTM G 151-00, 2000). Se tomaron tres hilos de cada probeta, resultando en nueve hilos por variable de lavado.

Los hilos se tomaron con pinzas de acero inoxidable, las cuales se sometieron a la flama por 5 segundos entre cada toma, para evitar la contaminación entre hilos. Cada grupo de tres hilos se colocó en una bolsa de plástico resellable y se marcó con plumón indeleble indicando el nombre de la probeta, el tipo de tela y la fecha en la que se realizó la toma de muestras (ver figura 26).

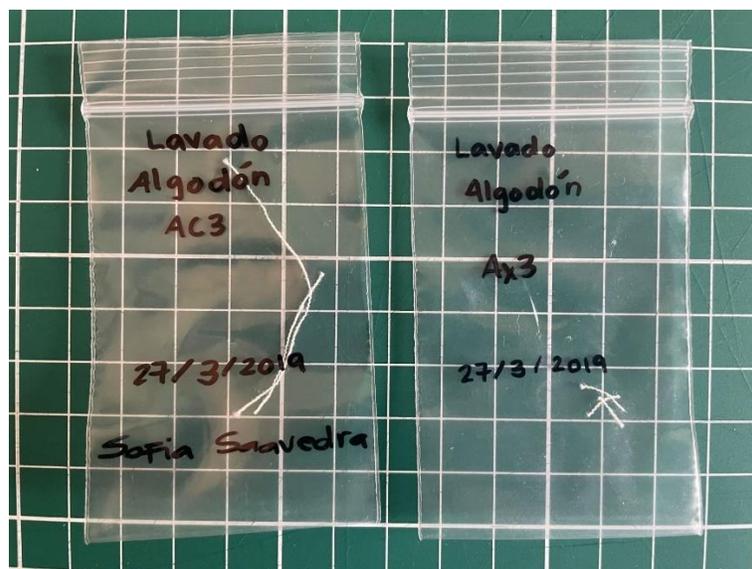


Figura 26. Muestreo de hilos de algodón de las probetas AC3 y AX3.

Después del lavado acuoso de las probetas y antes del envejecimiento acelerado en laboratorio se tomaron muestras, siendo noventa hilos en total, las cuales se mantuvieron resguardadas a temperatura ambiente y sin incidencia de luz durante los seis meses que duró el experimento. El muestreo después del envejecimiento se realizó de la misma manera, con la diferencia de que a la clave se agregó una “E” para indicar que se trataba de la muestra envejecida. En total se obtuvieron ciento ochenta hilos.

A continuación, se presenta una tabla donde se reúne el número de muestras tomadas por probeta para entender el universo completo de las muestras tomadas durante la experimentación.

Tabla 8. Universo de muestras de hilo de las probetas textiles							
Telas		ALGODÓN			SEDA		
Hilo por probeta		# probetas	# de hilos	Subtotal 1	# probetas	# de hilos	Subtotal 2
VARIABLE DE LAVADO	X	3	3	9	3	3	9
	I	3	3	9	3	3	9
	II	3	3	9	3	3	9
	III	3	3	9	3	3	9
	C	3	3	9	3	3	9
Subtotal A y S				45			45
Subtotal hilos lavados				90			
Subtotal hilos envejecidos				90			
TOTAL DE HILOS				180			

7.2. Colorimetría

La medición de color se realizó en el Laboratorio CODICE, con un colorímetro marca Konica Minolta modelo *Spectrophotometer* CM-2500d y el software *SpectraMagic®* NX Lite. Las mediciones se realizaron bajo las especificaciones del estándar (ISO/CIE 11664-4:2019, 2019) (ver figura 27).

7.2.1. Metodología del colorímetro

Al igual que Lara (2018), se utilizó una cartulina ilustración blanca 2/C cuarto 51x38. 22.00, comprada en Lumen®, debajo de las probetas como soporte y base de color durante la medición con el colorímetro. La cartulina se utilizó en las mediciones de las probetas después del lavado y después del envejecimiento.



Figura 27. Medición de colorimetría en probetas textiles en el Laboratorio CODICE-CNCPC.

Se utilizó un acetato transparente del tamaño y forma de una probeta (3 x 5.5 cm) con tres ventanas de 1 cm², que se colocó encima de cada probeta para realizar las mediciones de colorimetría en el mismo lugar, antes y después del envejecimiento (ver figura 28). Esto permitió la comparación del cambio de color en la misma área, reduciendo interferencias e incrementando la veracidad del análisis.



Figura 28. Acetato con tres orificios de 1 cm² colocado sobre una probeta (circulado en rojo).

7.2.2. Metodología para el procesamiento de los datos obtenidos

Las tres mediciones de color CIELab obtenidas en cada probeta se promediaron para obtener un solo valor por cada probeta. Esto se realizó en todas las probetas recién lavadas y después del envejecimiento acelerado en laboratorio. El valor promedio por probeta se volvió a promediar entre las tres probetas lavadas con el mismo tensoactivo para obtener un valor por variable de lavado de las probetas envejecidas y un valor de las no envejecidas.

La comparación de valores antes y después del envejecimiento se obtuvo por la diferencia total de color (ΔE^*) a partir de la fórmula CIE2000 presentada en el apartado 3.1. *Colorimetría*. Los valores obtenidos se graficaron para presentar de manera visual las diferencias y analizar de datos.

La presentación de los colores RGB se realizó mediante la página de internet Colorizer.org, donde se convierten los valores CIELab obtenidos de las probetas a RGB (Colorizer.org, s/f) (ver figura 29).



Figura 29. Captura de pantalla de la página Colorizer.org, donde se convierten valores CIELAB a RGB.

7.2.3. Parámetro de cambio de color

Con la ΔE^* obtenida de la comparación de los valores CIELab antes y después del envejecimiento de las probetas de las distintas variables de lavado, se utilizó un parámetro de cambio de color para clasificar estos cambios. El parámetro propuesto por Limbo y Piergiiovanni (2006) se utilizó para un reporte de la industria alimenticia sobre diferencias de color, pero se ha utilizado anteriormente en el ámbito de la conservación-restauración para dar un valor cualitativo a las diferencias de color de bienes culturales (Ali & Fawzy, 2021; Ibrahim & Mohamed, 2021).

Tabla 9. Parámetros de la diferencia total (ΔE^*) (Limbo & Piergiiovanni, 2006)	
ΔE^*	Parámetro de cambio
$\Delta E < 0.2$	Diferencia no perceptible
$0.2 < \Delta E < 0.5$	Diferencia muy pequeña
$0.5 < \Delta E < 2$	Pequeña diferencia
$2 < \Delta E < 3$	Diferencia suficientemente perceptible
$3 < \Delta E < 6$	Diferencia perceptible
$6 < \Delta E < 12$	Fuerte diferencia
$\Delta E > 12$	Diferente color

7.3. Medición de pH

Para la preparación del lavado acuoso de las probetas, se midió el pH de bidones nuevos de agua destilada del Laboratorio TECTRAD, del Laboratorio de Enseñanza de la ENCRyM y del Laboratorio CODICE. El promedio de todos fue un pH de 5.5, es decir, ligeramente ácido. Se utilizó de esta forma ya que son los recursos con los que se contaba al momento de realizar la experimentación, por lo que se tiene que considerar al momento de analizar los resultados.

7.3.1. Medición de pH de disoluciones de tensoactivos

Se midió el pH de cada una de las disoluciones de tensoactivo antes de la realización del lavado acuoso de las probetas textiles para conocer las características del medio al que se sometieron las fibras. Para ello se utilizaron tiras reactivas marca MColorpHast™ (ver figura 30a).

Disolución	pH
Agua destilada	5.5
Fibra de agave lechuguilla	4.5
Biorganix®	5
Sigma - Aldrich® (Merck®)	5
Canasol®	5

7.3.2. Medición de pH de probetas textiles

La medición del pH de las probetas textiles después del lavado acuoso y después del envejecimiento acelerado se llevó a cabo en el Laboratorio CODICE. Se realizó con un potenciómetro Hi99171 marca HANNA® Instruments y un electrodo Hi1414D de vidrio de la misma marca (ver figura 30b). Para su calibración se utilizaron buffers, uno de pH 7 y otro de pH 4.

Las probetas se colocaron en una superficie plana y limpia y se humectaron con agua destilada para que el electrodo pudiera realizar la lectura. En cada probeta se realizaron tres mediciones que se promediaron.



Figura 30. a. Medición de pH con tiras reactivas de surfactantes y agua destilada antes del lavado acuoso. b. Medición de pH de las probetas después del lavado con potenciómetro digital y electrodo de vidrio.

7.4. Resistencia mecánica

Esta fase de la experimentación se realizó en el Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales del Instituto de Física de la UNAM. El laboratorio se encuentra a cargo del Dr. Eligio Alberto Orozco y la experimentación se realizó con la asesoría del Lic. José Germaín Castro.

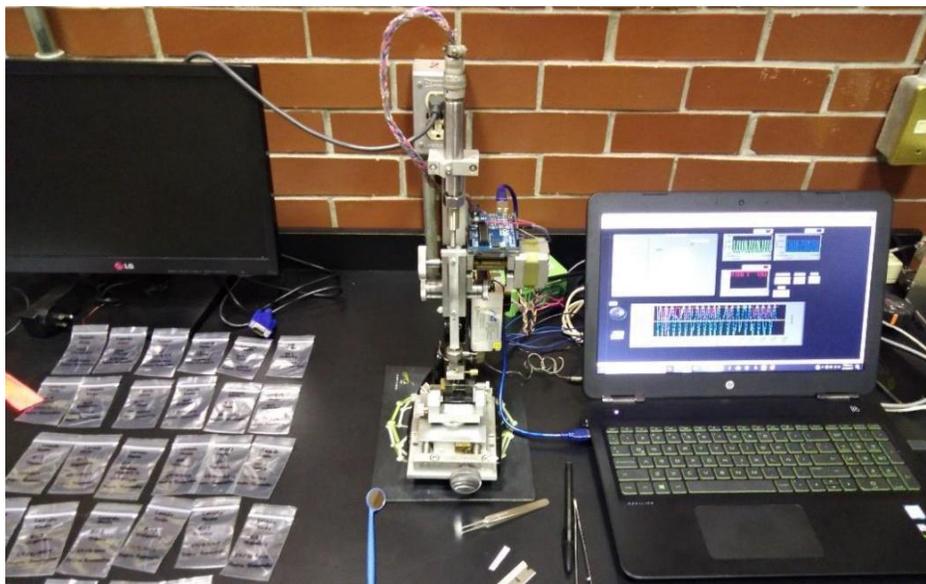


Figura 31. Micro máquina de análisis de resistencia a la tensión. Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales- IF-UNAM.

Se realizó la prueba en tres hilos de cada una de las tres probetas de las cinco variables de lavado de las telas de algodón y seda antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio. En total se realizaron ciento ochenta pruebas de resistencia a la tensión (ver figura 31).

7.4.1. Metodología de la prueba de resistencia a la tensión de los hilos

Tras cuatro pruebas piloto, se definieron los parámetros de la máquina para realizar la prueba de resistencia a la tensión de los hilos de algodón y seda. Se definió que la zona activa del hilo sería de 6.35 mm (1/4") a una velocidad de 50 pasos sobre 100.

La muestra de 1/4" de hilo se tomó con pinzas de acero inoxidable y se colocó en la prensa superior sujeta con cinta doble cara y después en la prensa inferior. La cinta doble cara reforzó la sujeción de los hilos, realizada también por la presión de las prensas superior e inferior de la máquina. Con la muestra sujeta, la prueba inició mediante el comando del programa de computadora. La parte superior de la micro máquina se desplazó hacia arriba, aplicando fuerza de tensión, provocando la elongación y el desfibrado del hilo hasta que alcanzó el punto de quiebre (ver figura 32).



Figura 32. Muestra de hilo (circulado en rojo) montada en la micro máquina de resistencia del LCMN-IF-UNAM.

Durante el desplazamiento de la máquina se observó el desfibrado del hilo, ya que, al estar compuesto por varias fibras entorchadas, unas cedieron antes que otras y se liberaron o rompieron del hilo. En el momento del quiebre de la mayoría de las fibras, los sensores de la máquina detectaron la pérdida de resistencia.

7.4.2. Metodología del procesamiento de los datos obtenidos

Los sensores de la máquina registraron la fuerza aplicada en el hilo, el desplazamiento y la duración del recorrido. Estos registros se vaciaron en un archivo Excel, los cuales se exportaron al programa MATLAB®, una plataforma de programación que utiliza un lenguaje basado en matrices que permite la expresión de las matemáticas computacionales (MathWorks®, 2020). Haciendo uso de MATLAB® se graficaron los datos de desplazamiento (mm) contra la carga (N) o la fuerza de tensión resistida. En cada una de las gráficas, se realizó la regresión lineal para obtener la pendiente⁴ de los datos expresado en Newtons sobre milímetros (N/mm). (Ver figura 33). Cada gráfica indica la carga máxima resistida (N), el desplazamiento máximo (mm) y el valor de la pendiente (N/mm).

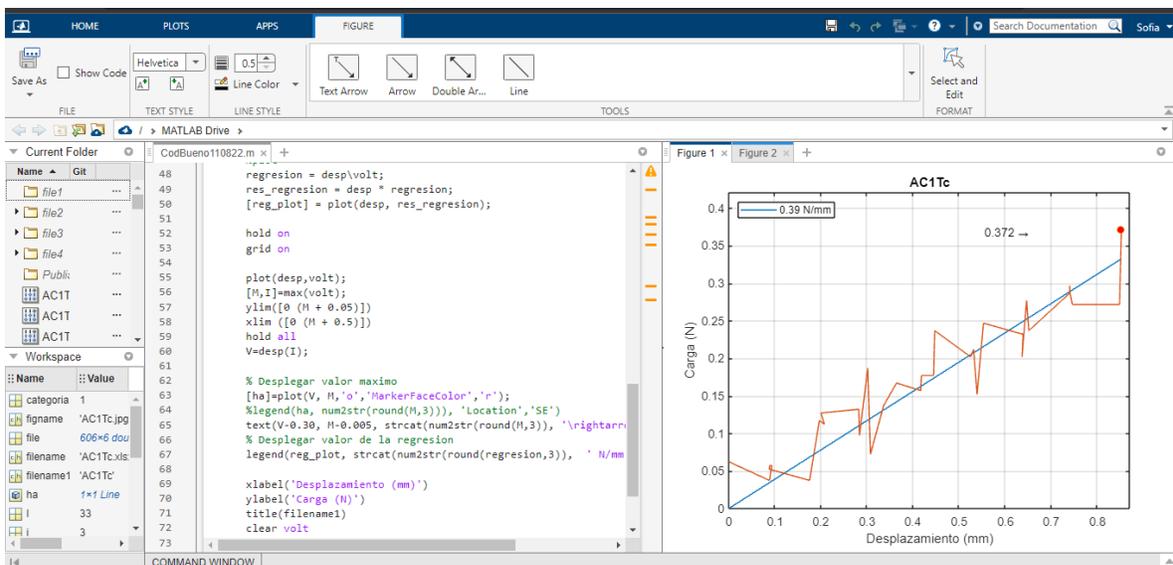


Figura 33. Procesamiento de datos de resistencia de la muestra AC1c en MATLAB®.

⁴ La pendiente es un acercamiento al módulo de Young, pero no se considera como tal, ya que no se pudo medir el área transversal de cada hilo en todas las pruebas realizadas. Sin embargo, la pendiente se toma como una aproximación al módulo de Young ya que se podría inferir un diámetro estandarizado en la manufactura de cada hilo.

CAPÍTULO III.

Análisis y discusión de resultados

Durante la fase experimental existieron tres variables de las cuales no se tuvo control y es necesario mencionarlas para contemplar su implicación durante el experimento para que puedan ser repetidas o mejoradas si volviera a realizarse.

La primera variable es el agua destilada utilizada para la preparación de las disoluciones de tensoactivo, el enjuague y la humectación de las probetas para la medición de pH. El agua destilada presentó un pH 5.5, el cual es ligeramente ácido, por lo que todos los resultados tendrán una tendencia desde inicio hacia lo ácido.

La siguiente variable es la concentración de saponinas obtenidas de las fibras de agave lechuguilla de la marca CHAHIN. La disolución utilizada no es una medida exacta del contenido de saponinas ya que también hay otros componentes de la planta como aceites, minerales, colorantes, azúcares, entre otros compuestos. Estos no se conocen y no es objetivo de esta investigación definirlos, aunque estudiar la composición de este producto en particular es una línea de investigación abierta.

Por último, las fibras textiles. Cada tipo de fibra comparte características físicas y biológicas de acuerdo con su naturaleza, pero siempre serán diferentes. Aunque las fibras hayan sido obtenidas de la misma planta y sometidas al mismo tratamiento, éstas serán diferentes unas de otras por tratarse de un material producido por la naturaleza, habiendo siempre una variabilidad apreciable entre ellas (Morton & Hearle, 2008b).

La tabla 11 muestra las claves utilizadas para la identificación de las variables de lavado, las que se utilizan a partir de este capítulo para sintetizar la información que se presenta en tablas y gráficas.

Tabla 11. Relación de claves para las variables de lavado acuoso de las probetas textiles	
CLAVE	VARIABLE DE LAVADO
X	Testigo o referencia (sin tensoactivo)
I	Saponina de fibras de agave lechuguilla
II	Biotika®Saponin-L de Biorganix®
III	<i>Saponin</i> 84510 de Sigma-Aldrich® (ahora Merck®)
C	Canasol®
E	Indica muestras envejecidas

Parte 1. Resultados antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio

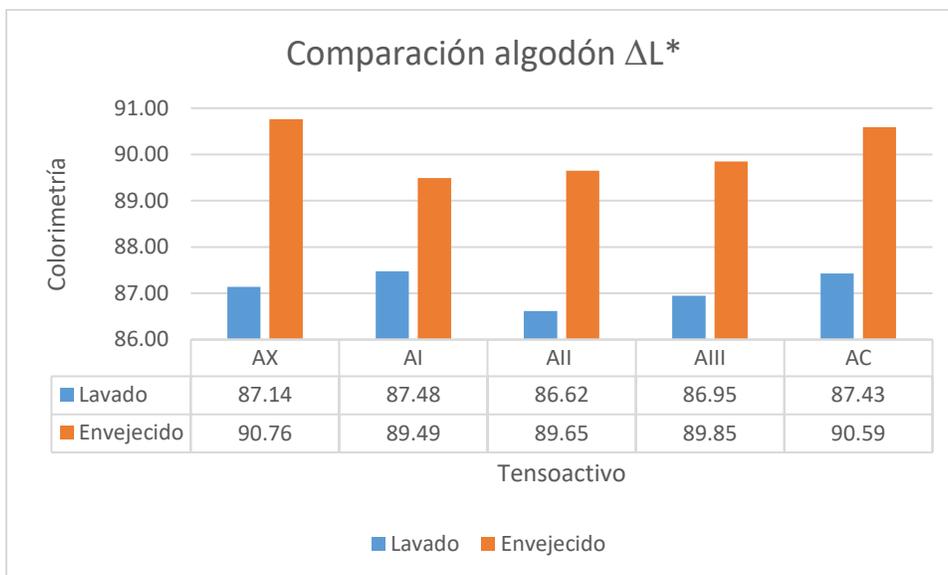
8. Fibras de algodón

8.1. Color

La tabla 12 muestra los valores CIELab de las probetas de algodón antes y después del envejecimiento acelerado y la diferencia de color total (ΔE^*) entre ellas.

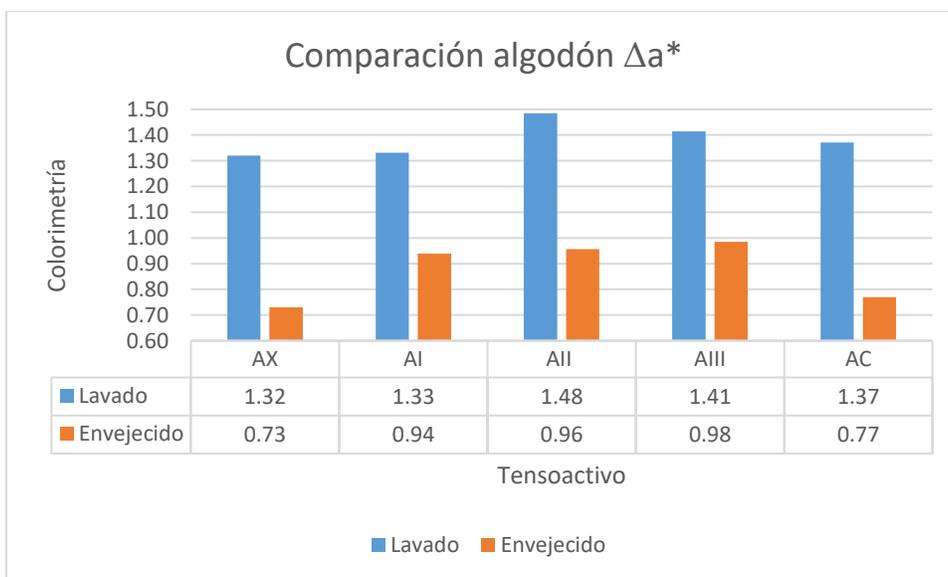
Tabla 12. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de algodón antes y después del envejecimiento								
ALGODÓN LAVADO				ΔE	ALGODÓN ENVEJECIDO			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
X	87.14	1.32	9.52	5.44	EX	90.76	0.73	5.50
I	87.48	1.33	9.42	3.01	EI	89.49	0.94	7.21
II	86.62	1.48	9.99	4.34	EII	89.65	0.96	6.93
III	86.95	1.41	10.02	4.51	EIII	89.85	0.98	6.59
C	87.43	1.37	9.80	5.00	EC	90.59	0.77	5.98

La luminosidad (L^*) de todas las probetas aumentó después del envejecimiento acelerado (ver gráfica 3). Esto quiere decir que la superficie de las probetas cambió a un tono más claro y/o refleja más la luz. La probeta con mayor cambio entre las dos mediciones fue la referencia con una diferencia de 3.62 unidades, seguida de la probeta Canasol® (3.17 unidades) y la saponina Biorganix® (3.03 unidades).



Gráfica 3. Comparación de ΔL^* entre las probetas de algodón lavadas y envejecidas.

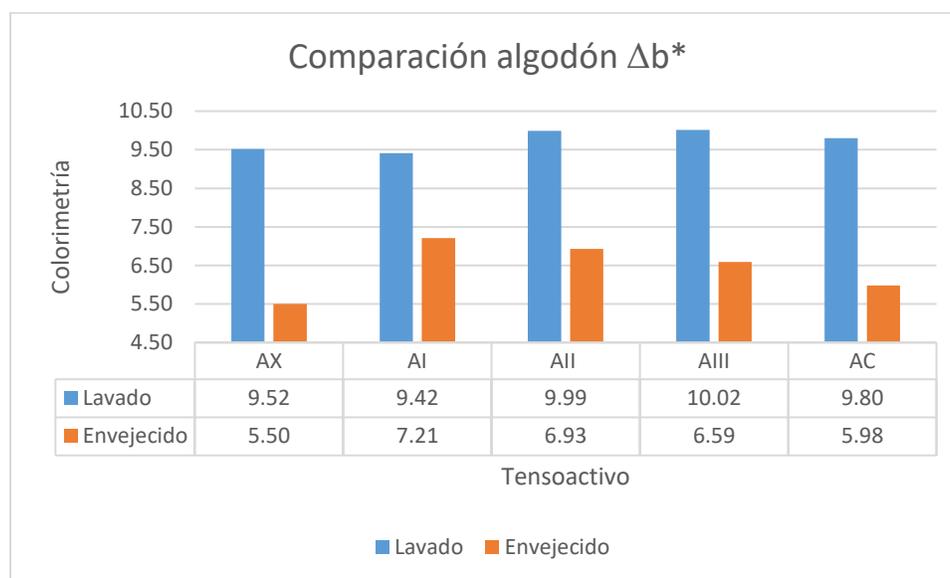
La coordenada a^* disminuyó de manera mínima en todas las probetas (ver gráfica 4), siendo el mayor cambio en la probeta de Canasol® (0.6 unidades), seguido de la referencia (0.59 unidades) y la saponina Biorganix® (0.53 unidades).



Gráfica 4. Comparación de Δa^* entre las probetas de algodón lavadas y envejecidas.

La coordenada b^* también disminuyó después del envejecimiento acelerado en todas las probetas (ver gráfica 5). En donde se observó el cambio más grande fue en la probeta referencia (4.02 unidades), después la probeta de Canasol® (3.82 unidades) y después la saponina Sigma® (3.43 unidades).

La coordenada b^* es la coordenada con la mayor diferencia entre mediciones de las tres coordenadas.



Gráfica 5. Comparación de Δb^* entre probetas de algodón lavadas y envejecidas.

La probeta de referencia fue la que tuvo mayores diferencias entre mediciones en las coordenadas L^* y b^* , seguida por la probeta lavada con Canasol®, la cual tuvo la mayor diferencia en la coordenada a^* . Respecto a la diferencia de color total, fue la probeta de referencia la más diferente, seguida de la probeta lavada con Canasol® y la probeta lavada con saponinas Sigma®. La probeta con menor diferencia de color total fue la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla. Sin embargo, dado que los valores de cada coordenada se registran en una escala de 0.0 a 100.00, los cambios registrados en las probetas son pequeños.

De acuerdo con el parámetro de diferencia de color propuesta por Limbo y Piergiovanni (2006), donde se pueden interpretar de forma cualitativa los valores de la diferencia de color, todas las probetas se catalogan como *diferencia perceptible*. La coordenada b^* , al ser la coordenada con mayor diferencia, es la mayor responsable de este cambio.

A continuación, se presenta la conversión de los valores CIELab a valores del sistema de color RGB manejado por Microsoft Word como una referencia visual de los colores de cada probeta antes y después del envejecimiento. El color depende

de las características y calidad de la pantalla en la que se observe y en caso de ser impreso, del método de impresión y las tintas utilizadas.

Tabla 13. Comparación del color de las probetas de fibras algodón de algodón antes y después del envejecimiento acelerado		
Tensoactivo	Color después del lavado	Color después del envejecimiento
X		
I		
II		
III		
C		

Después del envejecimiento acelerado, las probetas se volvieron más luminosas, los tonos se perciben más claros. Durante el proceso de fotooxidación, junto con la interacción de la humedad y temperatura como catalizadores, se rompen las cadenas moleculares del polímero (fotólisis) formando radicales libres. El entrecruzamiento de estos, forma oxixelulosa, que es la degradación de la celulosa caracterizada por su acidez y cambio de color hacia el amarillo o café y tonos más claros. El aumento de luminosidad (L^*) tras el envejecimiento y los cambios en las coordenadas a^* y b^* , se observaron en el cambio de color de las probetas las cuales se perciben menos rojizas y el tono se inclina ligeramente al grisáceo frío en vez de amarillo y cálido.

8.2. pH

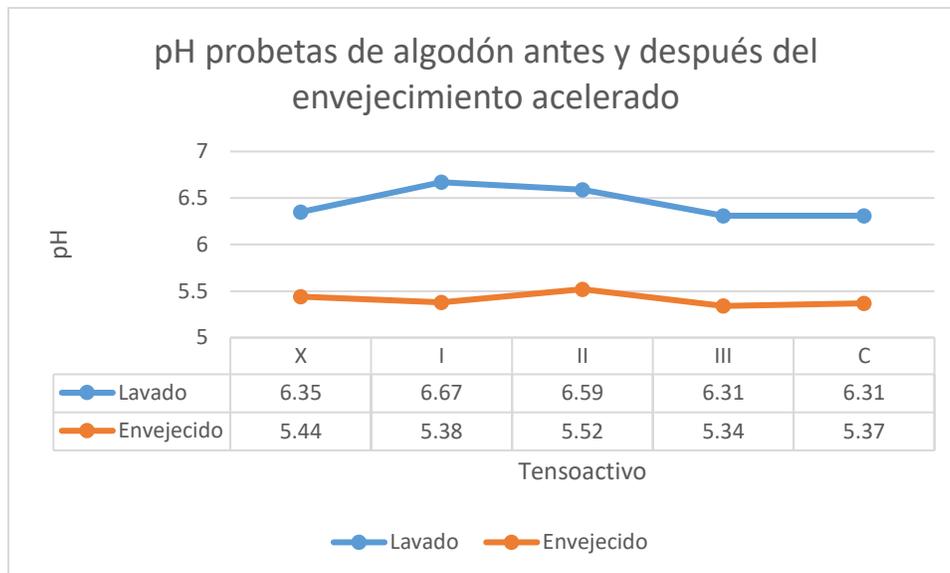
Como se mencionó anteriormente, el agua destilada utilizada durante la experimentación tenía un pH ligeramente ácido (5.5), por lo que, de inicio, las mediciones tienen esta tendencia. La tabla 14 muestra las mediciones de pH obtenidas por cada variable de lavado antes y después del envejecimiento acelerado, así como la diferencia entre las medidas.

Tabla 14. pH de las probetas de fibra de algodón antes y después del envejecimiento acelerado			
Tensoactivo	Lavado	Envejecido	Diferencia
X	6.35	5.44	0.91
I	6.67	5.38	1.29
II	6.59	5.52	1.07
III	6.31	5.34	0.97
C	6.31	5.37	0.94

Después del lavado, todas las probetas se registraron con un pH de 6, diferenciándose unas de otras por décimas, por lo que estas diferencias son mínimas. Las dos probetas menos ácidas son la lavada con saponinas de agave lechuguilla y la lavada con Biorganix® y las más ácidas son las probetas lavadas con saponina Sigma® y la probeta lavada con Canasol®.

Después del envejecimiento, todas las probetas disminuyeron o se acidificaron una unidad en la escala de pH, aproximadamente, obteniendo un pH 5, diferenciándose una probeta de la otra por décimas, mínimas diferencias. Las más ácidas fueron las probetas lavadas con Sigma®, seguida de la probeta lavada con Canasol®; las menos ácidas fueron la probeta lavada con Biorganix® y la probeta de referencia.

La mayor diferencia entre las mediciones tomadas antes y después del envejecimiento se observó en la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla y la probeta lavada con Biorganix®, mientras que las probetas de referencia, de saponina Sigma® y de Canasol® tienen un comportamiento similar.



Gráfica 6. pH de las probetas de algodón antes y después del envejecimiento acelerado.

Las fibras de algodón son resistentes a los álcalis, pero se degradan en medios ácidos. Las disoluciones de tensioactivos tendieron a la acidez (ver tabla 10), aunque después del lavado, todas las probetas obtuvieron un pH más alto que las disoluciones con que se lavaron.

Las probetas envejecidas son más ácidas que antes de envejecer, lo que era el resultado esperado, ya que durante el proceso de degradación de la celulosa se forma la oxixelulosa a partir del entrecruzamiento de radicales libres después del deterioro y ruptura de la cadena molecular, la cual es una sustancia ácida.

8.3. Resistencia a la tensión

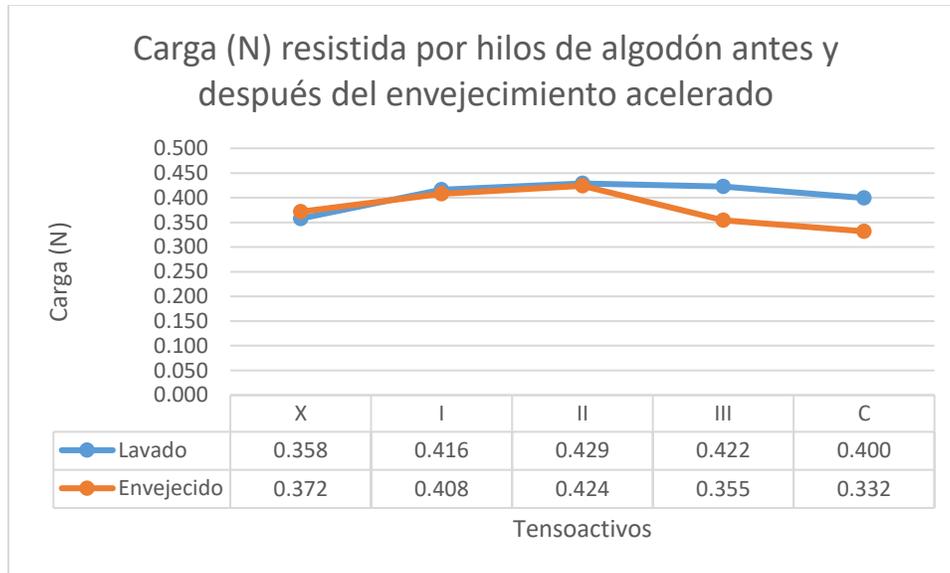
La relación entre la fuerza de tensión soportada por el hilo y el desplazamiento antes del quiebre, permitido por la capacidad de elongación de las fibras y el trabajo del hilo como conjunto de fibras, se calculó matemáticamente al graficar la pendiente (N/mm), llamado módulo de Young. El valor de la pendiente de cada hilo se consideró como el comportamiento del hilo ante la prueba de resistencia a la tensión. Sin embargo, para hablar sobre la resistencia del hilo se necesita analizar de manera individual tanto la fuerza de carga (N), el desplazamiento (mm), como la pendiente (N/mm).

Tabla 15. Datos de resistencia a la tensión de los hilos de algodón antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio							
	N	mm	N/mm		N	mm	N/mm
X	0.358	0.882	0.382	EX	0.372	0.915	0.381
I	0.416	1.121	0.362	EI	0.408	1.047	0.356
II	0.429	0.793	0.515	EII	0.424	0.914	0.432
III	0.422	0.889	0.472	EIII	0.355	0.967	0.346
C	0.358	0.882	0.382	EC	0.332	0.978	0.334

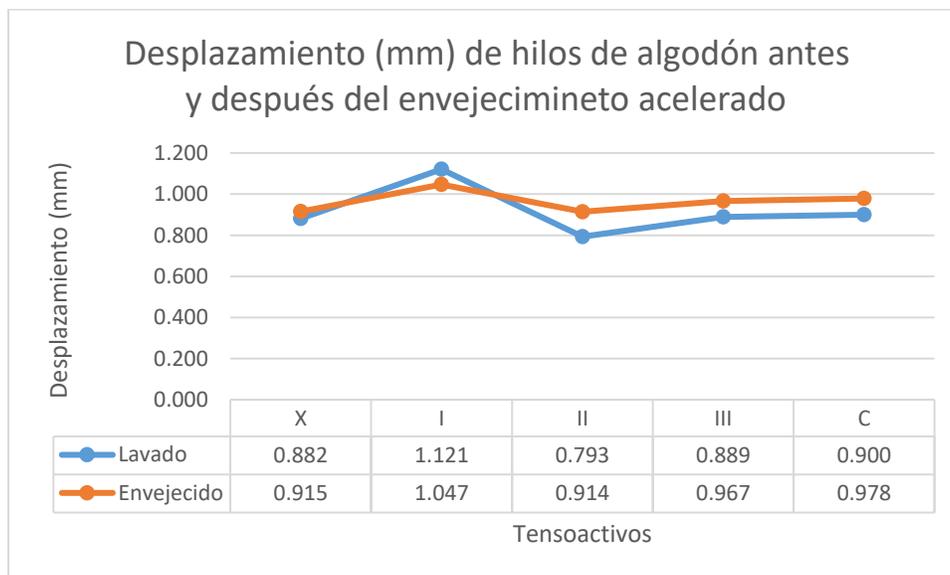
De manera general, las probetas lavadas con tensoactivos tuvieron una disminución de la fuerza resistida después del envejecimiento acelerado (ver gráfica 7). Las probetas envejecidas con tensoactivos, menos la lavada con saponinas de agave lechuguilla, tuvieron un mayor desplazamiento (ver gráfica 8). Una explicación puede ser que antes de envejecer, las fibras sanas se elongaron y trabajaron en conjunto por la torsión del hilo, hasta el punto de quiebre. Por otro lado, las fibras envejecidas, las cuales son más rígidas por el entre cruzamiento de radicales libres que aumenta la región cristalina, volviéndolas más duras y menos flexibles, no se elongaron hasta el punto de quiebre, sino que fueron rompiéndose en distintos puntos mientras se ejercía la tensión, y el hilo se fue desfibrando. Por eso, aunque haya avanzado más milímetros durante el desfibrado, el hilo resistió menos fuerza por el daño en las cadenas moleculares de las fibras.

La probeta de referencia resistió más fuerza y se desplazó más después del envejecimiento acelerado. Aunque no se puede explicar por completo el

comportamiento, es claro que la acción de los tensoactivos, tanto naturales como sintético, sí influyen en las fibras de algodón, ya que el comportamiento entre las probetas lavadas con tensoactivos y la probeta de referencia es totalmente opuesto.



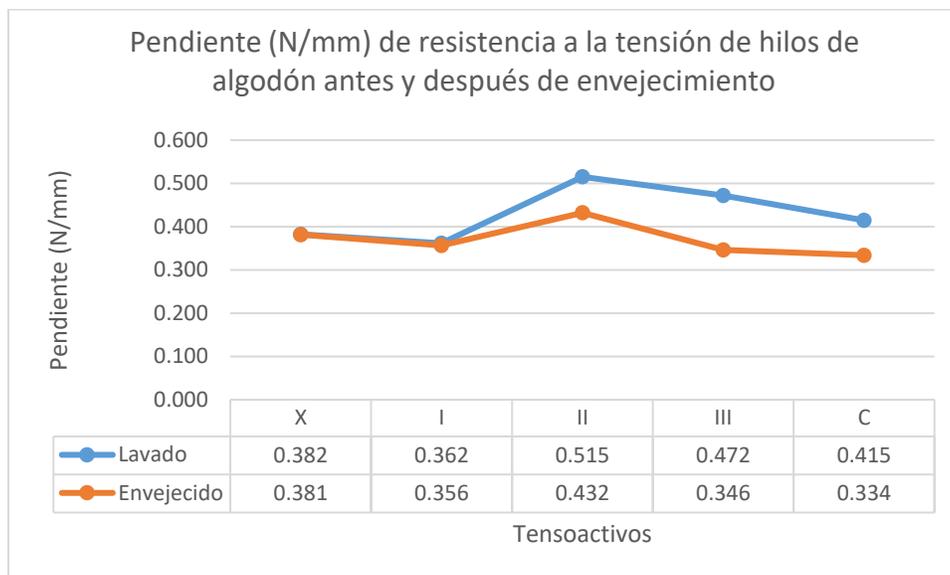
Gráfica 7. Gráfica de las cargas resistidos por los hilos de algodón antes y después del envejecimiento acelerado.



Gráfica 8. Gráfica del desplazamiento de los hilos de algodón ante la tensión, antes y después del envejecimiento acelerado.

El módulo de Young muestra los dos comportamientos entre probetas, donde es claro que tres tensoactivos modifican el comportamiento de las fibras envejecidas, mientras que la probeta de referencia y la probeta lavada con saponinas de agave

lechuguilla son muy similares entre ellas y entre las mediciones de antes y después de envejecer (ver gráfica 9). Una explicación podría ser que el contenido de saponinas en la disolución preparada con las fibras de agave lechuguilla es menor, ya que no está purificada ni concentrada y el resultado de la disolución tiene un comportamiento similar al agua sin tensoactivos observado en la probeta de referencia.



Gráfica 9. Gráfica del módulo de pendiente de los hilos de algodón antes y después del envejecimiento acelerado.

9. Fibras de seda

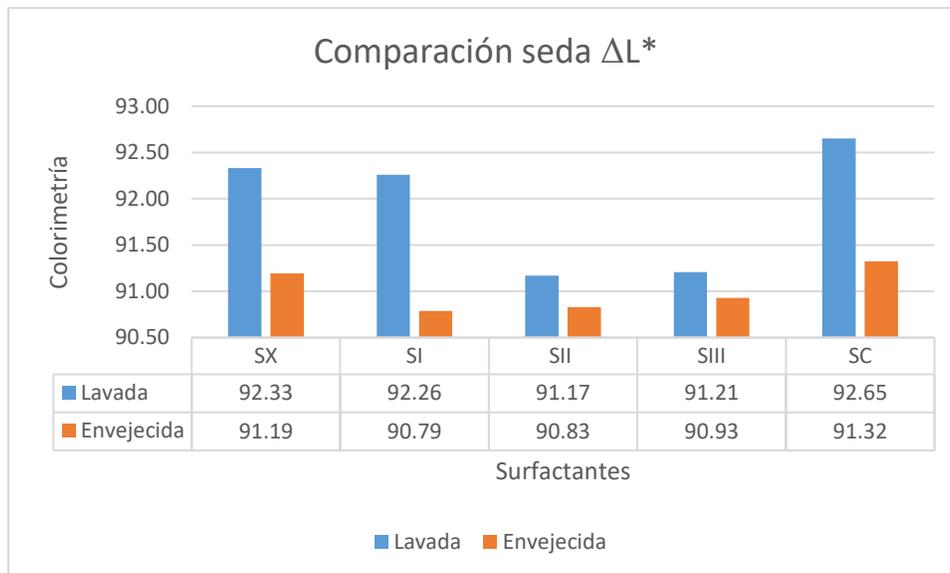
9.1. Color

En la tabla 16 se muestran los valores CIELab de las mediciones antes y después del envejecimiento acelerado, así como la diferencia de color total (ΔE^*) entre ellas.

SEDA LAVADA				ΔE	SEDA ENVEJECIDA			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
X	92.33	1.98	-1.38	9.30	EX	91.19	0.40	7.72
I	92.26	2.05	-1.47	10.11	EI	90.79	0.46	8.41
II	91.17	1.86	1.90	6.72	EII	90.83	0.45	8.46
III	91.21	2.05	-1.87	10.30	EIII	90.93	0.47	8.30
C	92.65	2.11	-2.21	9.85	EC	91.32	0.45	7.40

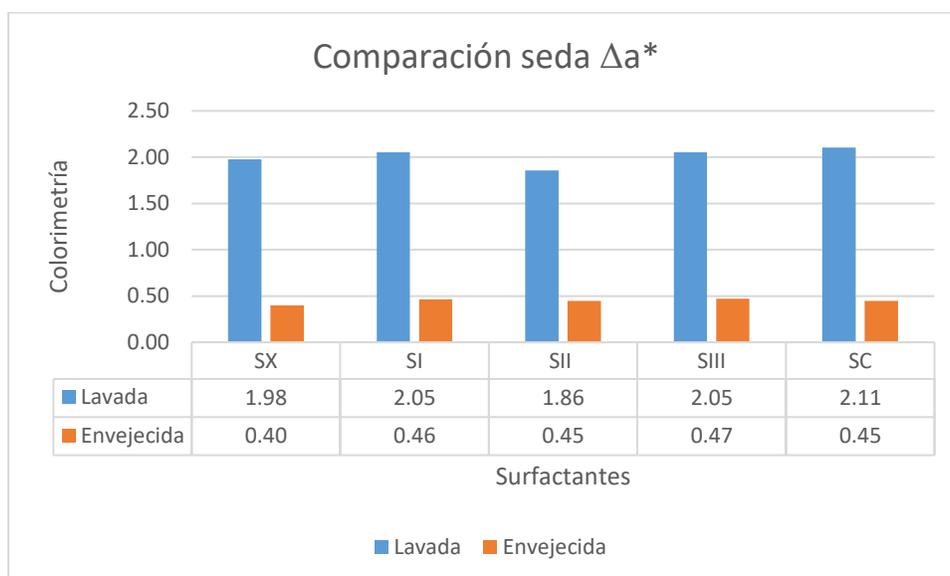
La luminosidad de todas las probetas de seda disminuyó ligeramente después del envejecimiento acelerado (ver gráfica 10). Esto significa que el tono se oscureció ligeramente y/o perdió un poco el brillo o lustre. La probeta de mayor cambio fue la lavada con saponinas de agave lechuguilla (1.47 unidades), después la probeta lavada con Canasol® (1.33 unidades) y después la probeta de referencia (1.14 unidades).

La pérdida de luminosidad puede estar relacionada con la acción mecánica llevada a cabo durante el lavado, ya que lo que aporta luminosidad a las fibras de seda es su superficie lisa. Al alterar esta superficie, la luz no refleja igual, observándose como pérdida de lustre. Sin embargo, los valores de cambio son de entre 1.47 a 0.28 en una escala que va del 0.00 al 100.00, por lo que la diferencia es mínima, así como la modificación de la superficie por la acción mecánica durante el lavado.



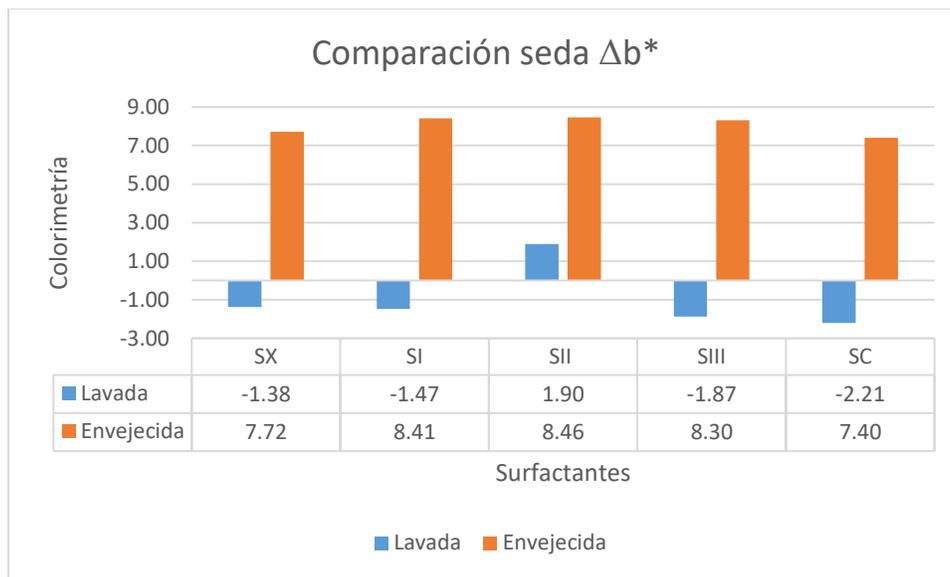
Gráfica 10. Comparación de ΔL^* de las probetas de seda lavadas y envejecida.

La coordenada a^* también disminuyó en todas las probetas (ver gráfica 11). Las probetas con mayor diferencia entre sus medidas antes y después del envejecimiento son la probeta lavada con Canasol® (1.66 unidades), después la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla (1.59 unidades). La probeta de referencia y la lavada con saponinas Sigma® obtuvieron la misma diferencia entre mediciones (1.58 unidades).



Gráfica 11. Comparación de Δa^* en las probetas de seda lavadas y envejecidas.

La coordenada b^* aumentó considerablemente en todas las probetas (ver gráfica 12). Las probetas con mayor diferencia fueron la lavada con saponinas Sigma® (10.18 unidades), seguida por la lavada con saponinas de lechuguilla (9.88 unidades) y después la probeta lavada con Canasol® (9.61 unidades).



Gráfica 12. Comparación de Δb^* en probetas de seda lavadas y envejecidas.

La probeta lavada con saponinas de lechuguilla y la lavada con Canasol® fueron las dos probetas con mayores diferencias entre mediciones en las coordenadas L^* y a^* , en distinto orden. En la coordenada b^* la probeta lavada con Sigma® obtuvo las mediciones más distintas entre sí, seguida de la probeta lavada con saponinas de lechuguilla, siendo esta última una constante en las tres coordenadas.

La diferencia de color (ΔE) entre las mediciones de todas las probetas de seda antes y después de envejecer se clasifica como una *fuerte diferencia* (Limbo & Piergiovanni, 2006). Esta diferencia se debe principalmente a la variación en la coordenada b^* , donde después del envejecimiento, las probetas cambiaron hacia un color más amarillo y cálido, a diferencia del amarillo pálido con tono gris, característico de la fibra de seda sana.

En la tabla 17 se muestran los colores de las probetas en RGB, antes y después del envejecimiento. Se distingue claramente el cambio de color entre las dos mediciones.

Tabla 17. Comparación de color de probetas de seda		
Tensoactivo	Color después del lavado	Color después del envejecimiento
X		
I		
II		
III		
C		

La fotooxidación afecta al enlace peptídico de los aminoácidos triptófano, tirosina y fenilalanina que conforman la región amorfa de la fibra de seda y a los grupos laterales, ya que absorben radiación de entre 250 a 300 nm (UV), provocando la fotólisis de la cadena molecular y el entrecruzamiento de radicales libres. La oxidación de los grupos laterales y el entrecruzamiento forman grupos cromóforos que provocan el cambio de color de la fibra hacia el amarillo, café, gris o rosado. Además, las altas temperaturas aceleran el amarillamiento de la seda. Se observa que el tono de las probetas envejecidas es más amarillo y ligeramente cálido que el color de las probetas antes del envejecimiento.

9.2. pH

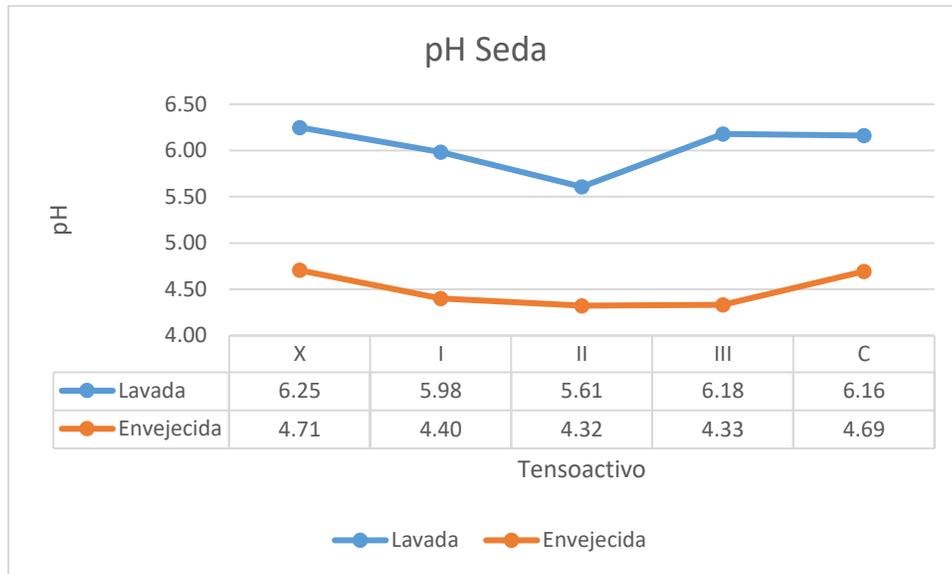
El pH de las probetas antes del envejecimiento tuvo una ligera tendencia ácida, ya que se encontraron por debajo del pH neutro 7, aunque fue más alto que el pH de las disoluciones de tensoactivos y el agua destilada del lavado. Las probetas más ácidas fueron la lavada con saponinas Biorganix® y la lavada con saponinas Sigma®, ambas a décimas y centésimas, respectivamente, de llegar al pH 6, el cual obtuvieron el resto de las probetas.

Después del envejecimiento, todas las probetas se acidificaron al pH 4 con diferencias mínimas entre ellas. Al final se encontraron las probetas lavadas con saponinas Biorganix® y saponinas Sigma®. Las dos primeras fueron la probeta de referencia y la probeta lavada con Canasol®.

Tensoactivo	Lavada	Envejecida	Diferencia
X	6.25	4.71	1.54
I	5.98	4.40	1.58
II	5.61	4.32	1.29
III	6.18	4.33	1.85
C	6.16	4.69	1.47

En la gráfica 13 se observa el comportamiento del pH antes y después del envejecimiento, donde es claro que las probetas de seda envejecida acidificaron bastante y de manera similar. Esto podría deberse a que la región amorfa de la fibra es propensa al rompimiento de los enlaces peptídicos y de hidrógeno, provocando la hidrólisis de la fibra de seda, al estar en condiciones ácidas. Es posible que las disoluciones utilizadas durante el lavado acuoso hayan contribuido a ello.

Las tres probetas lavadas con saponinas muestran valores ligeramente más bajos que la probeta de referencia y la probeta lavada con Canasol®, por lo que podrían contener un componente que contribuya a la acidificación, pero es de forma mínima y debería comprobarse con el estudio de los componentes específicos de cada una.



Gráfica 13. pH de las probetas de seda antes y después del envejecimiento acelerado.

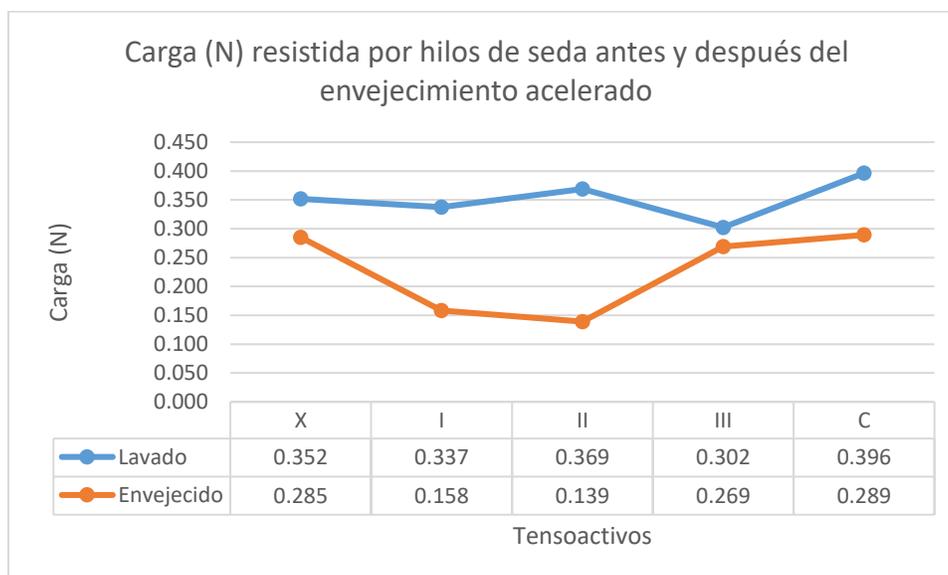
Otra hipótesis sobre la acidificación de la fibra de seda envejecida es que esta es propensa a enlazarse con dióxido de azufre presente en la atmósfera. Aunque es volátil, en presencia de humedad puede formar ácido sulfuroso que al oxidarse y en un ambiente húmedo, resulta en ácido sulfúrico (Tímár-Balázszy & Eastop, 1998). México es el cuarto emisor de dióxido de azufre (Simón, 2019), por lo que la contaminación de la Ciudad de México puede ser un contribuyente clave sobre la alteración de las fibras de seda.

9.3. Resistencia a la tensión

En la tabla 19 se muestran los valores de fuerza resistida (N), desplazamiento (mm) y la pendiente (N/mm) de los hilos ante la prueba de resistencia a la tensión antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio.

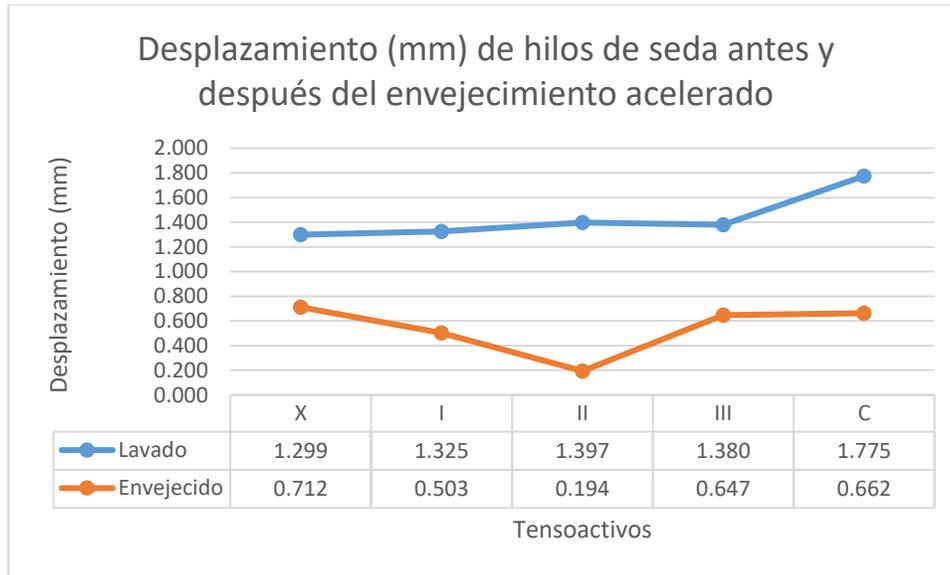
	N	mm	N/mm		N	mm	N/mm
X	0.352	1.299	0.283	EX	0.285	0.712	0.403
I	0.337	1.325	0.298	EI	0.158	0.503	0.254
II	0.369	1.397	0.292	EII	0.139	0.194	0.699
III	0.302	1.380	0.218	EIII	0.269	0.647	0.441
C	0.396	1.775	0.265	EC	0.289	0.662	0.434

Después del envejecimiento acelerado, la fuerza resistida por los hilos de seda de todas las probetas disminuyó. En los hilos de las probetas de referencia, Sigma® y Canasol® se observa un comportamiento similar, lo que es muy claro en la gráfica 14. Los hilos de las probetas lavadas con saponinas de agave lechuguilla y Biorganix® tuvieron la menor resistencia, reduciendo la fuerza resistida casi a la mitad de las otras tres probetas y prácticamente un tercio de la fuerza resistida por el mismo hilo antes de envejecer.



Gráfica 14. Gráfica de carga (N) resistida por los hilos de seda antes y después del envejecimiento acelerado.

Por otro lado, el desplazamiento de todas las probetas envejecidas disminuyó de manera considerable, siendo alrededor de la mitad del desplazamiento recorrido por los hilos antes del envejecimiento. La probeta cuyo hilo se desplazó menos después de envejecer fue el de la probeta lavada con saponinas Biorganix® (ver gráfica 15).



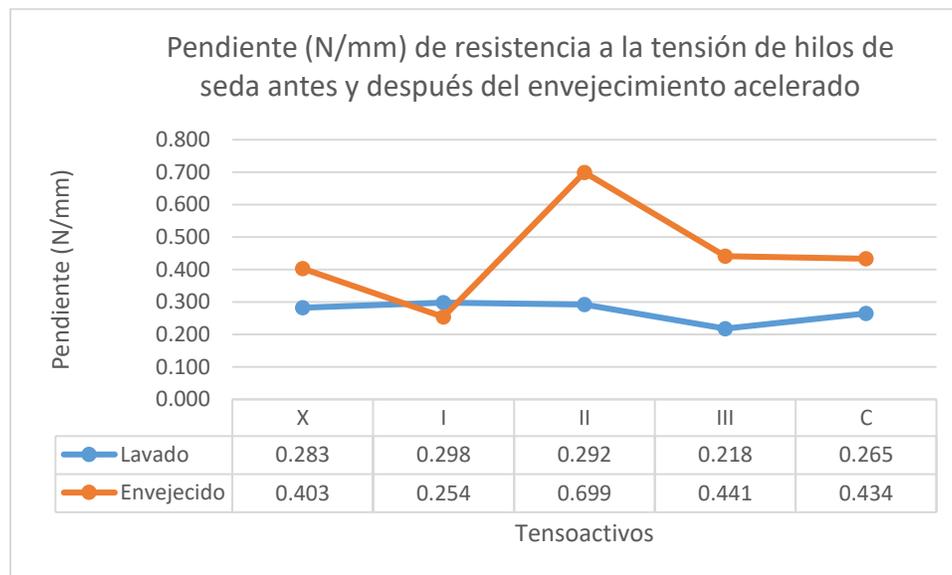
Gráfica 15. Gráfica del desplazamiento (mm) ante la tensión de los hilos de seda antes y después del envejecimiento acelerado.

La configuración lineal de la fibroína y su extensa región cristalina, le aportan a la fibra de seda sana gran resistencia a la tensión, aunque no tiene mucha capacidad de elongación ya que el arreglo molecular se encuentra completamente extendido. El desplazamiento de los hilos sanos puede deberse al trabajo de las fibras entorchadas en el hilo, las cuales se fueron desplazando y resistiendo la tensión hasta llegar a desfibrar el hilo y/o al punto de quiebre.

La fotoxidación de la cadena molecular de la seda, junto con la fluctuación de temperatura y pérdida de humedad, provocan el rompimiento de la cadena molecular, lo que a su vez propicia el entrecruzamiento de los radicales libres de los aminoácidos en la región amorfa de la fibra. Esto resulta en la rigidización y fragilidad de las fibras facilitando el quiebre, lo que explica la disminución de resistencia tan significativa en los hilos de seda envejecidos en laboratorio.

Otra explicación a la disminución de las propiedades que complementa lo anterior es que cuando la fibra de seda se encuentra en la región de pH neutral, entre el pH 6 a 8, como se encontraban las probetas después del lavado acuoso, es más propensa al daño por radiación.

Sobre el módulo de Young de los hilos de las probetas de seda, se observa que en todas las probetas excepto en la lavada con saponinas de agave lechuguilla, la pendiente de los hilos envejecidos es mayor a la pendiente de los hilos sanos (ver gráfica 16). Esto se debe a que de forma simultánea resisten menos carga y se desplazan menos y al realizar la operación para obtener la pendiente donde se dividen dos valores más pequeños (N/mm), el resultado es un módulo mayor y viceversa.



Gráfica 16. Gráfica del módulo de pendiente de la tensión de los hilos de seda antes y después del envejecimiento acelerado.

El comportamiento indica que las fibras envejecidas se volvieron más rígidas y frágiles. Los hilos de la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla es ligeramente menos rígida y por eso el comportamiento es distinto. Esto se aclarará en la parte 2 de los resultados por medio del análisis estadístico.

Parte 2. Comparación de los resultados de probetas envejecidas con tensoactivos contra probeta de referencia envejecida

La probeta de referencia tanto de fibras de algodón como de seda, marcó la alteración *normal* o esperada en las fibras tras los procesos llevados a cabo: lavado acuoso (humectación, acción mecánica, enjuague y secado) y envejecimiento acelerado en laboratorio con fluctuaciones de las variables de humedad, temperatura y radiación UV e IR.

Las alteraciones esperadas o normales representan los resultados de la interacción de la materia con el medio a través del tiempo (Marín & Méndez, 2013) y son conocidas y medidas, por lo que marcan un punto de comparación con los resultados de las probetas lavadas con distintos tensoactivos, permitiendo diferenciar como estos influyen en las fibras textiles y su estado de conservación. Los resultados que sean diferentes a lo esperado y observado en la probeta testigo, se atribuyen a la interacción del tensoactivo con las fibras, donde el efecto más allá de lo “normal” esperado implica una alteración en las propiedades o en el estado de conservación de las fibras.

Para conocer si la diferencia entre resultados implica una alteración que pone en riesgo el estado de conservación de las fibras, se utilizó una prueba estadística llamada *T-test*, *t* estadístico o prueba *t*, donde se indica qué tan significativa es la diferencia entre dos variables.

La prueba *t* cuantifica la diferencia entre las medias de dos grupos de muestras independientes donde se asume que sus varianzas son similares (Scipy, 2022), es decir, que se espera que las medias de ambos grupos se parezcan y, por ende, no exista una diferencia significativa entre los dos grupos de muestras, indicando donde si la haya. Esto se aplicó en los análisis de caracterización de las probetas envejecidas, contrastando los resultados con los obtenidos en la probeta de referencia envejecida.

Para llevar a cabo el análisis de datos con la prueba *t*, primero se requiere plantear una hipótesis nula (H_0), donde “el termino nulo se emplea para indicar que no hay otra diferencia entre el valor observado y el conocido que la atribuible a la variación

aleatoria” (Miller & Miller, 2002, p. 43). Es decir, que la suposición donde sus medias son iguales se cumple.

En esta prueba hay un intervalo de confianza o nivel de significación, el cual “proporciona la probabilidad de rechazar una hipótesis nula cuando ésta es verdadera” (Miller & Miller, 2002, p. 44). En este caso se utilizó un intervalo de probabilidad (P) de 0.05, lo que significa que los resultados son 95% confiables. Con el tamaño muestral y el valor de P se identifica el valor crítico de t en tablas estadísticas ya establecidas. Si el valor absoluto de t es mayor que el valor crítico para el n tamaño muestral de acuerdo con P, se rechaza la hipótesis nula, es decir, no son iguales sino significativamente diferentes.

Para calcular el estadístico t se utiliza la siguiente fórmula:

$$t = (\bar{x} - \mu)\sqrt{n/s}$$

En donde:

\bar{x} = es la media de los valores de las muestras,

n = es el tamaño muestral o cantidad de muestras consideradas en el análisis, y

s = es la desviación estándar muestral (Miller & Miller, 2002, p. 44).

Se realizó la prueba t para analizar los datos de diferencias en el pH y la resistencia a la tensión de los hilos de las probetas envejecidas utilizando el análisis de datos de Excel, comprobando los datos con Python™. El análisis de la diferencia de color se realizó con el parámetro de diferencias propuesto por Limbo y Piergiovanni (2006).

10. Fibras de algodón

10.1. Color

La siguiente tabla muestra las ΔE entre la probeta de referencia envejecida lavada únicamente con agua y las probetas envejecidas lavadas con distintas disoluciones de tensoactivos.

Tabla 20. Diferencias de color entre la probeta de ALGODÓN envejecida de referencia y las probetas envejecidas con tensoactivos.								
ALGODÓN ENVEJECIDO: Referencia				ΔE	ALGODÓN ENVEJECIDO: Tensoactivos			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AEX	90.76	0.73	5.50	2.13	AEI	89.49	0.94	7.21
				1.82	AEII	89.65	0.96	6.93
				1.44	AEIII	89.85	0.98	6.59
				0.51	AEC	90.59	0.77	5.98

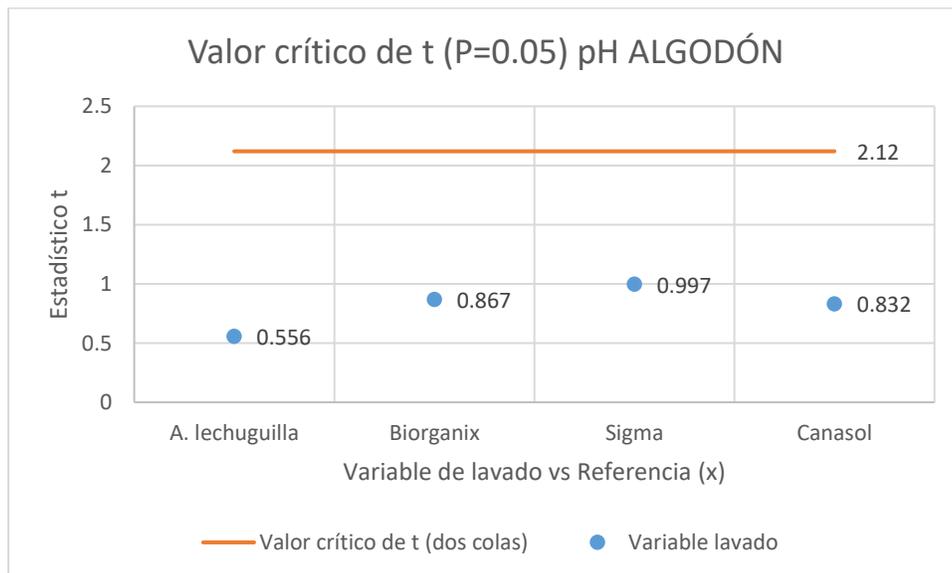
Las diferencias de valores entre la probeta envejecida de referencia y las probetas envejecidas lavadas con Biorganix®, Sigma® y Canasol® fueron entre $0.5 < \Delta E < 2$, por lo que se clasifican como *pequeña diferencia*, mientras que la diferencia de valores entre la probeta de referencia y la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla fue entre $2 < \Delta E < 3$, clasificada como *diferencia suficientemente perceptible*.

Ambas clasificaciones indican un cambio de color muy pequeño entre la probeta de referencia envejecida lavada únicamente con agua y las probetas envejecidas lavadas con tensoactivos, por lo que el uso de tensoactivos no representa una alteración de color negativa para las fibras de algodón.

10.2. pH

De acuerdo con la prueba estadística t , los valores por debajo del valor crítico de t para un grupo muestral con 16 grados de libertad (2.12) comprueban la H_0 en donde no hay diferencias significativas entre los resultados. Utilizando este análisis estadístico se compararon los valores entre el pH de la probeta de referencia envejecida y el pH de las probetas envejecidas lavadas con tensoactivos. En la tabla 14 se enlista el pH de las probetas.

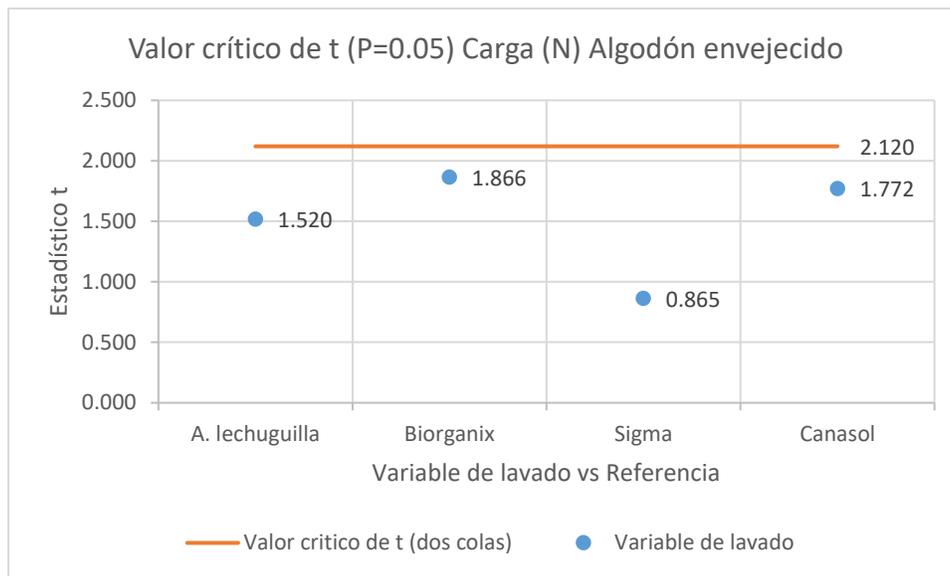
Como se observa en la gráfica 17, los valores de todas las probetas lavadas con tensoactivos están por debajo del valor crítico de t , lo que significa que su pH no es significativamente diferente al pH de la probeta de referencia, por lo tanto, su comportamiento es similar. Con esto se puede decir que el uso de saponinas no altera de manera negativa el pH de las fibras después de seis meses de envejecimiento acelerado en laboratorio y tampoco el uso de Canasol®.



Gráfica 17. Valor crítico de t del pH de las probetas de fibras de algodón envejecidas.

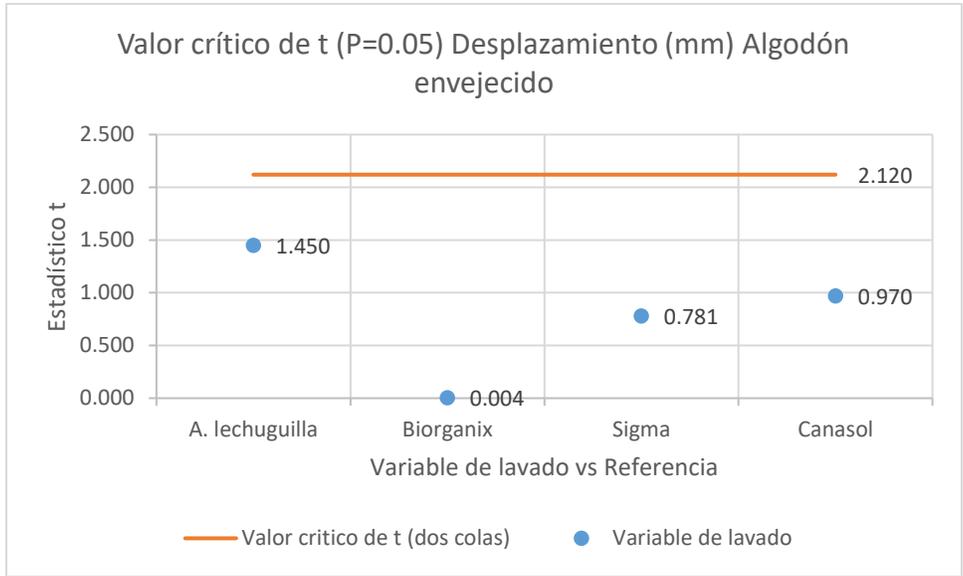
10.3. Resistencia a la tensión

En la prueba t de la carga (N) resistida, todos los valores de las probetas se encuentran por debajo del valor crítico de t (2.120) para un grupo muestral con 16 grados de libertad (ver gráfica 18). Esto quiere decir que se comprueba la H_0 en donde no hay diferencia significativa entre los dos grupos de muestras comparados, por lo que el uso de tensoactivos durante el lavado de fibras de algodón no provoca alteraciones negativas tras seis meses de envejecimiento acelerado en laboratorio.



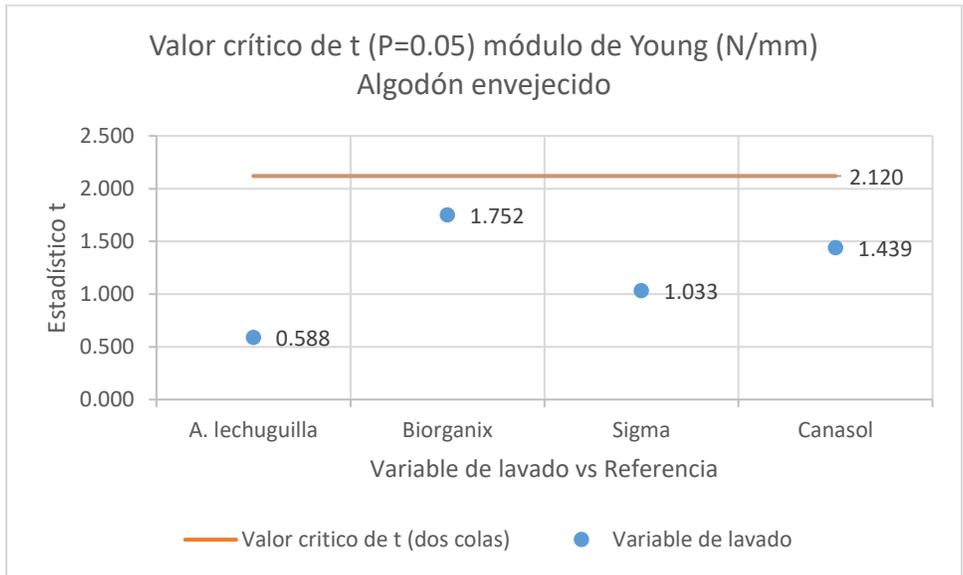
Gráfica 18. Valor crítico de t sobre la carga (N) resistida por los hilos de algodón envejecidos.

En la prueba t del desplazamiento, de nuevo todos los valores de las probetas se encuentran por debajo del valor crítico de t (2.120) para un grupo muestral con 16 grados de libertad (ver gráfica 19). Se comprueba la H_0 en donde no hay diferencia significativa entre los dos grupos comparados. El comportamiento de elongación, rigidización y quiebre de los hilos de algodón envejecidos con tensoactivos no es significativamente diferente al comportamiento de los hilos de referencia, por lo que el uso de tensoactivos durante el lavado acuoso no implica una alteración negativa en las fibras de algodón tras seis meses de envejecimiento acelerado en laboratorio.



Gráfica 19. Valor crítico de t sobre el desplazamiento (mm) ante la tensión de los hilos de algodón envejecidos.

Los valores del módulo de Young de los hilos de algodón envejecido comprueban la hipótesis negativa al estar por debajo del valor crítico de t . Por lo tanto, el comportamiento ante la fuerza de tensión de los hilos lavados con tensoactivos no es significativamente diferente al comportamiento del hilo de referencia.



Gráfica 20. Valor crítico de t del módulo de Young (N/mm) ante la tensión de los hilos de algodón envejecidos.

11. Fibras de seda

11.1. Color

La siguiente tabla muestra las diferencias de color (ΔE) calculadas entre la probeta de referencia lavada únicamente con agua y las probetas lavadas con distintas disoluciones de tensoactivos.

Tabla 21. Diferencia de color entre la probeta de SEDA envejecida de referencia y las probetas envejecidas con tensoactivos.								
SEDA ENVEJECIDA: Referencia				ΔE	SEDA ENVEJECIDA: Tensoactivos			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
SEX	91.19	0.40	7.72	0.80	SEI	90.79	0.46	8.41
				0.83	SEII	90.83	0.45	8.46
				0.65	SEIII	90.93	0.47	8.30
				0.34	SEC	91.32	0.45	7.40

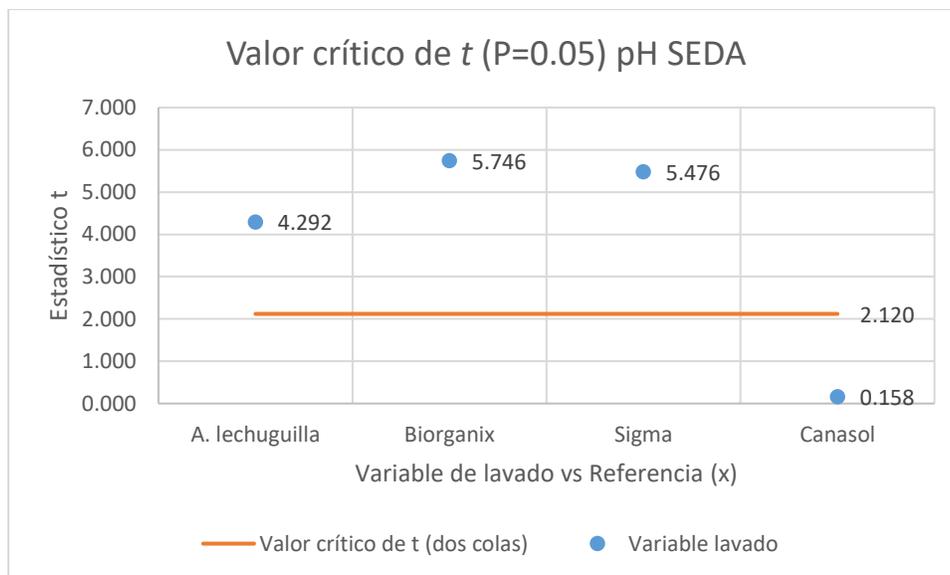
La diferencia de valor entre la probeta envejecida lavada con Canasol® y la probeta de referencia es de entre $0.2 < \Delta E < 0.5$, por lo que se clasifica como *diferencia muy pequeña*. Las diferencias de color entre la probeta de referencia y las tres probetas lavadas con saponinas se encuentran dentro del rango $0.5 < \Delta E < 2$, clasificadas como *pequeña diferencia*.

Ambas clasificaciones indican cambios mínimos de color, por lo que las probetas envejecidas de seda que fueron lavadas con las disoluciones de tensoactivos, incluidas las saponinas, no alteran el color de las fibras de seda de una manera muy distinta a las fibras envejecidas sólo con agua. Es por ello por lo que se puede decir que el uso de tensoactivos durante el lavado acuoso de fibras de seda no altera el color de manera negativa tras seis meses de envejecimiento acelerado en laboratorio.

11.2. pH

En el caso del pH de las probetas de fibras de seda envejecidas, las tres probetas lavadas con saponinas se encuentran por encima del valor crítico de t para un grupo muestral con 16 grados de libertad (ver gráfica 21). Esto quiere decir que se rechaza la H_0 , indicando que entre los dos grupos muestrales sí existe una diferencia significativa. En otras palabras, el pH medido de las tres probetas envejecidas lavadas con distintas disoluciones de saponinas sí es estadísticamente distinto al pH de la probeta de referencia.

Por otro lado, la probeta envejecida lavada con Canasol® sí se encuentra por debajo del valor crítico de t , por lo que no es significativamente diferente a la probeta de referencia envejecida.



Gráfica 21. Valor crítico de t del pH de las probetas de seda envejecidas.

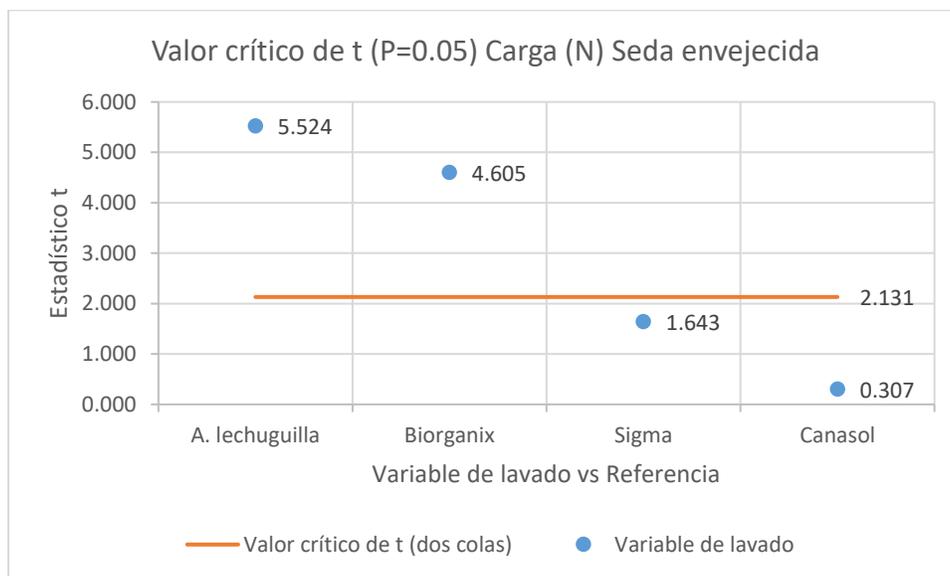
En la tabla 18 se muestran los pH de las probetas de seda después del envejecimiento, por lo que se pueden comparar los resultados obtenidos de las disoluciones de saponinas, Canasol® y la referencia. Todas las mediciones se ubican en el pH 4 con diferencias de centésimas en el caso del Canasol® y la referencia (0.02) y décimas entre las saponinas y la referencia (0.36 en promedio).

Aunque estadísticamente son distintas, las diferencias entre las mediciones son mínimas y se considera que el pH es el mismo para todas (pH 4).

11.3. Resistencia a la tensión

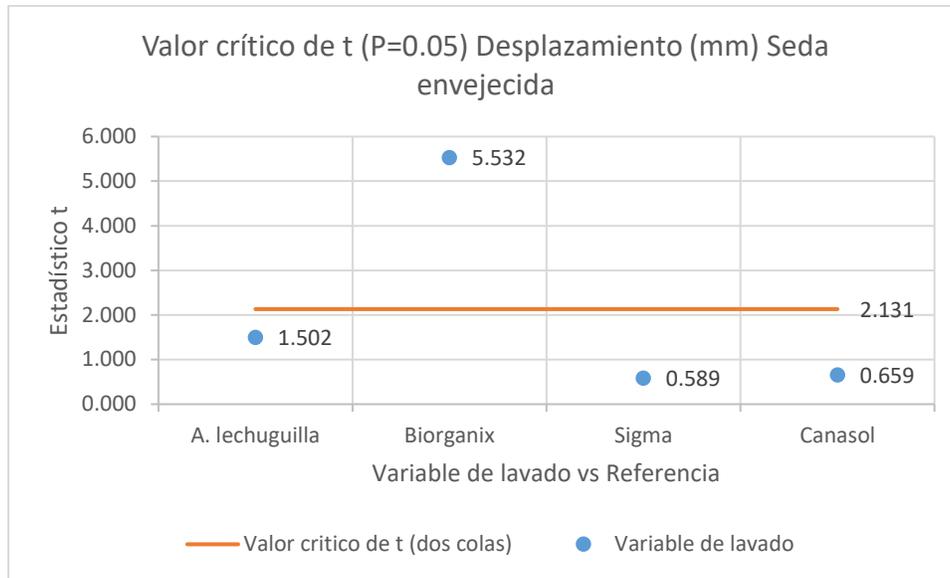
Sobre el análisis estadístico de la fuerza (N) resistida por los hilos de seda envejecidos, los hilos de la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla y saponinas Biorganix® se encuentran por arriba del valor crítico de t , por lo que se rechaza la H_0 , representando una diferencia significativa comparada con la probeta de referencia (ver gráfica 22).

Los hilos de la probeta lavada con saponinas Sigma® y con Canasol® están por debajo del valor crítico de t , se comprueba la hipótesis H_0 al no haber diferencias significativas en la fuerza (N) resistida con la probeta de referencia, por lo que el uso de estos dos tensoactivos durante el lavado acuoso no altera de manera negativa la resistencia en cuestión a la carga de las fibras de seda envejecidas en laboratorio.



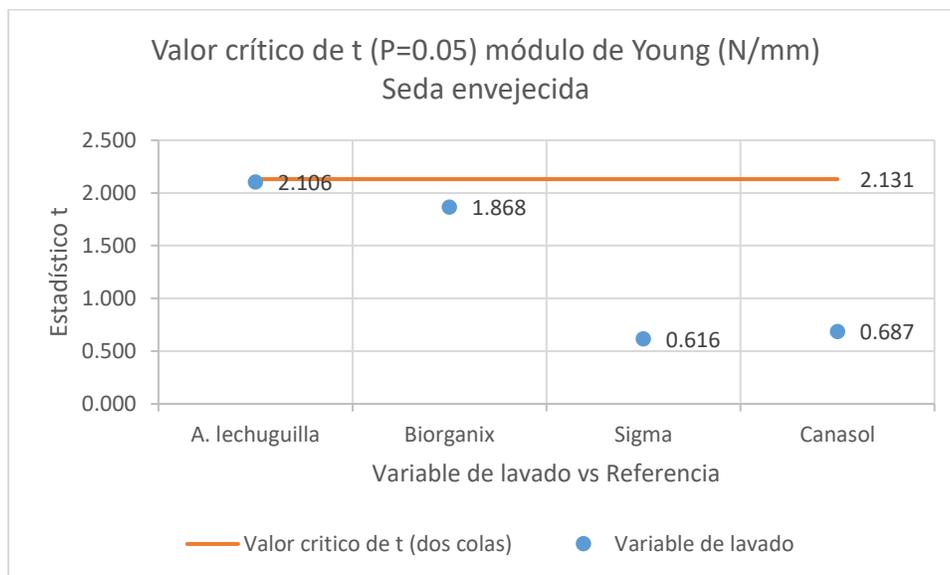
Gráfica 22. Valor crítico de t de la carga (N) resistida por los hilos de seda envejecidos.

En el análisis estadístico de la distancia recorrida durante la prueba de resistencia a la tensión de los hilos de seda envejecidos, la única probeta por arriba el valor crítico de t es la lavada con saponinas Biorganix®. Esto quiere decir que es la única significativamente diferente a la probeta de referencia. En cuanto al resto de las probetas, comprueban la H_0 , por lo que no son significativamente diferentes a la referencia y su uso no implica una alteración negativa en las fibras (ver gráfica 23).



Gráfica 23. Valor crítico de t del desplazamiento (mm) ante la tensión de los hilos de seda envejecidos.

Todos los valores del módulo de Young se encuentran por debajo del valor crítico de t , lo que significa que se comprueba la H_0 en donde los resultados del comportamiento de los hilos lavados con tensoactivos no son significativamente diferentes a los hilos de la probeta de referencia. Sin embargo, la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla se encuentra muy cerca del límite, por lo que es la más cercana a representar una diferencia significativa.



Gráfica 24. Valor crítico de t del módulo de la pendiente (N/mm) de los hilos de seda envejecidos.

12. Conclusiones

Tanto en las fibras de algodón como en las fibras de seda se observó una alteración en sus propiedades y características al comparar las fibras sanas con las mismas fibras tras el envejecimiento acelerado en laboratorio durante seis meses, en donde se expusieron a condiciones ambientales a las que se sabía iban a causar alteraciones en la cadena molecular de cada una. Estas alteraciones observables, medibles y sustentadas por la información bibliográfica, fueron el cambio de color, la modificación del pH y la disminución de resistencia a la tensión de los hilos medida por la fuerza resistida y el cambio en el desplazamiento. Todos ellos producto del daño a nivel molecular de las fibras.

Sobre la disminución de resistencia de las fibras se plantea que se debe al aumento de la región cristalina tras el entrecruzamiento de radicales libres ocasionados por la fotólisis e hidrólisis de la celulosa y la fibroína. La región cristalina es más dura que la región amorfa, por lo que disminuye la elasticidad de las fibras, volviéndolas más rígidas y frágiles, generando que se rompan con menor aplicación de fuerza. El sistema que forman las fibras entorchadas del hilo, donde trabajan juntas para tener aún más resistencia y elasticidad, deja de sustentarse tras el envejecimiento, ya que las fibras se fracturan en varios puntos y dejan de trabajar como un conjunto.

En el análisis de resistencia del algodón, las fibras envejecidas tuvieron una ligera disminución de la carga resistida y un desplazamiento ligeramente mayor que las fibras sanas. En las fibras sanas, el desplazamiento registra la elasticidad de las fibras hasta alcanzar el punto de quiebre, la cual no es muy elevada por la naturaleza de la fibra. En las fibras envejecidas el desplazamiento registra el desfibrado del hilo por el paulatino quiebre de las fibras rígidas en diferentes puntos mientras avanzan los pasos de la máquina, pero que aún tienen la capacidad de soportar cierta carga.

Ya que la seda es mucho más propensa al daño por radiación y se incrementa por las condiciones húmedas y ácidas, se observó una notable disminución de la resistencia a la tensión de las fibras envejecidas. Resistieron menos carga y se desplazaron mucho menos, ya que el aumento de la región cristalina de la fibra, de

por sí ya extensa de origen, las vuelve muy frágiles, cediendo casi al momento del esfuerzo.

Estas alteraciones se observaron en las probetas de referencia, así como en las probetas lavadas con tensoactivos, sin embargo, después del análisis estadístico de los resultados, se puede saber cuáles resultados van más allá del comportamiento esperado de las fibras envejecidas, por lo que pueden atribuirse al tensoactivo utilizado durante el lavado acuoso.

En el caso del algodón se observa que, estadísticamente, ninguna de las probetas lavadas con tensoactivo es significativamente diferente a la referencia respecto al cambio de pH, la fuerza (N), el desplazamiento (mm) o el módulo de Young (N/mm). Sobre el color, las probetas lavadas con saponinas Biorganix®, saponinas Sigma® y Canasol® se clasificaron como *pequeña diferencia*, mientras que la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla como *diferencia suficientemente perceptible*. Por esto, se podría decir que las saponinas que ya tuvieron un tratamiento o purificación no generan alteraciones significativas en las fibras de algodón y su uso durante el lavado acuoso puede reemplazar al tensoactivo sintético Canasol®.

En el caso de la seda, la probeta lavada con Canasol® es la única cuyo comportamiento no es significativamente distinto a la probeta de referencia. La diferencia de color entre ellas es *muy pequeña*. La probeta lavada con saponina Sigma® sólo es significativamente diferente a la referencia en el pH, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el pH de todas las probetas envejecidas fue de 4 con décimas de diferencia. En este caso, aunque la estadística marca una diferencia en los resultados obtenidos, las variaciones de pH son muy bajas y pueden ser explicadas por el volumen de agua empleado en cada caso y la sensibilidad del equipo. Por eso, se considera que el pH de todas las probetas es igual. Respecto al color, la probeta lavada con saponinas Sigma® tiene una *pequeña diferencia* con la probeta de referencia y puede considerarse un cambio aceptable.

Tras la observación y análisis de los resultados obtenidos de la experimentación, para las fibras de algodón y de seda se comprueba la hipótesis planteada en esta

tesis de que el uso de saponinas como tensoactivo durante el lavado acuoso de fibras textiles de algodón y seda no genera alteraciones negativas y pueden ser sustituir al Canasol®.

Después de las observaciones de color realizadas en las probetas cuatro años después, cuyo desarrollo se encuentra en el anexo 16.1.3., se concluye lo siguiente:

Después del nuevo enjuague, las probetas de algodón lavadas con saponinas de agave lechuguilla y las saponinas Sigma® no tuvieron una gran diferencia de color respecto a la probeta de referencia. Incluso, la diferencia fue tan pequeña que podrían considerarse del mismo color. Esto quiere decir que el comportamiento químico y mecánico de las fibras fue muy similar, por lo que el uso de estos tensoactivos no implica una alteración negativa sobre las fibras. La probeta lavada con Canasol® tuvo una mayor diferencia de color respecto a la probeta de referencia, mayor incluso que las dos saponinas anteriores. Con este argumento se favorece el uso de saponinas como alternativa al Canasol® durante el lavado acuoso de fibras textiles de algodón.

En las probetas de seda, el enjuague también redujo las diferencias de color. Las probetas lavadas con saponinas Sigma® tuvieron la menor diferencia respecto a la probeta de referencia, por lo tanto, la alteración de color de las fibras fue mínima. Su uso como tensoactivo no genera alteraciones negativas en las fibras y sus resultados fueron incluso mejores que los obtenidos con Canasol®.

Para ambos tipos de fibras (algodón y seda) el uso de saponinas Biorganix® implicó la modificación del color, el cual no disminuyó después del enjuague. Esto quiere decir que la fibra se ve alterada de manera negativa después de ser lavada con estas saponinas, por lo que se rechaza su uso.

Con este análisis se visibilizó la importancia del enjuague, ya que fue muy claro el cambio de color donde se redujo el amarillamiento de la mayoría de las probetas, excepto con saponinas Biorganix®. El enjuague realizado durante la fase experimental no fue suficiente, por lo que se sugiere realizar un enjuague más prolongado y puntual sobre la superficie de los textiles que asegure la completa

eliminación de los restos de tensoactivo y suciedad; además de la utilización del material adecuado con su respectiva comprobación como es el caso de la esponja marina. Un mejor enjuague es necesario tanto para saponinas como para Canasol®, ya que en las probetas lavadas con este último también se observó la reducción de amarillamiento después del enjuague.

Con los resultados del envejecimiento acelerado en laboratorio y el análisis de diferencias de color después de cuatro años, se comprueba que las saponinas marca Sigma® utilizadas como tensoactivo en el lavado acuoso de fibras textiles de algodón y seda no provoca alteraciones negativas en las fibras. Y se vuelve a comprobar la hipótesis planteada.

A pesar de ser un material costoso, la concentración necesaria para realizar un lavado con buenos resultados es muy pequeña (0.1%), por lo que la inversión será redituable por mucho tiempo.

13. Reflexiones finales

Si se decide realizar el lavado acuoso de bienes de fibras textiles, el uso de tensoactivos es indispensable para remover satisfactoriamente sustancias que podrían ocasionar daños físicos y/o químicos a las fibras e impliquen interrupciones visuales que alteren su apariencia. Sin embargo, la conciencia ambiental de las acciones realizadas en los ámbitos profesionales, así como la importancia de la salud de usuarios y todos los organismos vivos y ecosistemas, lleva a la búsqueda de alternativas de tensoactivos que tengan un buen desempeño, pero, sobre todo, sean amigables con el medio ambiente, de baja toxicidad y pronta degradación.

Recabar información que complementa el conocimiento que se tiene sobre las saponinas y llevar a cabo metodologías que comprueben su desempeño, enriquece a la conservación-restauración de bienes culturales textiles. Además, contribuye a que la profesión en México se encamine hacia una conciencia ambiental que nos concierne a todos los habitantes del planeta en este momento tan crítico para el futuro y nuestro porvenir.

Como conservadores del patrimonio cultural, no hay que tomar decisiones solamente basadas en las necesidades de un bien, sino ampliar la visión de la conservación hacia nuestro entorno y el planeta. La conciencia ecológica y la propuesta de nuevos materiales que pueden ser una alternativa más segura para los usuarios y menos tóxica para el medio ambiente, da pie a nuevos planteamientos y discusiones en el ámbito de la conservación-restauración. El compromiso de *conservar* va mucho más allá del objeto y su materialidad. Este compromiso incluye al medio, el espacio y los seres que lo rodean. Todo esto coexiste en un mismo lugar: el planeta Tierra. Es por eso por lo que la conciencia de nuestras acciones debe incluir no solo la preservación del objeto u objetos culturales sino del nicho y hogar de las culturas o eventos que los formaron, respetando por igual aquello que no necesariamente pertenece a ellas pero que comparte el mismo hábitat y tiempo. Al mismo tiempo que se debe de pensar en el futuro, ya que la huella que se deja sobre el objeto y el mundo debe ser positiva.

14. Aportes conseguidos durante la realización de la tesis

Como parte de la construcción de la tesis, se involucró la búsqueda de información en fuentes bibliográficas especializadas, el planteamiento de una experimentación seria que requirió desde la preparación de disoluciones hasta la construcción de una cámara de envejecimiento acelerado. Además del uso de equipos analíticos en distintos laboratorios para la caracterización de las propiedades de las probetas, y el análisis de datos donde se manejaron pruebas estadísticas y softwares de programación para manejar los datos y obtener resultados confiables.

En el transcurso de los años que tomó la realización de la tesis, las ideas y la profundización en los temas se fueron definiendo, acompañado por el apoyo de distintos profesionales que aportaron su conocimiento para solucionar dudas y trabas. Estas conexiones no solo enriquecen el trabajo académico sino el crecimiento personal, por lo que la plática, el intercambio de ideas y resolución de problemáticas en conjunto tienen un reconocimiento especial.

Esta es la forma en la que el ser humano genera conocimiento: compartiendo y pensando en conjunto.

15. Referencias bibliográficas

- Achaw, O., & Danso-Boateng, E. (2021). *Chemical and Process Industries*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1>
- Ali, M., & Fawzy, M. (2021). the Effect of the Vapors of Clove and Lavender Oils on the Chemical and Optical Properties of Silver Gelatin Prints in Wood Frames. *International Journal of Conservation Science*, 12(3), 961–976.
- Appelbaum, B. (2007). *Conservation Treatment Methodology*. Butterworth-Heinemann.
- ASTM D 3822-07. (2007). *Standard Test Method for Tensile Properties of Single Tensile Fibers*.
- ASTM G 151-00. (2000). Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources. En *G 151-00* (pp. 1–11). ASTM. <https://doi.org/10.1520/G0151-10.2>
- ASTM G 154-98. (1998). *Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials* (pp. 724–732). ASTM.
- Atkins, P., & De Paula, J. (2006). *Atkins' Physical Chemistry* (8th ed). Oxford.
- Beiser, A. (2003). *Concepts of Modern Physics* (6th Ed.). McGraw-Hill.
- Biorganix. (2018a). *Ficha Técnica Biotika®Saponin-L* (p. 1). Grupo Fagro.
- Biorganix. (2018b). *Hoja de datos de seguridad Biotika®Saponin-L* (pp. 1–3). Grupo Fagro.
- Brick, C. J. (1954). The silk fibers and yarns. En *Matthews' Textile Fibers. Their physical, microscopical and chemical properties*. (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Callahan, C. W., Elansari, A. M., & Fenton, D. L. (2019). Psychrometrics. En E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities* (pp. 271–310). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813276-0.00008-0>

- Capek, I. (2019). Preparation of polymer-based nanomaterials. En *Nanocomposites Structure and Dispersions* (Second ed., pp. 175–265). Elsevier Science.
- Castro, J. G. (2012). *Diseño, construcción y prueba de un sistema de análisis termogravimétrico*. UNAM.
- Cheok, C. Y., Salman, H. A. K., & Sulaiman, R. (2014). Extraction and quantification of saponins: A review. *Food Research International*, 59, 16–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.057>
- CIE. (2020). *About the CIE*. <http://cie.co.at/about-cie>
- Colorizer.org. (s/f). *Colorizer*. Recuperado el 13 de julio de 2020, de <http://colorizer.org/>
- Contreras, J. (2010). El camino de la fórmula: el caso del uso de tiourea para limpieza de pata. *Intervención*, 1(1), 45–51.
- Corona, A. (2012). *Análisis comparativo y caracterización de fibras textiles deterioradas: algodón, lino, lana y seda*. ENCRyM-INAH.
- Datacolor. (2020). *How are DE76 and DE2000 Different?* Datacolor. <https://www.datacolor.com/color-systems-cielab-cie2000/>
- Dudle, R. S. (1958). *Manual del metalista*. Gutavo Gili.
- Erhardt, T., Blümcke, A., Bürger, W., Märklin, M., & Quinzler, G. (1980). *Tecnología textil 2. Fibras naturales y artificiales*. Trillas.
- European Biomass Industry Association. (2020). *Bio-waste*. <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biowaste/>
- European Chemicals Agency. (2019). *Nonylphenol*. Substance Infocard. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.042.414>
- European Commission. (2019). *Biodegradable Waste*. Environment. <https://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm>
- García-Alonso, L., & Sámano, M. (2016). La transferencia de tecnología tradicional

- como alternativa para la conservación sostenible. *Conservación y restauración*, 32–36.
- Gargano, M., Rosina, E., Monticelli, C., Zanelli, A., & Ludwig, N. (2017). Characterization of aged textile for archeological shelters through thermal, optical and mechanical tests. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.01.009>
- Goldthwait, C. F., & Guthrie, J. D. (1954). Cotton fiber: Chemical properties. En *Matthews' Textile Fibers. Their physical, microscopical and chemical properties*. (6th ed.). John Wiley & Sons.
- González-Varas Ibáñez, C. (2001). *Conservación de bienes culturales: teoría, principios y normas*. Cátedra.
- González, C. (2010). El restaurador como artista-intérprete. *Intervención*, 1(1), 7–15.
- González, R. C. (1998). *Light, temperature and humidity in the museum environment*. De Montfort University-School of Applied Science.
- Góral, I., & Wojciechowski, K. (2020). Surface activity and foaming properties of saponin-rich plants extracts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 279, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102145>
- Hart, H., & Schuetz, R. D. (1980). *Química orgánica*. Publicaciones Cultural.
- Hernández, R., Lugo, E. C., Díaz, L., & Villanueva, S. (2005). Extracción y cuantificación indirecta de las saponinas de Agave lechuguilla Torrey. *e- Gnosis Revista Digital Científica y tecnológica*, 3, 3–12.
- Hollen, N. (2002). *Introducción a los textiles*. Limusa.
- Ibrahim, M. M., & Mohamed, H. M. (2021). Experimental study to evaluate the efficiency of some gap filling materials of archaeological pottery. *European Journal of Science and Theology*, 17(6), 119–128.
- International Fabricare Institute. (1995). *Fibers and Fabrics. A self-study course*.

International Fabricare Institute.

ISO/CIE 11664-4:2019. (2019). *Colorimetry-Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space* (p. 8).

Jiang, X., Hansen, H. C. B., Strobel, B. W., & Cedergreen, N. (2018). What is the aquatic toxicity of saponin-rich plant extracts used as biopesticides? *Environmental Pollution*, 236, 416–424. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.058>

Joseph, M. L. (1977). *Introductory textile science* (3rd Ed.). Holt, Rinehart and Winston.

Kiron, M. I. (2021). *Physical, Chemical and Mechanical Properties of Silk Fiber*. Textile Learner. <https://textilelearner.net/properties-of-silk-fiber/>

Knepper, T. P., & Berna, J. L. (2003). Surfactants: Properties, production, and environmental aspects. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 40, 1–49. [https://doi.org/10.1016/S0166-526X\(03\)40004-4](https://doi.org/10.1016/S0166-526X(03)40004-4)

Kolb, D. (1979). The pH concept. *Journal of Chemical Education*, 56(1), 49–53. <https://doi.org/10.1021/ed056p49>

Konica Minolta. (s/f). *Entendiendo el espacio de color CIE L*a*b**. Recuperado el 22 de abril de 2020, de <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Landi, S. (1992). *Textile Conservator's Manual* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Landi, S. (1998). *Textile Conservator's Manual* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Lara, E. (2018). *Evaluación experimental de un producto de saponinas derivado del Agave lechuguilla como surfactante para el lavado acuoso de textiles*. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía-INAH.

Lenz del Río, A. (1969). *Química orgánica elemental*. Patria.

Limbo, S., & Piergiovanni, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes: Part

1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biology and Technology*, 39(3), 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.016>
- Liu, Z., Li, Z., Zhong, H., Zeng, G., Liang, Y., Chen, M., Wu, Z., Zhou, Y., Yu, M., & Shao, B. (2017). Recent advances in the environmental applications of biosurfactant saponins: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(6), 6030–6038. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.021>
- Luo, M. R., Cui, G., & Rigg, B. (2001). The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research and Application*, 26(5), 340–350. <https://doi.org/10.1002/col.1049>
- MacInnes, D. A. (1951). pH. *Scientific American*, 184(1), 40–43.
- Magar, V. (2010). Responsabilidad en la acción y la formación en la conservación. *Intervención*, 1(1), 19–25.
- Marín, M. E., & Méndez, D. M. (2013). Una reflexión sobre La noción de pátina y la limpieza de las pinturas, de Paul Philippot. *Intervención Revista Internacional de Conservación Restauración y Museología*, 7(1), 62–74. <https://doi.org/10.30763/intervencion.2013.7.90>
- MathWorks®. (2020). *What is MATLAB®?* <https://uk.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html>
- Miller, J. N., & Miller, J. C. (2002). Estadística y quimiometría para química analítica. En *Pearson Education S.A.* <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Estadística+Y+Quimiometría+para+Química+Analítica#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Estadística+y+quimiometría+para+química+analítica#0>
- Mitra, S., & Dungan, S. R. (1997). Micellar Properties of Quillaja Saponin. 1. Effects of Temperature, Salt, and pH on Solution Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(5), 1587–1595. <https://doi.org/10.1021/jf960349z>

- Mondelo, D. (2018). *Conceptos sobre espacios de color, CIE 1931 XYZ y CIELAB*.
<https://diegomondelo.com/espacio-de-color-cielab/>
- Monterrosas Brisson, N. (2013). *Evaluación de especies de Agave sobre los procesos fisiopatológicos asociados al Alzheimer* [Instituto Politécnico Nacional].
[https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12807/1/Tesis Doctorado Nayeli Monterrosas Brisson.pdf](https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12807/1/Tesis%20Doctorado%20Nayeli%20Monterrosas%20Brisson.pdf)
- Morton, W. E., & Hearle, J. W. S. (2008a). Tensile properties. En *Physical Properties of Textile Fibres* (4th ed., pp. 274–321). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9781845694425.274>
- Morton, W. E., & Hearle, J. W. S. (2008b). Testing and sampling. En *Physical Properties of Textile Fibres* (4th ed., pp. 82–96). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9781845694425.82>
- Moyano, N. (2011). *La climatización e iluminación de la sala durante las exposiciones de obras de arte. Conservación y restauración del patrimonio 4* (C. Bello & Á. Borrell (eds.)). Trea.
- Müller, P. (1994). Glossary of terms used in physical organic chemistry (UPA Recommendations). *International Union of Pure and Applied Chemistry*, 66(5), 1077–1184.
- Muñoz-Viñas, S. (2004). *Teoría contemporánea de la restauración*. Síntesis.
- Muntaha, S. T., & Khan, M. N. (2015). Natural surfactant extracted from *Sapindus mukurossi* as an eco-friendly alternate to synthetic surfactant - A dye surfactant interaction study. *Journal of Cleaner Production*, 93, 145–150.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.023>
- Myers, G. (1992). Soap and Detergents. En A. M. Pearson & T. R. Dutson (Eds.), *Inedible meat by-products* (1a ed., pp. 149–176). Springer Dordrecht.
- Negi, J. S., Negi, P. S., Pant, G. J., Rawat, M. S., & Negi, S. (2013). Naturally occurring saponins: Chemistry and biology. *Journal of Poisonous and Medicinal Plant Research*, 1 (1), 001–006.

- Nickerson, R. F. (1954). Cotton: History, growth and statistics. En *Matthews' Textile Fibers. Their physical, microscopical and chemical properties*. (pp. 102–256). John Wiley & Sons.
- Novelo, A. M., & Gracia, J. (2005). Concentración micelar crítica mediante la ecuación de adsorción de Gibbs. *Educación Química*, 16(1), 63–67. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.1.66139>
- Olea, N., Fernández, M. F., Rivas, A., & Olea-Serrano, F. (2003). Estrogenicity of surfactants. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 40, 887–911.
- Olney, L. A. (1947). *Tecnología química de las fibras textiles* (9na ed.). El Ateneo.
- Pfoertner, K.-H. (2012). Photochemistry. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 1–29. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/14356007.a19_573.pub2
- Philippot, P. (1996). El concepto de pátina y la limpieza de pintura. *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 15(4), 92–94. <https://doi.org/10.33349/1996.15.340>
- PRTR España. (2019). *Nonifenol y etoxilatos de nonifenol (NP/NPE)*. Gobierno de España. <http://www.prtr-es.es/Nonifenol-y-Etoxilatos-de-nonifenol,15651,11,2007.html>
- Quantotec. (s/f). *Color y Luz. Colorimetría*. Recuperado el 17 de abril de 2019, de <http://www.quantotec.com/sp/Colorimetria.htm>
- Química.es. (s/f). *Fotoquímica*. Recuperado el 2 de septiembre de 2019, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Fotoquímica.html>
- Resendiz Vega, M., & García Melo, J. A. (2019). Effectiveness of Humic Acids, Fulvic Acids and lechuguilla extract (Agave lechuguilla), as biosurfactants in the Remediation of soils contaminated with Hydrocarbons. *Journal of Enviromental Sciences and Natural Resources*, 5(16), 17–25. <https://doi.org/10.35429/jesn.2019.16.5.17.25>

- Reyes, J. A., Aguirre, J. R., & Peña, C. B. (2000). Biología y aprovechamiento de Agave lechuguilla Torrey. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 067(67), 75–88. <https://doi.org/10.17129/botsci.1626>
- Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012a). Characteristic Features of Surfactants. En *Surfactants and Interfacial Phenomena* (4th ed., pp. 1–38). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118228920.ch1>
- Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012b). Micelle Formation by Surfactants. En *Surfactants and Interfacial Phenomena* (4th ed., pp. 123–201). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118228920.ch3>
- Sáez, M., de Voogt, P., & González-Mazo, E. (2003). Bioconcentration. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 40, 869–886.
- Samal, K., Das, C., & Mohanty, K. (2017). Eco-friendly biosurfactant saponin for the solubilization of cationic and anionic dyes in aqueous system. *Dyes and Pigments*, 140, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.01.031>
- Santini, E., Jarek, E., Ravera, F., Liggieri, L., Warszynski, P., & Krzan, M. (2019). Surface properties and foamability of saponin and saponin-chitosan systems. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 181(January), 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.05.035>
- Schmitt, C., Grassl, B., Lespes, G., Desbrières, J., Pellerin, V., Reynaud, S., Gigault, J., & Hackley, V. A. (2014). Saponins: A renewable and biodegradable surfactant from its microwave-assisted extraction to the synthesis of monodisperse lattices. *Biomacromolecules*, 15(3), 856–862. <https://doi.org/10.1021/bm401708m>
- Science History Institute. (2018). Søren Sørensen. <https://www.sciencehistory.org/historical-profile/soren-sorensen>
- Scipy. (2022). *Scipy.stats.ttest_ind*. https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.ttest_ind.html
- Sharma, G., Wu, W., & Dalal, E. N. (2005). The CIEDE2000 color-difference formula:

- Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research and Application*, 30(1), 21–30.
<https://doi.org/10.1002/col.20070>
- Showell, M. (2006). Introduction to detergents. En M. S. Showell (Ed.), *Handbook of detergents. Part D: Formulation* (pp. 1–26). Taylor & Francis.
- Sigma-Aldrich. (2019). *Ficha de datos de seguridad Saponina 84510* (pp. 1–9). Millipore Sigma.
- Simón, A. (2019). *Vergonzoso: México cuarto lugar global de emisiones de dióxido de azufre y “quiere más”*. Greenpeace.
<https://www.greenpeace.org/mexico/noticia/3089/vergonzoso-mexico-cuarto-lugar-global-de-emisiones-de-dioxido-de-azufre-y-quiere-mas/>
- Song, S., Zhu, L., & Zhou, W. (2008). Simultaneous removal of phenanthrene and cadmium from contaminated soils by saponin, a plant-derived biosurfactant. *Environmental Pollution*, 156(3), 1368–1370.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.06.018>
- Southwick, C. (2019). *Sustainability in Conservation: Saving Our Heritage and Our Planet*. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.
<https://www.iiconservation.org/content/sustainability-conservation-saving-our-heritage-and-our-planet>
- TALAS. (s/f). *Tela Reemay*. Tela Reemay.
<https://www.talasonline.com/Reemay?quantity=1&number=563>
- Thomson, G. (1986). *The museum environment* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Thomson, G. (1998). *El museo y su entorno*. Akal.
- Tímár-Balázsy, Á. (1994). *Basic Chemistry. Proteins. SPC Notes* (pp. 1–13). ICCROM.
- Tímár-Balázsy, Á., & Eastop, D. (1998). *Chemical Principles of Textile Conservation*. Butterworth-Heinemann.

- Troisi, J., Di Fiori, R., Pulvento, C., D'Andria, R., Vega, A., Miranda, M., Martínez, E., & Lavini, A. (2014). Saponinas. En D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 317–330). FAO-CIRAD. <https://doi.org/10.13140/2.1.1568.5129>
- Tucker, I. M., Burley, A., Petkova, R. E., Hosking, S. L., Thomas, R. K., Penfold, J., Li, P. X., Ma, K., Webster, J. R. P., & Welbourn, R. (2020). Surfactant/biosurfactant mixing: Adsorption of saponin/nonionic surfactant mixtures at the air-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, *574*, 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.04.061>
- Universidad de Salamanca. (s/f). *Autocatálisis*. Dicciomed. Recuperado el 25 de agosto de 2022, de <https://dicciomed.usal.es/palabra/autocatalisis>
- Vincken, J. P., Heng, L., de Groot, A., & Gruppen, H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*, *68*(3), 275–297. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.10.008>

16. Anexos

16.1. Anexo 1. Información complementaria

16.1.1. Información sobre las saponinas empleadas durante la experimentación

a. Saponinas de fibras de agave lechuguilla CHAHIN

Las saponinas de origen natural se obtuvieron de la planta agave lechuguilla, recolectada del estado de Hidalgo y distribuida comercialmente por la casa productora mexicana CHAHIN. En el empaque se encuentran fragmentos secos de la fibra de distintos tamaños, hojas y polvo de la misma planta.

Sin embargo, al tratarse de una distribuidora pequeña sin fines farmacéuticos o químicos, no se tiene más información sobre el producto.

b. Saponinas Biotika®Saponin-L de Biorganix®

Las saponinas Biotika®Saponin-L son de la marca Biorganix® de Grupo Fagro. Están elaboradas con “extracto de *Agave lechuguilla* Torrey, el cual posee un alto contenido de saponinas esteroidales” (Biorganix, 2018a, p. 1). Son un polvo de color café oscuro, con algunos fragmentos más grandes que otros y se recomienda su uso como bioestimulante para plantas, para mejorar el suelo de cultivo, para el riego de plantas gramíneas, hortalizas y frutales para consumo humano.

Según la ficha técnica del producto, contiene 98% de extracto de lechuguilla y 2% de diluyentes, especificando que son extractos de cítricos en la hoja de seguridad. Es soluble en agua y al 1% en agua tiene un pH de 4 a 5.5. Puntualizando que no se debe de mezclar con álcalis (Biorganix, 2018a). Sobre su toxicidad la hoja de seguridad no presenta datos sobre su efecto en peces, pero sí señala cierta alteración en algas y animales invertebrados. En cuanto a los riesgos para la salud del ser humano se recomienda que, en contacto con piel, ojos o boca, se enjuague con abundante agua y en caso de que las molestias persistan, consultar a un médico. En cuanto a la persistencia, degradabilidad, bioacumulación o movilidad en suelos no hay datos disponibles (Biorganix, 2018b).

Muchos rubros de la ficha técnica y hoja de seguridad sobre las características y comportamiento de la sustancia carecen de información ya que sólo presenta lo que se conoce hasta el momento. Esto hace notar la falta de conocimientos sobre las saponinas provenientes de la lechuguilla, su potencial como tensoactivo y su implicación ambiental.

c. Saponinas Saponin84510 de Sigma-Aldrich®

Las saponinas *Saponin84510* de Sigma-Aldrich, son las más procesadas y purificadas de las tres utilizadas durante la experimentación. Son de origen alemán y se distribuyen en un contenedor de cien gramos con una presentación de polvo fino de color amarillo claro que no necesita más tratamientos de purificación.

Sobre la toxicidad para el ser humano, en caso de contacto cutáneo u ocular, la hoja de seguridad recomienda lavar el área con abundante agua y consultar al médico en caso de que persistan molestias.

En la hoja de seguridad no hay datos disponibles sobre el pH, la solubilidad, efectos toxicológicos y la misma hoja menciona que no se ha investigado lo suficiente sobre las propiedades químicas, físicas y toxicológicas del producto (Sigma-Aldrich, 2019). Se puntualiza que la información es correcta pero no busca ser exhaustiva, es únicamente orientación basada en la información y conocimiento que se tiene en la actualidad del producto, por lo que se toman precauciones de seguridad indispensables mínimas como evitar que el producto entre al sistema de alcantarillado.

El producto no contiene componentes que en niveles mayores o iguales a 0.1% se haya identificado como probable, posible o confirmado agente cancerígeno por el IARC, NTP o la lista OSHA (Sigma-Aldrich, 2019, p. 7).

16.1.2. Cámara de envejecimiento acelerado en laboratorio

a. Construcción de la cámara de envejecimiento acelerado

La cámara de envejecimiento es un contenedor cerrado cuya estructura y tapa son de cartón corrugado rígido, adherido con pegamento blanco y cinta de papel engomada. Se añadieron dobles tiras de cartón en los bordes para reforzar y fortalecer la estructura. La cinta engomada contribuye al fortalecimiento, pero también a homogeneizar los bordes del cartón y disminuir los huecos que podrían representar una variable no deseada en las condiciones ambientales, así como un riesgo por el crecimiento de microorganismos.

El interior de la cámara se forró de papel aluminio comercial, el cual realiza la función de aislar al cartón de la humedad que llega a contener la cámara, reflejar la radiación que emiten las lámparas de focos incandescentes y de luz UV y concentrar la temperatura y humedad al interior. El aluminio como recubrimiento es una alternativa económica y práctica además de funcional. Se recomienda para contener las probetas por tratarse de una aleación resistente a la corrosión (ASTM G 154-98, 1998) ya que “se forma una capa de óxido [estable] en su superficie” (Dudle, 1958, p. 161).

En el borde superior de las paredes más angostas se realizaron cortes a la forma y medida de las lámparas, por lo que la pared funciona como soporte de estas y asegura la posición de los focos durante todo el experimento, cuya distribución permite irradiar el interior homogéneamente (ver figura 34a). En la cara externa de estas mismas paredes se colocaron asas de cartón forradas de cinta engomada para facilitar la manipulación de la cámara (ver figura 34b).

En una de las paredes de los costados se realizaron dos perforaciones que permiten tener acceso a los contenedores plásticos llenos de agua destilada y esferas de hidrogel para extender la evaporación del agua y mantener la humedad. Los orificios permiten revisar los contenedores y agregar agua destilada de manera regular cuando se evapora el contenido, sin necesidad de mover las probetas (ver figura 35).

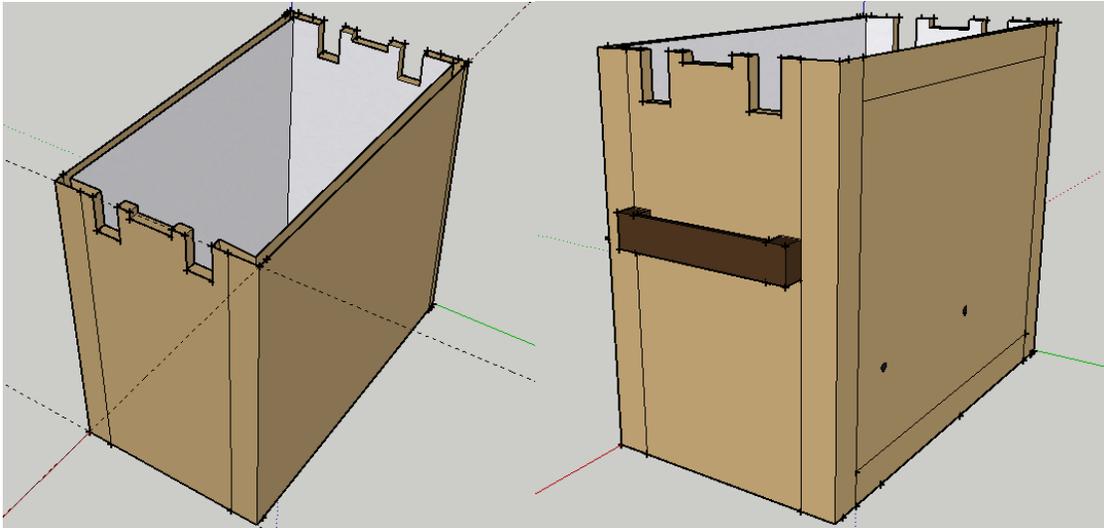


Figura 34. a. Esquema de la estructura de cartón corrugado y papel aluminio de la cámara de envejecimiento.
b. Asa de cartón y orificios en pared lateral para agregar agua al interior. Esquemas realizados por Sofía Saavedra en SketchUp Free.

Las probetas se colocaron en un soporte de tela Reemay con un marco rectangular de cartón forrado de aluminio. La tela Reemay Grade 2024, es una tela *non-woven* de poliéster resistente. Tiene un grosor de 0.012"; 71 gsm, pesa 2.10 oz/yd, la permeabilidad del aire es 340 cfm/ft y su resistencia de tracción es 9 lbs/in MD, 11 lbs/in CD (TALAS, s/f). La permeabilidad asegura que la humedad circule por todo el interior, logrando que las fibras se hidraten por ambas caras.

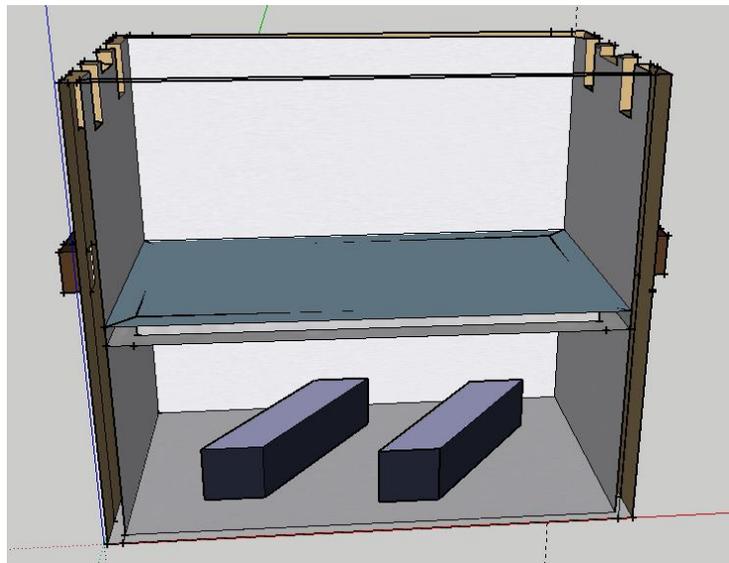


Figura 35. Vista interior de la cámara de envejecimiento donde se observan los dos contenedores de agua y el soporte para las probetas. Esquema realizado por Sofía Saavedra en SketchUp Free.

b. Condiciones ambientales dentro de la cámara de envejecimiento acelerado

Dentro de la cámara de envejecimiento se manejaron las condiciones de humedad, temperatura y radiación UV.

Las condiciones de humedad se logran a partir de la evaporación de agua destilada contenida en dos recipientes plásticos con esferas de hidrogel, las cuales permitieron que la evaporación se llevara a cabo lentamente. La humidificación del aire dentro de la cámara por medio de la evaporación se clasifica como formación de condensación de acuerdo con los métodos propuestos por la norma (ASTM G 151-00, 2000, p. 4).

Para la radiación UV se utilizaron dos lámparas compuestas por una canaleta de aluminio con balastro electrónico de larga duración modelo TL5012A/GR 15W marca LUMMI y un tubo fluorescente marca *Lumiaction*® (ver figura 36a). La radiación IR se logró a partir de una serie de tres focos incandescentes de 10W colocados sobre un soporte de madera hecho a medida de la cámara (ver figura 36b). Con ayuda del papel aluminio, la radiación se reflejó al interior de la cámara, logrando nivelar la temperatura.



Figura 36. a. Lámpara de radiación UV. b. Lámparas incandescentes para radiación IR.

16.1.3. Observaciones en las probetas cuatro años después de la experimentación (2019-2023)

Por diversos motivos, entre ellos la pandemia COVID-19, se pospuso la presentación de los resultados de esta tesis, lo que permitió observar las probetas cuatro años después y volver a evaluar su cambio de color ya que fue notorio su amarillamiento (ver imagen 37). Durante ese tiempo, las probetas se mantuvieron en bolsas plásticas individuales cerradas herméticamente, todas ellas dentro de otra bolsa plástica cerrada, dentro de una caja plástica y no se volvieron a manipular hasta este momento.

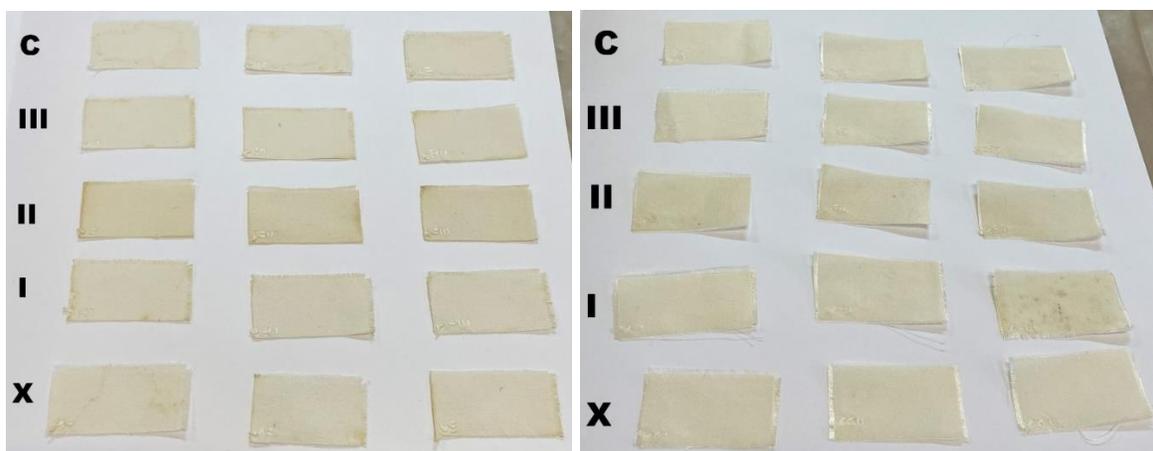


Figura 37. Probetas cuatro años después. a. Probetas de algodón. b. Probetas de seda.

En una primera inspección visual se observó que, en ambos tipos de tela, las probetas que fueron lavadas con saponinas Biorganix® fueron las que amarillaron más. En una de las probetas de seda lavada con saponinas de agave lechuguilla hubo crecimiento de microorganismos que mancharon la tela (ver imagen 37b).

Se realizó la colorimetría para medir la diferencia de color entre las probetas cuando recién salieron de la cámara de envejecimiento acelerado y las probetas cuatro años después. También se realizó un nuevo enjuague con agua destilada, tras el cual se volvió a medir la colorimetría para evaluar si el amarillamiento disminuyó.

A. Nuevo enjuague

Primero se midió el pH del agua destilada con tiras reactivas, obteniendo un pH 5, por lo que el agua continuó siendo un factor en la alteración de las fibras por su tendencia ácida. Se realizó un nuevo procedimiento para el enjuague:

1. Se colocaron las tres probetas de cada variable de lavado y tipo de tela en un cristizador y se agregó agua destilada hasta asegurar que se cubrían por completo.
2. Dependiendo de la tela y la variable de lavado, el tiempo de humectación de las fibras varió considerablemente:

Probetas de fibras de seda: Las probetas lavadas con saponinas de agave lechuguilla, saponinas Biorganix® y Canasol® se humectaron inmediatamente. Las probetas lavadas con saponinas Sigma® y las probetas de referencia tardaron aproximadamente 20 segundos en humectarse.

Probetas de fibras de algodón: Las probetas lavadas con saponinas de agave lechuguilla y Biorganix® se humectaron inmediatamente, seguidas de las probetas lavadas con saponinas Sigma® que tardaron un minuto aproximadamente. Las probetas lavadas con Canasol® y las probetas de referencia tardaron más de un minuto en humectarse.

3. Ya humectadas, se realizó la acción mecánica sobre la superficie de cada probeta con una esponja marina previamente utilizada en varias ocasiones. La acción mecánica se realizó frotando la esponja sobre la superficie de cada probeta de manera ascendente, descendente y en diagonal, mínimo por un minuto por cada movimiento, en ambas caras de las probetas.

Es importante resaltar la utilización de una esponja marina previamente utilizada. Se realizó una prueba rápida para observar el comportamiento de las esponjas en agua destilada y su posible incidencia en las fibras textiles. Se colocó un fragmento de esponja marina nueva en un vaso de precipitados y en otro vaso se colocó una esponja marina previamente utilizada. Se agregó agua caliente en cada vaso y se dejó reposar aproximadamente 24 horas.

La esponja marina nueva desprendió partículas de lo que parecieran materiales orgánicos como algas y el agua se tiñó de color amarillo oscuro y ligeramente opaco. El agua donde se remojó la esponja previamente utilizada no presentó cambio de color ni partículas depositadas (ver figuras 38 y 39).

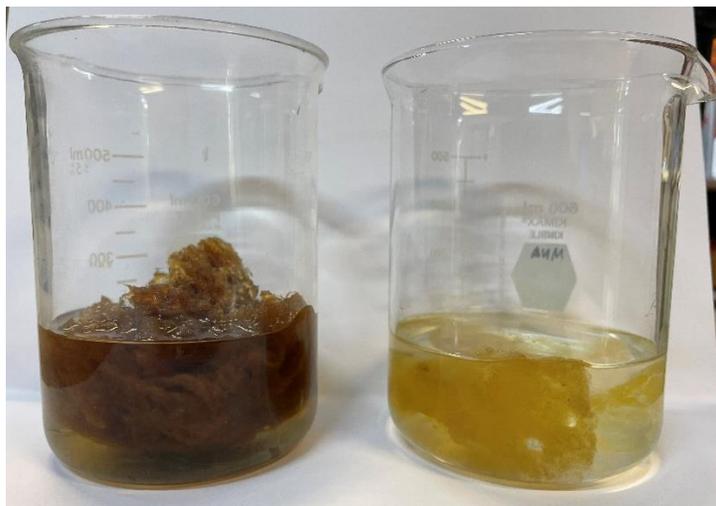


Figura 38. Vasos de precipitados con esponjas marinas sumergidas durante 24 horas aprox. El vaso izquierdo contiene una esponja nueva y el vaso derecho una esponja previamente utilizada en varias ocasiones.

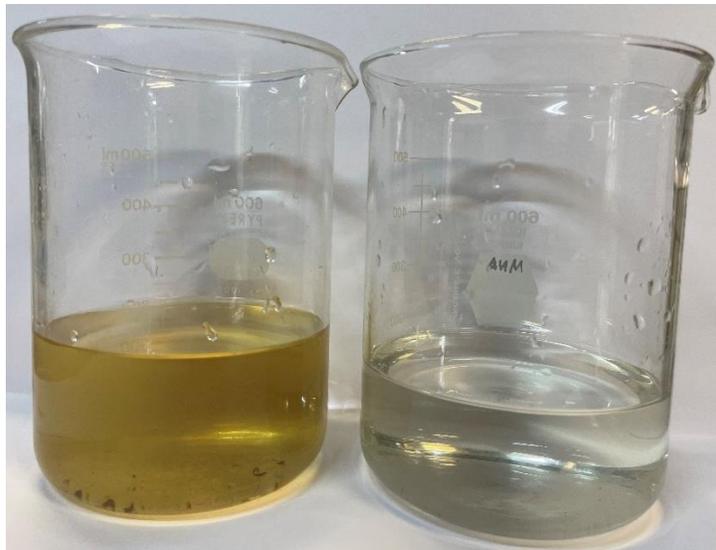


Figura 39. Vasos de precipitados sin las esponjas. En el vaso izquierdo se observa el agua de color amarillo y con partículas depositadas. En el vaso derecho se observa el agua prácticamente incolora y sin partículas.

4. Después de la acción mecánica se retiró el agua del enjuague y se añadió agua limpia para un segundo enjuague. Se realizó la acción mecánica sólo

una vez por movimiento (ascendente, descendente y diagonal) en cada cara de las probetas y se retiró el agua.

5. Las probetas húmedas se colocaron sobre papel secante y se taparon con otro pliego de papel, dejando secar aproximadamente 24 horas para poder realizar la colorimetría.



Figura 40. De lado izquierdo se encuentran las probetas de algodón y de lado derecho las probetas de seda.

B. Colorimetría

Se realizó la colorimetría de las probetas después de mantenerse resguardadas por cuatro años y después de haber realizado el nuevo enjuague. Las diferencias de color se clasificaron con el parámetro propuesto por Limbo y Piergiovanni (2006).

Se utilizaron nuevas claves para nombrar a las probetas en los dos nuevos momentos de toma de colorimetría:

EX4: Muestra de algodón o seda (lo definirá la tabla) con envejecimiento acelerado en laboratorio + variable de lavado + resguardo por cuatro años.

EX4e: Muestra (de algodón o seda) con envejecimiento acelerado en laboratorio + variable de lavado + resguardo por cuatro años + nuevo enjuague.

1. Diferencias de color en las probetas de algodón

- a. Diferencia de color entre las probetas después del envejecimiento acelerado en laboratorio y las probetas cuatro años después

Tabla 22. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de algodón después del envejecimiento y después de 4 años

ALGODÓN ENVEJECIDO				ΔE	ALGODÓN ENVEJECIDO + 4			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX	90.76	0.73	5.50	2.99	EX4	90.17	0.70	8.44
EI	89.49	0.94	7.21	0.95	EI4	90.37	0.69	7.47
EII	89.65	0.96	6.93	5.36	EII4	87.58	1.54	11.83
EIII	89.85	0.98	6.59	1.02	EIII4	90.46	0.62	7.32
EC	90.59	0.77	5.98	2.09	EC4	90.32	0.68	8.05

El cambio de color de la probeta de referencia envejecida contra la misma probeta cuatro años después se clasificó como *diferencia suficientemente perceptible*, siendo la segunda probeta con mayor diferencia de las cinco probetas, a pesar de no haber sido lavada con tensoactivos.

De las tres saponinas, y de todas las probetas, la probeta lavada con Biorganix® fue la más diferente, clasificada como *diferencia perceptible*. La probeta de saponinas, con la menor diferencia de las cinco probetas, fue la lavada con agave lechuguilla clasificada como *pequeña diferencia*, seguida de la probeta lavada con saponinas Sigma® dentro de la misma categoría.

La probeta lavada con Canasol® tuvo una *diferencia suficientemente perceptible*.

Todas las probetas tuvieron cambios cuatro años después de la experimentación. Una parte se debe al envejecimiento normal de las fibras y otra parte se debe a las alteraciones provocadas durante el lavado acuoso, incluida la acción del agua destilada ligeramente ácida y los tensoactivos utilizados, así como al método de enjuague.

- b. Diferencia de color entre las probetas resguardadas por cuatro años y las probetas después del nuevo enjuague

Tabla 23. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de algodón envejecidas después de 4 años y después de un nuevo enjuague								
ALGODÓN ENVEJECIDO + 4				ΔE	ALGODÓN ENV +4 ENJUAGADO			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX4	90.17	0.70	8.44	2.91	EX4e	91.26	0.64	5.74
EI4	90.37	0.69	7.47	2.03	EI4e	91.13	0.70	5.59
EII4	87.58	1.54	11.83	3.15	EII4e	88.77	1.27	8.93
EIII4	90.46	0.62	7.32	2.07	EIII4e	91.28	0.64	5.42
EC4	90.32	0.68	8.05	1.87	EC4e	90.96	0.73	6.29

El cambio de color entre la probeta de referencia envejecida después de cuatro años y la misma probeta con un nuevo enjuague es *diferencia suficientemente perceptible*. Aumentó la luminosidad y disminuyeron las coordenadas a^* y b^* .

Sobre las probetas de saponinas, el mayor cambio lo mantuvo la probeta lavada con Biorganix®. Tras el enjuague disminuyó ligeramente su amarillamiento, aumentó su luminosidad y disminuyeron las coordenadas a^* y b^* , pero siguió siendo la probeta con mayor diferencia, clasificada como *diferencia perceptible*.

Después del nuevo enjuague, las diferencias de color en las probetas lavadas con saponinas de agave lechuguilla y saponinas Sigma® siguieron clasificándose como *diferencia suficientemente perceptible*. En ambas aumentó la luminosidad, aumentó ligeramente la coordenada a^* y disminuyó la coordenada b^* . Sus valores de ΔE^* fueron más pequeños que la ΔE^* de la probeta de referencia.

La diferencia de color en la probeta lavada con Canasol® se clasificó como *pequeña diferencia*, siendo aún menor que la ΔE^* de las probetas de saponinas de agave lechuguilla y Sigma®, así como de la probeta de referencia. Al igual que estas últimas saponinas y la referencia, aumentó ligeramente la luminosidad y la coordenada a^* y disminuyó la coordenada b^* .

Con esto se comprobó que sí hubo cambios en las probetas de algodón después de realizar el nuevo enjuague, siendo más puntual y prolongado que el realizado durante la primera fase experimental.

- c. Diferencia de color entre las probetas después del envejecimiento acelerado en laboratorio y las probetas enjuagadas cuatro años después

Tabla 24. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de algodón envejecidas y después de un nuevo enjuague 4 años después								
ALGODÓN ENVEJECIDO				ΔE	ALGODÓN ENV +4 ENJUAGADO			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX	90.76	0.73	5.50	0.55	EX4e	91.26	0.64	5.74
EI	89.49	0.94	7.21	2.32	EI4e	91.13	0.70	5.59
EII	89.65	0.96	6.93	2.21	EII4e	88.77	1.27	8.93
EIII	89.85	0.98	6.59	1.88	EIII4e	91.28	0.64	5.42
EC	90.59	0.77	5.98	0.48	EC4e	90.96	0.73	6.29

El cambio de color entre la probeta de referencia después del envejecimiento acelerado y la probeta después del nuevo enjuague se clasificó como *pequeña diferencia*, disminuyendo una categoría en la clasificación de diferencias de color y siendo la probeta con la menor diferencia entre las cinco. Aumentó la luminosidad y la coordenada b^* y disminuyó la coordenada a^* .

De las probetas lavadas con saponinas, la Sigma® presentó la menor diferencia clasificada como *pequeña diferencia*, donde aumentó la luminosidad y disminuyeron las coordenadas a^* y b^* . Por otro lado, la mayor diferencia fue en la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla, clasificada como *diferencia suficientemente perceptible*. Aumentó la luminosidad y disminuyeron las coordenadas a^* y b^* . La siguió la probeta lavada con Biorganix® en la misma categoría. Esta fue la única donde disminuyó la luminosidad y aumentaron las coordenadas a^* y b^* .

El cambio de color de la probeta lavada con Canasol® es una *diferencia muy pequeña*, siendo la menor de las diferencias de las cinco probetas. Aumentó la luminosidad y la coordenada b^* y disminuyó la coordenada a^* .

- d. Diferencia de color entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos, después del envejecimiento acelerado en laboratorio y el resguardo por cuatro años

Para analizar la incidencia de los tensoactivos en el cambio de color de las probetas después de cuatro años en resguardo, se realizaron las ΔE^* entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos.

Tabla 25. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de la probeta de referencia de algodón envejecida después de 4 años y las probetas lavadas con tensoactivos envejecidas después de 4 años								
PROBETA DE REFERENCIA ALGODÓN ENVEJECIDO + 4				ΔE	PROBETAS TENSOACTIVOS ALGODÓN ENVEJECIDO + 4			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX4	90.17	0.70	8.44	0.98	EI4	90.37	0.69	7.47
				4.36	EII4	87.58	1.54	11.83
				1.16	EIII4	90.46	0.62	7.32
				0.41	EC4	90.32	0.68	8.05

La menor diferencia de color entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos fue en la probeta lavada con Canasol®, clasificada como *diferencia muy pequeña*. Esto significa que su comportamiento tras este periodo no fue muy distinto al de las fibras de referencia.

Las diferencias de color de las probetas lavadas con saponinas de agave lechuguilla y saponinas Sigma® se clasificaron como *pequeña diferencia*. La probeta lavada con saponinas Biorganix® obtuvo la mayor diferencia de color respecto a la probeta de referencia, clasificada como *diferencia perceptible*. Esto se distinguía a simple vista y fue determinante para realizar las nuevas observaciones y análisis.

A partir de estos resultados se comprueba que además del envejecimiento tras cuatro años en resguardo, las fibras se alteraron por los tensoactivos utilizados durante el lavado acuoso, ya que hay diferencias en su color respecto a la probeta de referencia.

- e. Diferencias de color entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos, después del envejecimiento acelerado en laboratorio, el resguardo por cuatro años y el nuevo enjuague.

Tabla 26. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de la probeta de referencia de algodón y las probetas lavadas con tensoactivos envejecidas en laboratorio, después de 4 años de resguardo y enjuagadas								
PROBETA DE REFERENCIA ALGODÓN ENV + 4 + ENJ				ΔE	PROBETAS TENSOACTIVOS ALGODÓN ENV + 4 + ENJ			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX4e	91.26	0.64	5.74	0.20	EI4e	91.13	0.70	5.59
				4.10	EII4e	88.77	1.27	8.93
				0.32	EIII4e	91.28	0.64	5.42
				0.63	EC4e	90.96	0.73	6.29

La menor diferencia de color entre probetas se obtuvo en la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla, clasificada como *diferencia no perceptible*, seguida de la probeta lavada con saponinas Sigma®, cuya diferencia con la probeta de referencia se clasificó como *diferencia muy pequeña*.

La probeta lavada con Canasol® tuvo una *pequeña diferencia* respecto a la probeta de referencia.

La mayor diferencia entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos siguió siendo la lavada con saponinas Biorganix®, clasificada como *diferencia perceptible*, siendo prácticamente igual a la diferencia entre las probetas antes del enjuague.

La diferencia de color de todas las probetas lavadas con saponinas disminuyó después del enjuague respecto a la probeta de referencia. Esto muestra que el enjuague sirvió para retirar de la superficie de las fibras posibles restos de las saponinas utilizadas durante el lavado, entre algún otro producto. La probeta lavada con Canasol® fue la única cuya diferencia respecto a la probeta de referencia no disminuyó después del enjuague, sino que aumentó.

2. Cambio de color en probetas de seda

- a. Diferencia de color entre las probetas después del envejecimiento acelerado en laboratorio y las probetas cuatro años después

Tabla 27. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de seda después del envejecimiento y después de 4 años

SEDA ENVEJECIDA				ΔE	SEDA ENVEJECIDA + 4			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX	91.19	0.40	7.72	1.05	EX4	90.98	0.22	8.73
EI	90.79	0.46	8.41	1.76	EI4	89.97	0.37	9.97
EII	90.83	0.45	8.46	2.85	EII4	89.25	0.23	10.83
EIII	90.93	0.47	8.30	0.79	EIII4	91.15	0.12	8.98
EC	91.32	0.45	7.40	1.04	EC4	91.16	0.23	8.41

El cambio de color entre la probeta de referencia después del envejecimiento acelerado y la probeta cuatro años después se clasificó como *pequeña diferencia*.

La probeta lavada con saponinas Sigma® presentó el menor cambio de las cinco probetas incluida la referencia, clasificada como *pequeña diferencia*. La probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla se clasificó en la misma categoría. En cambio, la probeta lavada con Biorganix® presentó la mayor diferencia de las cinco probetas, clasificada como *diferencia suficientemente perceptible*.

El cambio de color de la probeta lavada con Canasol® también se clasificó como *pequeña diferencia*.

Las diferencias de color entre las probetas de seda tras cuatro años no fueron tan grandes. Cabe resaltar que, en todas excepto la probeta lavada con saponinas Sigma®, la luminosidad disminuyó ligeramente, disminuyó también la coordenada a*, mientras que la coordenada b* aumentó.

- b. Diferencia de color entre las probetas resguardadas por cuatro años y las probetas después del nuevo enjuague

Tabla 28. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de seda envejecidas después de 4 años y después de un nuevo enjuague								
SEDA ENVEJECIDA + 4				ΔE	SEDA ENVEJ +4 ENJUAGADA			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX4	90.98	0.22	8.73	0.88	EX4e	91.45	0.22	7.98
EI4	89.97	0.37	9.97	1.06	EI4e	90.67	0.27	9.19
EII4	89.25	0.23	10.83	0.96	EII4e	89.53	0.15	9.91
EIII4	91.15	0.12	8.98	0.93	EIII4e	91.56	0.08	8.14
EC4	91.16	0.23	8.41	0.79	EC4e	91.58	0.20	7.74

El cambio de color entre la probeta de referencia tras cuatro años en resguardo y la probeta después del nuevo enjuague, se clasificó como *pequeña diferencia*. Aumentó la luminosidad, la coordenada a^* se mantuvo exactamente igual y disminuyó la coordenada b^* .

La probeta lavada con saponinas Sigma® presentó la menor diferencia de las probetas de saponinas, clasificada también como *pequeña diferencia*. La siguió la probeta lavada con Biorganix® y después la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla en la misma clasificación. En todas aumentó la luminosidad y disminuyeron las coordenadas a^* y b^* .

La diferencia de color de la probeta lavada con Canasol® también se clasificó como *pequeña diferencia*, siendo la menor de las diferencias de las cinco probetas, incluida la referencia. En esta probeta aumentó la luminosidad, disminuyó ligeramente la coordenada a^* y disminuyó la coordenada b^* .

Con esto se observó que el nuevo enjuague sí tuvo un efecto sobre las probetas de seda, por lo que es posible que se removieran restos de los tensoactivos utilizados durante el lavado acuoso que no se hayan removido en su totalidad durante el enjuague de la fase experimental.

c. Diferencia de color entre las probetas después del envejecimiento acelerado en laboratorio y las probetas enjuagadas cuatro años después

Tabla 29. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de las probetas de seda envejecidas y después de un nuevo enjuague 4 años después								
SEDA ENVEJECIDA				ΔE	SEDA ENVEJ +4 ENJUAGADA			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX	91.19	0.40	7.72	0.41	EX4e	91.45	0.22	7.98
EI	90.79	0.46	8.41	0.81	EI4e	90.67	0.27	9.19
EII	90.83	0.45	8.46	1.97	EII4e	89.53	0.15	9.91
EIII	90.93	0.47	8.30	0.76	EIII4e	91.56	0.08	8.14
EC	91.32	0.45	7.40	0.49	EC4e	91.58	0.20	7.74

El cambio de color entre la probeta de referencia después del envejecimiento acelerado y después del nuevo enjuague, fue una *diferencia muy pequeña*, la menor diferencia de las cinco probetas. Aumentó la luminosidad y la coordenada b^* y disminuyó la coordenada a^* .

La diferencia de color de la probeta lavada con saponinas Sigma® se clasificó como *pequeña diferencia*, donde aumentó la luminosidad y disminuyeron las coordenadas a^* y b^* . En la misma categoría clasificaron las probetas lavadas con saponinas de agave lechuguilla y saponinas Biorganix®, esta última con la mayor diferencia de las cinco probetas. En ambas disminuyó la luminosidad y la coordenada a^* y aumentó la coordenada b^* .

La diferencia de color de la probeta lavada con Canasol® se clasificó como *diferencia muy pequeña*, en donde aumentó la luminosidad y la coordenada b^* , y disminuyó la coordenada a^* .

La diferencia de color entre las probetas después del envejecimiento acelerado y las probetas enjuagadas es menor que con las no enjuagadas, excepto en la probeta lavada con saponinas Biorganix®. Esto comprueba que el enjuague sí elimina restos de productos que modifican el color de la superficie de las probetas

de seda. En la probeta con Biorganix®, a pesar del enjuague, no se redujo la diferencia de color, lo que muestra que las fibras se alteraron y modificaron su color.

- d. Diferencias de color entre las probetas de seda lavadas con tensoactivos y la probeta de referencia, cuatro años después del envejecimiento acelerado en laboratorio

Se realizaron las ΔE^* entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos, después de cuatro años en resguardo, para analizar la incidencia de los tensoactivos en el cambio de color de las probetas.

Tabla 30. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de la probeta de referencia de seda envejecida después de 4 años y las probetas lavadas con tensoactivos envejecidas después de 4 años								
PROBETA DE REFERENCIA SEDA ENVEJECIDA + 4				ΔE	PROBETAS TENSOACTIVOS SEDA ENVEJECIDA + 4			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX4	90.98	0.22	8.73	1.61	EI4	89.97	0.37	9.97
				2.72	EII4	89.25	0.23	10.83
				0.32	EIII4	91.15	0.12	8.98
				0.36	EC4	91.16	0.23	8.41

Las probetas con la menor diferencia de color con la probeta de referencia fueron la lavada con saponinas Sigma®, seguida de la lavada con Canasol®, ambas clasificadas como *diferencia muy pequeña*. Esto quiere decir que su color, y, por lo tanto, el estado de conservación de las fibras y su comportamiento tras el mismo periodo es similar a las fibras de la probeta de referencia, por lo que el uso de estos tensoactivos no provocó una alteración negativa.

La diferencia de color entre la probeta de referencia y la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla se clasificó como *pequeña diferencia*.

La probeta con la mayor diferencia de color con la probeta de referencia fue la lavada con saponinas Biorganix®, clasificada como *diferencia suficientemente perceptible*.

- e. Diferencias de color entre la probeta de referencia y las probetas lavadas con tensoactivos con envejecimiento acelerado en laboratorio y después de cuatro años y un nuevo enjuague.

Tabla 31. Diferencia de color total (ΔE^*) y valores CIELab de la probeta de referencia de seda envejecida después de 4 años y enjuagada y las probetas lavadas con tensoactivos envejecidas después de 4 años y enjuagadas								
PROBETA DE REFERENCIA SEDA ENV + 4 + ENJ				ΔE	PROBETAS TENSOACTIVOS SEDA ENV + 4 + ENJ			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)			L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
EX4e	91.45	0.22	7.98	1.44	EI4e	90.67	0.27	9.19
				2.72	EII4e	89.53	0.15	9.91
				0.24	EIII4e	91.56	0.08	8.14
				0.27	EC4e	91.58	0.20	7.74

La menor diferencia de color con la probeta de referencia la obtuvo la probeta lavada con saponinas Sigma®, seguida de la probeta lavada con Canasol®, ambas clasificadas como *diferencia muy pequeña*. La diferencia disminuyó después del enjuague.

La diferencia de color entre la probeta de referencia y la probeta lavada con saponinas de agave lechuguilla se clasificó como *pequeña diferencia*. La diferencia de color entre probetas disminuyó después del enjuague.

La probeta lavada con saponinas Biorganix® obtuvo la diferencia más grande respecto a la probeta de referencia, clasificándose como *diferencia suficientemente perceptible*. La diferencia de color después del enjuague fue exactamente igual a la diferencia de las probetas sin enjuagar. Esto quiere decir que no se removió ningún material de la superficie que pudiera modificar el color, sino que esta alteración es propia de las fibras lavadas con este tensoactivo.

Con lo anterior se concluye que el uso de las saponinas Sigma® no causan alteraciones de color distintas a las fibras de referencia e incluso son más parecidas entre ellas que a las fibras lavadas con Canasol®; y se debe asegurar un buen enjuague. Por otro lado, las saponinas Biorganix® sí modifican el color de las fibras.

16.2. Anexo 2. Fichas técnicas de los tensoactivos

Biotika[®] *Saponin-L*

MEJORADOR DE SUELOS
Y BIOESTIMULANTE VEGETAL. Líquido



Biotika® Saponin-L | MEJORADOR DE SUELOS Y BIOESTIMULANTE VEGETAL. Líquido



Descripción:

BIOTIKA® SAPONIN-L es un producto innovador, elaborado a base de extracto de Agave lechuguilla Torrey, el cual posee un alto contenido de saponinas esteroidales, que son bioestimulantes naturales de las plantas y mejorador de suelos.

Composición:

COMPOSICIÓN PORCENTUAL:	% EN VOLUMEN
Extracto de Agave lechuguilla Torrey	98.00 %
Diluyentes	2.00 %
TOTAL	100.00 %

Características físicas y químicas:

Apariencia:	Líquido café.
Solubilidad:	Soluble en agua
Densidad:	1.02 g/cc
pH al 1% en agua:	4.0 a 5.5

Recomendaciones de Uso:

Se recomienda aplicar vía drench o vía sistema de riego en campo abierto o invernadero. Se sugiere realizar las aplicaciones en las primeras horas de la mañana o por la tarde, con suficiente agua, para lograr una buena distribución del producto.

TRATAMIENTO	DOSIS L/ Ha
Gramíneas y Hortalizas	Aplicar 3 L/Ha en el primer riego y después 2 L/Ha en cada riego
Frutales	Aplicar 6 L/Ha con el riego de siembra o trasplante.

MÉTODOS PARA PREPARAR Y APLICAR EL PRODUCTO:

Con el equipo de protección adecuado. Agite el producto antes de utilizar. Para abrir el envase

gire la tapa en sentido contrario a las manecillas del reloj y retire el sello de seguridad cuidadosamente. En una cubeta prepare una pre-mezcla, mida con una probeta de plástico o con algún utensilio graduado específico para este uso, la cantidad de **BIOTIKA® SAPONIN-L** que vaya a utilizar, mezcle con agua. En un tambo de 200 L, agregue agua hasta la mitad de su capacidad, vierta lentamente en el tambo la pre-mezcla, agite con ayuda de un agitador, hasta tener una mezcla homogénea; llene el tambo con el agua necesaria, y mezcle. Agregue la mezcla al tanque de aplicación o mochila de aspersión. Realice la aplicación. Utilice un volumen de agua de 200 L/Ha.

INCOMPATIBILIDAD: Solo deberá mezclarse con productos registrados en los cultivos autorizados, pero se sugiere realizar pruebas de compatibilidad antes de la aplicación.

No mezclar **BIOTIKA® SAPONIN-L** con álcalis.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y COMPAÑÍA

1.1 Nombre del producto: Biotika® Saponin-L

1.2 Otros medios de identificación: Extracto líquido natural de Agave lechuguilla *Torrey*

1.3 Uso recomendado del producto o mezcla Mejorador de suelo

1.4 Datos del proveedor o fabricante

Compañía: Biorganix Mexicana S.A. de C.V.
Aiera #240. Parque Industrial Ramos Arizpe. Coah., México C.P. 25903.

e-mail: biorganix@biorganix.com.mx

Teléfono: 01 (844) 488 5211/ 488 2627

1.5 Teléfono de emergencia: 01 (844) 488 2400/ 488 2627
(Lunes a viernes 8:00 a 18:00)
SINTOX: 01 800 009 2800

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación del producto
Peligro para la salud, Peligro para el medio ambiente.

2.2 Elementos de la señalización, incluidos los consejos de prudencia y pictogramas de precaución

Palabra de advertencia: ATENCIÓN

- Puede ser nocivo en caso de ingestión (Categoría 5)
- Provoca irritación ocular (Categoría 2B)
- Nocivo para organismos acuáticos (Categoría 3)

2.2.1 Indicaciones de peligro

H303: Puede ser nocivo en caso de ingestión

H320: Provoca irritación ocular.

H412: Nocivo para organismos acuáticos.

2.2.3 Declaración(es) de prudencia

PI02: Mantener fuera del alcance de los niños.

P233: Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

P303 + P361 + P353: En caso de contacto con la piel (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse.

P305+P351: En caso de contacto con los ojos enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos.

P301+P330+P331: En caso de ingestión, enjuagar la boca. No provocar el vómito.

P411: Almacenar a una temperatura que no exceda los 35 °C.

2.3 Peligros no clasificados de otra manera
Ninguno

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Familia química: Mezcla de compuestos

Producto	CAS	%	No. ONU	LMPE-PT, LMPE-CT LMPE-P
Extracto de saponinas	ND	98.0 %	ND	ND
Extracto de cítricos	ND	2.0 %	1170	ND

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Recomendaciones generales. Consultar a un médico. Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

4.2 Contacto con los ojos. Lávese con abundante agua durante 15 minutos por lo menos y consulte al médico si persisten molestias.

4.3 Contacto con piel. Quitese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y abundante agua.

4.4 Ingestión. Si el producto se ha ingerido y la persona está consiente, enjuagar la boca, no provocar el vómito. Buscar atención médica.

4.5 Inhalación. Si aspiró, mueva la persona al aire fresco. Si ha parado de respirar, hacer la respiración artificial. Buscar atención médica.

SECCIÓN 5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS
5.1 Medios de extinción

Agua pulverizada	Espuma	CO ₂	Polvo químico	Otros
X	X	X	X	X

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Durante la combustión de los envases pueden despedirse óxidos de carbono derivado de los envases.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Utilizar equipo contra incendios completo y ubicarlo en puntos estratégicos y de fácil acceso en la planta de producción y manejarlo solamente personal capacitado para este fin.

SECCIÓN 6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE DERRAME O FUGA ACCIDENTAL
6.1 Precauciones personales, equipos de protección y procedimientos de emergencia

Usar lentes de seguridad y guantes.
Asegúrese una ventilación apropiada.
Evacuar el personal a zonas seguras.
Equipo de protección individual.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y materiales para la contención y limpieza de derrames

Recoger el material para desecho y colocarlo en un contenedor limpio y seco para su disposición, según las legislaciones federales, estatales y locales.



SECCIÓN 7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones que se deben tomar para garantizar un manejo seguro

Evitar el contacto directo con piel y ojos.
Aplicar a favor del viento.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro

Almacene siempre en el recipiente original bien tapado y con etiqueta.
Evitar almacenamiento a temperaturas mayores a 35 °C, evite contacto directo con el sol.

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

8.1 Parámetros de control

ND

8.2 Controles técnicos apropiados

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

8.3 Equipo de protección personal

Protección para ojos /cara
Utilizar lentes protectores.

Protección para la piel

Manipular con guantes. Deseche los guantes contaminados después de su uso, de conformidad con las leyes aplicables y buenas prácticas. Lavar y secar las manos.

Protección Corporal

Ropa de trabajo, delantal y zapatos de trabajo.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia:	Líquido café
Olor	Característico
Umbral de olor	Sin datos disponibles
pH al 1 %	4.0 – 5.5
Punto de fusión	No aplica
Punto de ebullición	>100 °C
Punto de inflamación	Sin datos disponibles
Velocidad de evaporación	Sin datos disponibles
Inflamabilidad	Sin datos disponibles
Límite superior/inferior de inflamabilidad o explosividad	Sin datos disponibles
Presión de vapor	Sin datos disponibles
Densidad de vapor	Sin datos disponibles
Densidad relativa	01.02 – 1.1 g/mL
Solubilidad (es)	Soluble en agua
Coeficiente de partición n-octanol/agua	Sin datos disponibles

Temperatura de ignición espontánea	Sin datos disponibles
Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
Viscosidad	Sin datos disponibles
Peso molecular	Sin datos disponibles
Otros datos relevantes	Sin datos disponibles

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad

Sin datos disponibles.

10.2 Estabilidad química

Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Sin datos disponibles.

10.4 Condiciones que deberán evitarse

Exposición prolongada a temperaturas mayores a 35 °C, evitar exposición al sol y chispas.

10.5 Materiales incompatibles

Incompatible con oxidantes fuertes, compatible con la mayoría de los agroquímicos; sin embargo, si se desconoce la compatibilidad con algún producto, realizar una prueba.

10.6 Productos de descomposición peligrosos

CO₂ y ácidos orgánicos

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1 Toxicidad aguda

Oral:	Puede producir trastornos estomacales tales como náuseas, vómito y diarrea.
Inhalación:	Puede causar irritación.
Dermal:	Puede causar irritación.

11.2 Información Adicional

Sin datos disponibles

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA

12.1 Toxicidad

Peces CL₅₀ calculada:	Sin datos disponibles
Algas CER₅₀ calculada:	<1,650 mg/L 72 h
Invertebrados CE₅₀ calculada:	< 50 mg/L 48 h

12.2 Persistencia y degradabilidad

Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles



12.5 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

Evitar la contaminación de estanques y suministros de agua, cubrir forrajes y bebederos cuando se aplique cerca de áreas donde se encuentre el ganado o animales domésticos.



Lavar tres veces los recipientes vacíos antes de destruirlos y añadir los lavados al tanque de aplicación; y posteriormente disponer de los envases vacíos conforme al reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de residuos peligrosos.

SECCION 14 . INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1 Número ONU	Mercancía no peligrosa
14.2 Designación oficial de transporte ONU	Mercancía no peligrosa
14.3 Clase de peligro (IMO)	Mercancía no peligrosa
14.4 Grupo de embalaje/envasado	Mercancía no peligrosa

Antes de cargar el vehículo deberá revisar que no existan astillas o clavos que puedan dañar el material de empaque y asegurarse que el vehículo este cubierto para evitar contacto con lluvia o sol directo. Debe estar de acuerdo con el reglamento para el transporte terrestre, marítimo y aéreo de materiales y residuos peligrosos.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

SARA 302 Componentes

Este material no contiene productos químicos sujetos a los requisitos reportados por SARA Titulo III, sección 302.

SARA 313 Componentes

Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA titulo III, sección 313.

SARA 311/312 Peligros

Peligro para la salud

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

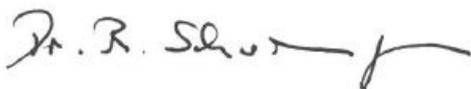
La información se considera correcta, pero no es exhaustiva y se utilizará únicamente como orientación, la cual está basada en el conocimiento actual de la sustancia química o mezcla y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto.

Toda la información y datos que aparecen en esta hoja de seguridad son correctos y fidedignos. Sin embargo, es responsabilidad del usuario determinar la seguridad, toxicidad y conveniencia del uso del producto descrito. Como el uso por terceros está fuera de nuestro control, no se hace ninguna garantía expresa o implícita. El usuario asume todos los riesgos y responsabilidades.

Certificate of Analysis

Product Name: SAPONIN
used as non-ionic surfactant
Product Number: 84510
Batch Number: BCBW5670
Brand: Sigma
CAS Number: 8047-15-2
Formula:
Formula Weight:
Quality Release Date: 06 MAR 2018
Date retested: 01 OCT 2020
Recommended Retest Date: SEP 2023

TEST	SPECIFICATION	RESULT
APPEARANCE (COLOR)	LIGHT YELLOW TO YELLOW AND LIGHT BEIGE TO BEIGE AND LIGHT BROWN TO BROWN AND YELLOW-BEIGE AND YELLOW-BROWN	LIGHT BROWN
APPEARANCE (FORM)	POWDER	POWDER
THIN LAYER CHROMATOGR.	CORRESPONDS TO STANDARD	CORRESPONDS
SOLUBILITY (COLOR)	YELLOW TO VERY DARK YELLOW AND LIGHT BROWN-YELLOW TO VERY DARK BROWN-YELLOW	DARK YELLOW
SOLUBILITY (TURBIDITY)	CLEAR TO VERY HAZY	HAZY
SOLUBILITY (METHOD)	1G IN 10ML WATER	1 G IN 10ML WATER
SULFATED ASH	10 - 20 %	14.4 %
CARBON CONTENT	FOR INFORMATION	41.93 %
HYDROGEN CONTENT	FOR INFORMATION	6.88 %
INFRARED SPECTRUM	CONFORMS TO STRUCTURE	CONFORMS
MISCELLANEOUS TESTS	SAPOGENIN 8 - 25 %	12.2 %



Dr. Reinhold Schwenninger
Quality Assurance
Buchs, Switzerland

Sigma-Aldrich warrants that at the time of the quality release or subsequent retest date this product conformed to the information contained in this publication. The current specification sheet may be available at Sigma-Aldrich.com. For further inquiries, please contact Technical Service. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Versión 6.3
Fecha de revisión 09/06/2022
Fecha de impresión 01/29/2023

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Saponin

Referencia : 47036
Marca : Sigma
No. CAS : 8047-15-2

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Reactivos para laboratorio, Síntesis de sustancias

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : Sigma-Aldrich Química S de RL de CV
Parque Industrial Toluca 2000
Calle 6 Norte No. 107
50200 TOLUCA
MEXICO

Teléfono : +52 (0)1 800 007 5300
Fax : +52 (0)1 800 712 9920

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : 800-00-214-00 (SETIQ)
800-681-9531 (CHEMTREC)
(55) 55-59-15-88

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación SGA de acuerdo con 29 CFR 1910 (OSHA HCS).

Irritación ocular (Categoría 2A), H319

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), Sistema respiratorio, H335

Peligro a corto plazo (agudo) para el medio ambiente acuático (Categoría 3), H402

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

2.2 Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia

Pictograma



Palabra de advertencia	Atención
Indicación(es) de peligro	
H319	Provoca irritación ocular grave.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
H402	Nocivo para los organismos acuáticos.
Declaración(es) de prudencia	
P261	Evitar respirar el polvo.
P264	Lavarse la piel concienzudamente tras la manipulación.
P271	Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado.
P273	Evitar su liberación al medio ambiente.
P280	Llevar equipo de protección para los ojos/ la cara.
P304 + P340 + P312	EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/ médico si la persona se encuentra mal.
P305 + P351 + P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P337 + P313	Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.
P403 + P233	Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.
P405	Guardar bajo llave.
P501	Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos autorizada.

2.3 Peligros no clasificados de otra manera - ninguno(a)

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

No. CAS : 8047-15-2
 No. CE : 232-462-6

Componente	Clasificación	Concentración
saponina, blanca	Eye Irrit. 2A; STOT SE 3; Aquatic Acute 3; H319, H335, H402	<= 100 %

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

Si es inhalado

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ ducharse.

En caso de contacto con los ojos

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Consultar al oftalmólogo. Retirar las lentillas.

Por ingestión

Tras ingestión: hacer beber agua inmediatamente (máximo 2 vasos). Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios**5.1 Medios de extinción****Medios de extinción apropiados**

Agua Espuma Dióxido de carbono (CO₂) Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Se desconoce la naturaleza de los productos de la descomposición.

Inflamable.

En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

5.4 Otros datos

Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental**6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia**

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar la inhalación de polvo. Evitar el contacto con la sustancia. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames. Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.

6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento

Bien cerrado. Seco.

Clase de almacenamiento

Clase de almacenamiento (TRGS 510): 11: Sólidos Combustibles

7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados

Sustituir la ropa contaminada. Lavar manos al término del trabajo.

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).
Gafas de seguridad

Protección de la piel

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Sumerción

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0.11 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:KCL 741 Dermatril® L

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en

EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura minima de capa: 0.11 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:KCL 741 Dermatril® L

Protección Corporal

prendas de protección

Protección respiratoria

necesaria en presencia de polvo.

Nuestras recomendaciones sobre protección respiratoria se basan en las normas siguientes: DIN EN 143, DIN 14387 y otras normas relativas al uso de la protección respiratoria usada.

Control de exposición ambiental

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

- | | |
|--|--|
| a) Aspecto | Forma: polvo
Color: amarillo |
| b) Olor | Sin datos disponibles |
| c) Umbral olfativo | Sin datos disponibles |
| d) pH | Sin datos disponibles |
| e) Punto de fusión/
punto de congelación | Sin datos disponibles |
| f) Punto inicial de
ebullición e intervalo
de ebullición | 101.9 °C 215.4 °F a 1,015 hPa - Directrices de ensayo 103 del
OECD |
| g) Punto de inflamación | ()Sin datos disponibles |
| h) Tasa de evaporación | Sin datos disponibles |
| i) Inflamabilidad
(sólido, gas) | Sin datos disponibles |
| j) Inflamabilidad
superior/inferior o
límites explosivos | Sin datos disponibles |
| k) Presión de vapor | < 0.01 hPa a 105 °C (221 °F) - Directrices de ensayo 104 del
OECD |
| l) Densidad de vapor | Sin datos disponibles |
| m) Densidad | 1.015 - 1.02 g/mL a 20 °C (68 °F) |
| Densidad relativa | Sin datos disponibles |
| n) Solubilidad en agua | 2,000 g/l a 19.5 °C (67.1 °F) - Directrices de ensayo 105 del
OECD - totalmente soluble |

o) Coeficiente de reparto n-octanol/agua	Sin datos disponibles
p) Temperatura de auto-inflamación	> 300 °C (> 572 °F) a 1,013 hPa
q) Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
r) Viscosidad	Sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t) Propiedades comburentes	ningún

9.2 Otra información de seguridad

Tensión superficial	36.4 mN/m a 10g/l a 20 °C (68 °F) - Directrices de ensayo 115 del OECD
---------------------	--

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Válido en general para sustancias y mezclas orgánicas combustibles: en caso de esparcimiento fino, en estado arremolinado, debe contarse en general con peligro de explosión.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibles reacciones violentas con:
Agentes oxidantes fuertes

10.4 Condiciones que deben evitarse

información no disponible

10.5 Materiales incompatibles

Agentes oxidantes fuertes

10.6 Productos de descomposición peligrosos

En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - hembra - > 5,000 mg/kg
(US-EPA)

CL50 Inhalación - Rata - machos y hembras - 4 h - > 0.45 mg/l - polvo/niebla

(Directrices de ensayo 403 del OECD)
Inhalación: Irrita las vías respiratorias.
DL50 Cutáneo - Rata - machos y hembras - > 2,000 mg/kg
(US-EPA)

Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo
Resultado: No irrita la piel - 4 h
(US-EPA)

Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo
Resultado: Provoca irritación ocular grave. - 14 Días
(US-EPA)

Sensibilización respiratoria o cutánea

Buehler Test - Conejillo de indias
Resultado: negativo
(Directrices de ensayo 406 del OECD)

Mutagenicidad en células germinales

Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

IARC: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.

NTP: En este producto no se identifica ningún componente, que presente niveles mayores que o iguales a 0.1%, como agente carcinógeno conocido o anticipado por el (NTP) Programa Nacional de Toxicología.

OSHA: Ningún componente de este producto está presente en niveles superiores o iguales al 0,1 % por lo que no se encuentra en la lista de OSHA de carcinógenos regulados.

Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Inhalación - Puede irritar las vías respiratorias. - Vías respiratorias

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

11.2 Información Adicional

Toxicidad por dosis repetidas - Rata - macho - Oral - 13 Semana - Nivel sin efecto adverso observado - 2,470 mg/kg

RTECS: VQ1400000

Este producto es vasoconstrictor y posiblemente estornudador.

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad para los peces	Ensayo estático CL50 - Leuciscus idus melanotus - 38.8 mg/l - 96 h (Directrices de ensayo 203 del OECD)
Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos	Ensayo estático CE50 - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 65 mg/l - 48 h (Directrices de ensayo 202 del OECD)
Toxicidad para las algas	Ensayo estático CE50r - Desmodesmus subspicatus (alga verde) - > 800 mg/l - 72 h (Directrices de ensayo 201 del OECD)
Toxicidad para las bacterias	Ensayo estático CE50 - Pseudomonas putida - > 10,000 mg/l - 16 h (DIN 38 412 Part 8)

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad	aeróbico - Tiempo de exposición 28 d Resultado: 90.1 % - Fácilmente biodegradable. (Directrices de ensayo 301E del OECD)
-------------------	--

12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

La valoración de PBT / mPmB no está disponible ya que la evaluación de la seguridad química no es necesaria / no se ha realizado

12.6 Propiedades de alteración endocrina

Sin datos disponibles

12.7 Otros efectos adversos

Sin datos disponibles

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto

Los residuos deben eliminarse de acuerdo con normativas locales y nacion a originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto. Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

DOT (US)

Not dangerous goods

IMDG

Mercancía no peligrosa

Sigma - 47036

Página 8 de 9

IATA

Mercancía no peligrosa

Otros datos

Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.

SECCIÓN 15. Información reglamentaria**SARA 302 Componentes**

Este material no contiene componentes con una sección 302 EHS TPQ.

SARA 313 Componentes

Este material no contiene ningún componente químico con los conocidos números CAS que exceden el umbral de los niveles reportados (De Minimis) establecidos por SARA título III, sección 313.

SARA 311/312 Peligros

Peligro Agudo para la Salud

Massachusetts Right To Know Componentes

No hay componentes sujetos al Acta de Derecho a Saber de Massachusetts.

SECCIÓN 16. Otra información**Otros datos**

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega. Copyright 2020 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

Versión: 6.3

Fecha de revisión:
09/06/2022

Fecha de impresión:
01/29/2023

16.3. Anexo 3. Códigos de programación para el análisis de datos

16.3.1. MATLAB®

```
clc
clear all
close all

categoria=3; %1 algodón, 2 algodón envejecido, 3 seda, 4 seda envejecida

if categoria==1
    [names]=textread('file1.txt','%s');
elseif categoria==2
    [names]=textread('file2.txt','%s');
elseif categoria==3
    [names]=textread('file3.txt','%s');
else categoria==4
    [names]=textread('file4.txt','%s');
end

N_files=length(names);
%N_files=1;

for i=1:1:N_files
    filename= strcat(names{i,:}, '.xlsx');
    filename1= strcat(names{i,:});
    file=xlsread(filename);
    volt=file(:,1);
    desp=file(:,3);
    [M,I]=max(volt);

    % Borrar valores posteriores al maximo
    volt(I+1:end) = [];
    desp(I+1:end) = [];

    % Encuentra los valores negativos antes del Maximo
    negativos=find(volt(1:I)<0);

    if ~isempty(negativos)
        % Indice del ultimo valor negativo
        idx_ultimo_negativo=negativos(end);

        % Eliminar valores iniciales negativos
        volt(1:idx_ultimo_negativo)=[];
        desp(1:idx_ultimo_negativo)=[];
    end

    % Normalizar matrices para que empiecen en 0
    desp=desp-desp(end);

    % invertir horizontalmente el desp
    desp=flip(desp);

    %plot-----
```

```

regresion = desp\volt;
res_regresion = desp * regresion;
[reg_plot] = plot(desp, res_regresion);

hold on
grid on

plot(desp,volt);
[M,I]=max(volt);
[mm,mmI]=max(desp);% obtener valor maximo de desplazamiento
ylim([0 (M+0.02)])
xlim([0, (mm+0.01)*1.25])%para seda, algodón es 0,mm*1.25
hold all
V=desp(I);

% Marcar valor maximo
plot(V, M,'o','MarkerFaceColor','r');

%Desplegar texto valor maximo de fuerza
text(V*1.01, M*1.008, strcat('\leftarrow', num2str(round(M,3)), ' N'));

%Desplegar texto valor maximo de desplazamiento
text(V*1.05, M*0.96, strcat(num2str(round(mm,3)), ' mm') );

% Desplegar la cajita con el valor de la regresion
legend(reg_plot, strcat(num2str(round(regresion,3)), ' N/mm'),
'Location','NW')

xlabel('Desplazamiento (mm)')
ylabel ('Carga (N)')
title(filename1)
clear volt
clear desp
filename = [num2str(filename1) '.jpg']; %comentar si no quieres guardar
imágenes
saveas(i,filename) %comentar si no quieres guardar imágenes

figure

end

```

16.3.2. Python®

```
import numpy as np
from scipy.stats import ttest_ind

##sishi vs x
algo_lav_sishi=np.array([6.70, 6.33, 6.75, 6.70, 6.53, 6.91, 6.63, 6.82, 6.72])
algo_viejo_sishi=np.array([5.07, 5.15, 5.36, 5.66, 5.75, 5.25, 5.1, 5.54, 5.55])
dif_sishi = algo_lav_sishi-algo_viejo_sishi
print(dif_sishi)

algo_lav_x=np.array([6.42, 6.68, 6.34, 6.43, 6.63, 6.11, 6.31, 5.50, 6.71])
algo_viejo_x=np.array([5.260, 5.400,5.120, 5.400, 5.630, 5.560,5.400, 5.620, 5.550])
dif_x = algo_lav_x-algo_viejo_x
print(dif_x)

print(dif_sishi.mean(), dif_x.mean())

ttest_ind(dif_sishi,dif_x)

[1.63 1.18 1.39 1.04 0.78 1.66 1.53 1.28 1.17]
[ 1.16 1.28 1.22 1.03  1.   0.55 0.91 -0.12 1.16]
1.2955555555555556 0.9099999999999997
Ttest_indResult(statistic=2.1858836929198766, pvalue=0.04403428795588399)
```

16.4. Anexo 4. Resultados de la resistencia a la tensión de los hilos de algodón y seda

Tabla 23. Resultados de la resistencia a la tensión de los hilos de ALGODÓN antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio							
Hilo lavado	N	mm	N/mm	Hilo envejecido	N	mm	N/mm
REFERENCIA							
AEX1a	0.257	0.939	0.318	AEX1a	0.436	0.93	0.41
AEX1b	0.297	0.762	0.386	AEX1b	0.381	1.021	0.358
AEX1c	0.352	0.681	0.42	AEX1c	0.391	0.968	0.394
AEX2a	0.372	0.821	0.438	AEX2a	0.327	1.033	0.314
AEX2b	0.431	0.759	0.444	AEX2b	0.362	0.886	0.315
AEX2c	0.332	0.758	0.413	AEX2c	0.456	1.061	0.369
AEX3a	0.421	0.948	0.383	AEX3a	0.327	0.906	0.304
AEX3b	0.367	1.043	0.315	AEX3b	0.312	0.671	0.534
AEX3c	0.391	1.225	0.322	AEX3c	0.352	0.755	0.434
Agave lechuguilla marca CHAHIN							
AEI1a	0.446	0.856	0.495	AEI1a	0.526	1.188	0.408
AEI1b	0.396	0.939	0.402	AEI1b	0.381	1.091	0.345
AEI1c	0.411	0.96	0.385	AEI1c	0.416	0.675	0.585
AEI2a	0.357	1.048	0.33	AEI2a	0.416	1.301	0.255
AEI2b	0.332	1.398	0.211	AEI2b	0.431	1.385	0.27
AEI2c	0.436	1.708	0.259	AEI2c	0.372	0.966	0.365
AEI3a	0.461	1.051	0.382	AEI3a	0.342	0.831	0.318
AEI3b	0.456	1.015	0.418	AEI3b	0.396	0.813	0.407
AEI3c	0.451	1.113	0.372	AEI3c	0.391	1.17	0.254
BIORGANIX							
AEII1a	0.436	0.727	0.528	AEII1a	0.352	0.712	0.404
AEII1b	0.347	0.681	0.491	AEII1b	0.411	1.014	0.394
AEII1c	0.436	0.65	0.601	AEII1c	0.436	0.881	0.505
AEII2a	0.476	0.963	0.49	AEII2a	0.546	0.968	0.482
AEII2b	0.436	0.839	0.422	AEII2b	0.491	1.087	0.409
AEII2c	0.496	0.771	0.577	AEII2c	0.451	0.951	0.41
AEII3a	0.426	1.096	0.405	AEII3a	0.367	0.783	0.447
AEII3b	0.416	0.615	0.589	AEII3b	0.431	0.92	0.471
AEII3c	0.391	0.797	0.532	AEII3c	0.332	0.913	0.365
SIGMA							
AEIII1a	0.431	1.063	0.361	AEIII1a	0.332	0.893	0.314
AEIII1b	0.416	1.069	0.408	AEIII1b	0.376	0.909	0.355
AEIII1c	0.362	0.872	0.393	AEIII1c	0.372	0.76	0.47

AEIII2a	0.416	0.855	0.5	AEIII2a	0.297	0.933	0.284
AEIII2b	0.551	0.859	0.6	AEIII2b	0.411	0.917	0.392
AEIII2c	0.451	1.069	0.399	AEIII2c	0.357	1.306	0.274
AEIII3a	0.426	0.761	0.552	AEIII3a	0.357	0.92	0.429
AEIII3b	0.411	0.604	0.618	AEIII3b	0.352	0.985	0.33
AEIII3c	0.337	0.852	0.418	AEIII3c	0.337	1.077	0.267
CANASOL							
AEC1a	0.376	0.678	0.461	AEC1a	0.367	1.121	0.311
AEC1b	0.421	0.89	0.443	AEC1b	0.307	0.856	0.385
AEC1c	0.372	0.853	0.39	AEC1c	0.327	0.993	0.324
AEC2a	0.416	0.648	0.531	AEC2a	0.317	0.756	0.404
AEC2b	0.491	1.305	0.381	AEC2b	0.391	1.007	0.394
AEC2c	0.411	0.866	0.408	AEC2c	0.352	0.817	0.357
AEC3a	0.347	0.858	0.367	AEC3a	0.237	1.109	0.19
AEC3b	0.352	0.924	0.333	AEC3b	0.367	1.195	0.29
AEC3c	0.411	1.082	0.42	AEC3c	0.322	0.952	0.351

Tabla 23. Resultados se la resistencia a la tensión de los hilos de SEDA antes y después del envejecimiento acelerado en laboratorio							
Hilo lavado	N	mm	N/mm	Hilo envejecido	N	mm	N/mm
REFERENCIA							
SX1a	0.317	1.522	0.253	SEX1a	0.327	0.757	0.415
SX1b	0.282	0.848	0.185	SEX1b	0.282	0.617	0.456
SX1c	0.381	1.724	0.249	- ⁵			
SX2a	0.237	1.148	0.234	SEX2a	0.287	0.738	0.252
SX2b	0.337	1.059	0.343	SEX2b	0.277	0.302	0.639
SX2c	0.391	1.421	0.295	SEX2c	0.292	0.659	0.498
SX3a	0.376	1.195	0.343	SEX3a	0.252	0.869	0.326
SX3b	0.421	1.564	0.304	SEX3b	0.277	0.927	0.262
SX3c	0.451	1.638	0.304	SEX3c	0.287	0.826	0.372
Agave lechuguilla CHAHIN							
SI1a	0.267	0.614	0.45	SEI1a	0.052	0	0
SI1b	0.376	1.207	0.333	SEI1b	0.152	0.46	0.401
SI1c	0.332	1.529	0.246	SEI1c	0.217	0.737	0.3
SI2a	0.312	1.07	0.322	SEI2a	0.202	0.787	0.296
SI2b	0.297	1.166	0.259	SEI2b	0.172	0.478	0.343
SI2c	0.376	1.459	0.302	SEI2c	0.202	1.066	0.199

⁵ Aunque se realizaron pruebas en todos los hilos, los resultados de la muestra SEX1c no fueron entregados, por lo que no se pudieron incluir en el análisis de datos.

SI3a	0.302	1.192	0.307	SEI3a	0.192	0.465	0.425
SI3b	0.411	2.045	0.222	SEI3b	0.057	0	0
SI3c	0.362	1.639	0.241	SEI3c	0.177	0.533	0.321
BIORGANIX							
SII1a	0.372	0.949	0.386	SEII1a	0	0	0
SII1b	0.277	0.964	0.287	SEII1b	0.042	0.052	0.768
SII1c	0.337	2.152	0.181	SEII1c	0.057	0.107	0.538
SII2a	0.362	0.988	0.218	SEII2a	0.217	0.552	0.403
SII2b	0.391	1.06	0.393	SEII2b	0.217	0.307	0.682
SII2c	0.372	1.884	0.232	SEII2c	0.207	0.429	0.468
SII3a	0.426	1.73	0.257	SEII3a	0.182	0.064	1.319
SII3b	0.416	1.703	0.29	SEII3b	0.217	0.121	1.361
SII3c	0.367	1.144	0.381	SEII3c	0.112	0.115	0.754
SIGMA							
SIII1a	0.367	2.249	0.174	SEIII1a	0.257	0.309	0.575
SIII1b	0.436	1.377	0.347	SEIII1b	0.242	0.936	0.283
SIII1c	0.401	2.159	0.195	SEIII1c	0.277	0.955	0.291
SIII2a	0.367	1.382	0.303	SEIII2a	0.257	0.852	0.337
SIII2b	0.357	1.486	0.26	SEIII2b	0.257	0.499	0.445
SIII2c	0.062	0	0	SEIII2c	0.277	0.494	0.573
SIII3a	0.272	1.635	0.174	SEIII3a	0.267	0.854	0.344
SIII3b	0.367	1.933	0.198	SEIII3b	0.282	0.412	0.588
SIII3c	0.092	0.199	0.311	SEIII3c	0.307	0.515	0.535
CANASOL							
SC1a	0.461	1.611	0.307	SEC1a	0.337	0.765	0.452
SC1b	0.431	2.124	0.225	SEC1b	0.252	0.514	0.5
SC1c	0.421	2.913	0.166	SEC1c	0.297	0.595	0.433
SC2a	0.347	1.629	0.26	SEC2a	0.312	0.758	0.384
SC2b	0.381	1.651	0.271	SEC2b	0.277	0.669	0.436
SC2c	0.411	1.379	0.325	SEC2c	0.237	0.543	0.401
SC3a	0.406	1.721	0.263	SEC3a	0.282	0.565	0.496
SC3b	0.357	1.751	0.244	SEC3b	0.322	0.767	0.406
SC3c	0.352	1.193	0.325	SEC3c	0.287	0.783	0.396