

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“ESTRATEGIA 3R PARA LA GESTIÓN DE LOS EFLUENTES TEXTILES
GENERADOS POR LOS PROCESOS TINTÓREOS”**

Líneas de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales

TESIS

Para Optar el Grado Académico de Maestra en Gestión Ambiental

AUTORA:

Uribe Valenzuela, Carmen Luisa

ASESORA:

Dra. Castañeda Pérez, Luz Genara

JURADO:

Dr. Mayhuasca Guerra, Jorge Víctor

Dr. Bolivar Jimenez, José Luis

Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo

Lima – Perú

2021

DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo, paciencia y cariño en esta etapa de mi vida,
en especial a Rebeca, mi madre.

AGRADECIMIENTO

A Dios. Gracias Señor.

A mis maestros de la Escuela de Posgrado de la UNFV, en especial a mi Asesora de tesis la Dra. Luz Castañeda Pérez, muchas gracias por su dedicación, consejos y apoyo, y por todos sus esfuerzos y ganas de seguir formando mejores profesionales y personas.

Al Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Textil de la UNI por permitirme usar los equipos y maquinarias de sus laboratorios para el desarrollo de esta tesis, al Dr. José Solís y al Mg.

Rigoberto Marín respectivamente.

Índice

I. Introducción	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Descripción del Problema.....	2
1.3 Formulación del Problema	3
1.3.1 Problema General.....	4
1.3.2 Problemas Específicos.....	4
1.4 Antecedentes	4
1.4.1 Antecedentes Internacionales.....	4
1.4.2 Antecedentes Nacionales.....	8
1.5 Justificación e Importancia de la Investigación.....	9
1.6 Limitaciones de la Investigación	11
1.7 Objetivos de la Investigación.....	11
1.7.1 Objetivo General	11
1.7.2 Objetivos Específicos.....	11
1.8 Hipótesis.....	12
1.8.1 Hipótesis Nula.....	12
1.8.2 Hipótesis de la Investigación.....	12
II. Marco Teórico	13
2.1 Agua en la Industria Textil.....	13
2.1.1 Consumo de Agua	13
2.1.2 Uso del Agua.....	14
2.2 Efluentes Textiles	18
2.2.1 Presencia del Colorante en las Aguas Residuales Textiles	19
2.2.2 Caracterización Físicoquímica de los Efluentes Textiles.....	20
2.3 Gestión de Efluentes.....	22
2.3.1 Las Tres Erres de la Ecología y el Medioambiente	23
2.3.2 Reducción del Consumo de Agua	24
2.3.3 Reutilización de Baños de Procesos.....	25
2.3.4 Reciclaje del Agua Tratada	27
2.4 Procesos Tintóreos	30
2.4.1 Tratamiento Previo.....	31
2.4.2 Tintura del Algodón con colorantes Reactivos	31

2.4.3 Tintura de Poliéster con Colorantes Dispersos.....	34
2.4.4 Lavados Posteriores.....	35
2.5 Aspectos de Responsabilidad Social y Medio Ambiente	36
2.5.1 Normativas Legales.....	37
III. Método	39
3.1 Tipo de Investigación	39
3.2 Población y Muestra	39
3.2.1. Población.....	39
3.2.2 Muestra.....	40
3.3 Operacionalización de Variables	40
3.4 Instrumentos	42
3.4.1 Máquina de teñido.....	43
3.4.2 pHmetro Digital	43
3.4.3 Termómetro de Mercurio	43
3.4.4 Espectrofotómetro	43
3.4.5 Balanza Analítica	44
3.4.6 Agitador Magnético.....	44
3.4.7 Material de Vidrio	44
3.4.8 Laboratorio Externo	44
3.5 Procedimientos	44
3.5.1 Primera R de Reducción.....	45
3.5.2 Procedimiento Experimental para la Segunda R de Reúso	45
3.5.3 Tercera R de Reciclado	51
3.6 Análisis de Datos	52
3.6.1 Reducción del Consumo de Agua en la Fuente.....	52
3.6.2 Reutilización Experimental de Baños en Tinturas Sucesivas.....	55
3.6.3 Reciclaje de Efluente Textil	81
3.7 Consideraciones Éticas	83
IV. Resultados	84
4.1 Reducción del Consumo de Agua en la Fuente.....	84
4.1.1 Consumo de Agua	84
4.1.2 Ahorro de Agua.....	84
4.2 Reutilización Experimental de Baños.....	85
4.2.1 Calidad de las Tinturas con Baños de Reutilización	85

4.2.2 Ahorro de Agua por Reutilización	89
4.2.3 Ahorro de Insumos por Reutilización	90
4.3 Reciclaje de los Efluentes Textiles	92
4.3.1 Carga Contaminante de los efluentes	92
4.3.1 Inversión.....	93
V. Discusión de Resultados.....	95
5.1 Objetivo Específico Reducción.....	95
5.2 Objetivo Específico Reutilización	95
5.3 Objetivo Específico Reciclado	99
5.4. Objetivo General	100
VI. Conclusiones	101
VII. Recomendaciones	102
VIII. Referencias	103
IX. Anexos	112
ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA	112
ANEXO II: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO	113
ANEXO III: FOTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	123

Índice de Tablas

Tabla 1. Consumo promedio de agua en textiles.....	14
Tabla 2. Características de los efluentes textiles de tintorerías de tejido de punto.....	18
Tabla 3. Colorante no fijado al textil.....	19
Tabla 4. Caracterización de las aguas residuales textiles.....	21
Tabla 5. Remoción de colorante de efluentes textiles por coagulación-floculación.....	28
Tabla 6. Valores Máximos Admisibles de las aguas residuales no domésticas: Anexo 1...38	38
Tabla 7. Valores Máximos Admisibles de las aguas residuales no domésticas: Anexo 2...38	38
Tabla 8. Resumen de baños madres y reúsos en tejidos de poliéster y algodón	40
Tabla 9. Operacionalización de la variable independiente.....	41
Tabla 10. Operacionalización de la variable dependiente.....	42
Tabla 11. Reducción del consumo de agua por disminución de R.B. 1/10 a 1/9.....	54
Tabla 12. Reducción del consumo de agua por disminución de R.B. 1/10 a 1/8.....	54
Tabla 13. Características promedio de baños madre y reutilizados para poliéster.....	55
Tabla 14. Características promedio de baños madres y reutilizados para el algodón.....	56
Tabla 15. Recetas del teñido disperso para el color plata en poliéster.....	57
Tabla 16. Recetas del teñido disperso para el color gris en poliéster.....	57
Tabla 17. Recetas de teñido disperso para el color negro en poliéster.....	57
Tabla 18. Recetas del teñido óptico para el poliéster.....	58
Tabla 19. Recetas de teñido reactivo para el color plomo en algodón.....	58
Tabla 20. Recetas de teñido reactivo para el color gris en algodón.....	58
Tabla 21. Recetas de teñido reactivo para el color negro en algodón.....	59
Tabla 22. Recetas del teñido blanco óptico para el algodón crudo.....	59
Tabla 23. Recetas del blanqueo químico para algodón crudo.....	59
Tabla 24. Diferencia de color DE CMC de los tejidos de poliéster en color plata	65
Tabla 25. Diferencia de color DE CMC de los tejidos de poliéster en color gris.....	66
Tabla 26. Diferencia de color DE CMC de los tejidos de poliéster en color negro.....	66
Tabla 27. Diferencia de color y Grado CIE del blanco óptico en poliéster.....	67
Tabla 28. Diferencia de color DE CMC de los tejidos de algodón en color plomo.....	68
Tabla 29. Diferencia de color de los tejidos de algodón en color gris.....	69
Tabla 30. Diferencia de color DE CMC de los tejidos de algodón en color negro.....	69

Tabla 31. Diferencia de color y Grado CIE del blanco óptico en algodón.....	70
Tabla 32. Diferencia de color y Grado Berger del blanqueo en algodón.....	71
Tabla 33. Análisis de efluentes textiles de procesos tintóreos de poliéster.....	81
Tabla 34. Análisis de efluentes textiles de procesos tintóreos de algodón.....	81
Tabla 35. Análisis de los efluentes textiles mezclados de poliéster y algodón.....	82
Tabla 36. Comparación de costos de tratamiento biológico y de electrocoagulación.....	82
Tabla 37. Comparación de la DE CMC promedio de los teñidos madre y reúso.....	85
Tabla 38. Ahorro de agua de los teñidos con baños reúso.....	89
Tabla 39. Ahorro de insumos en los teñidos.....	91

Índice de Figuras

Figura 1. Uso interno del agua en una empresa textil.....	15
Figura 2. Consumo de Agua en los Procesos Tintóreos.....	16
Figura 3. Máquina de teñido con intercambiador de calor.....	17
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de tintura en máquina por agotamiento.....	17
Figura 5. Las tres erres de la ecología y medioambiente en aguas residuales.....	24
Figura 6. Proceso de reutilización con almacenaje.....	26
Figura 7. Tratamiento para la eliminación de color en las aguas residuales textiles.....	29
Figura 8. Procesos en tintorería de tejido de punto por agotamiento.....	30
Figura 9. Mecanismo de tintura de fibras celulósicas con colorantes reactivos.....	32
Figura 10. Mecanismo de la tintura con colorantes dispersos.....	35
Figura 11. Curva de proceso para el teñido de los tejidos de poliéster.....	47
Figura 12. Curva de proceso para el teñido de los tejidos de algodón.....	48
Figura 13. Curva de proceso del blanco óptico y blanqueo químico en algodón	49
Figura 14. Baños inicial y agotado de la tintura del color plata en poliéster.....	49
Figura 15. pH y volumen del baño de tintura madre agotado color plata.....	50
Figura 16. Baños agotados de la tintura con colorantes dispersos	51
Figura 17. Consumo promedio diario de agua el primer semestre del año 2019.....	53
Figura 18. Consumo de agua en L/kg de material textil en el primer semestre 2019.....	53
Figura 19. Curvas espectrales de los tejidos de poliéster teñidos en color plata.....	60
Figura 20. Curvas espectrales de los tejidos de poliéster teñidos en color gris	60
Figura 21. Curvas espectrales de los tejidos de poliéster en color negro.....	61
Figura 22. Curvas espectrales de los tejidos de poliéster en blanco óptico.....	61
Figura 23. Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color plomo	62
Figura 24. Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color gris.....	62
Figura 25. Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color negro.....	63
Figura 26. Curvas espectrales de los tejidos de algodón en blanco óptico.....	64
Figura 27. Curvas espectrales de los tejidos de algodón con blanqueo químico.....	64
Figura 28. Desviación estándar de la DE CMC del color plata en poliéster.....	72
Figura 29. Desviación estándar de la DE CMC del color gris en poliéster.....	72
Figura 30. Desviación estándar de la DE CMC del color negro en poliéster.....	73

Figura 31. Desviación estándar del Grado de Blanco CIE del óptico en poliéster.....	73
Figura 32. Desviación estándar de la DE CMC en plomo en algodón	74
Figura 33. Desviación estándar de la DE CMC del color gris en algodón	74
Figura 34. Desviación estándar de la DE CMC del color negro en algodón	75
Figura 35. Desviación estándar del Grado de Blanco CIE del óptico en algodón.....	75
Figura 36. Desviación estándar del Grado de blanco Berger del blanqueo químico.....	76
Figura 37. Diagrama de la DE CMC del color plata en poliéster.....	76
Figura 38. Diagrama de la DE CMC del color gris en poliéster	77
Figura 39. Diagrama de la DE CMC del color negro en poliéster.....	77
Figura 40. Diagrama de la DE CMC del color blanco óptico en poliéster.....	78
Figura 41. Diagrama de la DE CMC del color plomo en algodón.....	78
Figura 42. Diagrama de la DE CMC del color gris en algodón.....	79
Figura 43. Diagrama de la DE CMC del color negro en algodón.....	79
Figura 44. Diagrama de la DE CMC del color del blanco óptico en algodón.....	80
Figura 45. Diagrama de la DE CMC del blanqueo químico en algodón.....	80
Figura 46. Reducción del consumo de agua por disminución de la relación de baño.....	84
Figura 47. DE CMC promedio de teñidos con baños madre y reúso en poliéster.....	86
Figura 48. Desviación estándar de la DE CMC de las tinturas con reúso en poliéster.....	87
Figura 49. DE CMC promedio de teñidos con baños madre y reúso en algodón	88
Figura 50. Desviación estándar de la DE CMC de las tinturas con reúso en algodón.....	88
Figura 51. Ahorro de agua de los teñidos de poliéster con baños reutilizados	89
Figura 52. Ahorro de agua de los teñidos de algodón con baños reutilizados	90
Figura 53 Ahorro de insumos en teñidos de poliéster con baños reutilizados	91
Figura 54. Ahorro de insumos en teñidos de algodón con baños reutilizados	92
Figura 55. Análisis de los efluentes textiles generados.....	93
Figura 56. Tratamiento de efluentes con EC, filtración, ultrafiltración y OI.....	94

Resumen

El objetivo del estudio fue demostrar que las 3R de la ecología y medioambiente, usadas en la gestión de los residuos sólidos de manera exitosa, se pueden aplicar en la gestión de los efluentes textiles. Se empezó por la reducción bajando el consumo de agua con un manejo adecuado de la relación de baño en los procesos tintóreos. Para el reúso de baños se generaron efluentes textiles en el laboratorio realizando tinturas madres por en diversos colores a una relación de baño 1/8 en telas de poliéster y algodón. Se caracterizaron, reconstruyeron los baños madres, y luego se reutilizaron en nuevas tinturas. Los resultados obtenidos fueron: Para la R de reducción un ahorro de agua del 13,7% en el teñido reactivo del algodón y 11,8% en el teñido disperso del poliéster al bajar un punto en la relación de baño. Para segunda R, los teñidos con baños reutilizados presentan valores de diferencia de color DE CMC (2:1) promedio por debajo de la unidad, tolerancia usada en la industria textil, con valores de 0,44 y 0,62 para colores grises en poliéster y algodón, respectivamente. Se obtuvo un ahorro de agua de 32,4% para poliéster y de 12,1% para algodón y un ahorro promedio en insumos para el teñido disperso de 10,64% y 18,39% para el teñido reactivo, para este último el ahorro principal fue 56,25% en cloruro de sodio. Finalmente, para la tercera R, se evaluó la carga contaminante de los efluentes y se demostró la necesidad de un tratamiento centralizado.

Palabras clave: Efluente textil, reducir, reusar, reciclar, tintura

Abstract

The objective of the study was to demonstrate that the 3Rs of ecology and environment, used successfully in solid waste management, can be applied in the management of textile effluents. It began with the reduction by lowering the water consumption with adequate management of the liquor ratio in the dyeing processes. For the reuse of baths, textile effluents were generated in the laboratory, making mother dyeing in different colors at a 1/8 liquor ratio on polyester and cotton fabrics. The mother baths were characterized, reconstructed, and then reused in new dyeing. The results obtained were: For the reduction R, a water-saving of 13,7% in the reactive dyeing of cotton and 11,8% in the disperse dyeing of polyester by lowering a point in the liquor ratio. For the second R, those dyed with reused baths present average color difference values DE CMC (2: 1) below unity, tolerance used in the textile industry, with values of 0,44 and 0,62 for gray colors in polyester and cotton, respectively. A water-saving of 32,4% was obtained for polyester and 12,1% for cotton and an average saving in supplies for disperse dyeing of 10,64% and 18,39% for reactive dyeing, for the latter the main savings were 56,25% in sodium chloride. Finally, for the third R, the pollutant load of the effluents was evaluated and the need for a centralized treatment was demonstrated.

Keywords: Textile effluent, reduce, reuse, recycle, dyeing

I. Introducción

1.1 Planteamiento del Problema

La industria textil, desde la primera revolución industrial, ha usado de manera indiscriminada los recursos de la naturaleza para sus procesos de producción. Algunas empresas textiles trabajan de manera poco eficiente, con tecnología no apropiada, o insumos que ocasionan el aumento de la contaminación ambiental del agua por los efluentes generados, del aire por las emisiones de gases o material particulado y del suelo por la generación de residuos sólidos.

Existen varias causas que originan que los procesos industriales sean ineficientes, uno de ellos es que no existe transformación total de las materias primas en productos, es decir, se originan residuos en estado sólido, líquido o gaseoso, que generalmente tienen como destino final la descarga al medioambiente, en algunos casos, sin ningún tratamiento (Romero, Rodríguez & Masó, 2016).

Específicamente en el caso del recurso agua encontramos que existen estimaciones de las Naciones Unidas que mencionan que el 80% del total de los efluentes industriales y domésticos se libera al medioambiente sin ningún tratamiento previo, y que es una práctica usual sobre todo en los países en vías de desarrollo, generando impactos perjudiciales al medio ambiente (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017, p. 2)

A escala mundial los datos que se tienen sobre el consumo del agua en la industria y por consiguiente de los efluentes que se generarían son poco alentadores. A nivel nacional la magnitud real del volumen de las aguas residuales que las industrias formales e informales producen no es conocida con exactitud. Según las Naciones Unidas “se estima que la demanda de agua para la industria manufacturera aumentará un 400% durante el período del

2000 al 2050” (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2018, p.61)

1.2 Descripción del Problema

El mayor impacto que produce la industria textil al ambiente no sólo está relacionado con el consumo del recurso agua, necesario para los procesos realizados en la tintorería, sino también con la contaminación de sus aguas residuales o efluentes. Por un lado, el propio sustrato textil que ingresa al proceso trae agentes contaminantes como aceites, parafinas, pigmentos naturales y otros. Por otro lado, los productos químicos, auxiliares y colorantes que ingresan al proceso de tintura no son agotados o consumidos en su totalidad por el sustrato textil. Es decir, se producen residuos que están presentes en los efluentes y que causan problemas en la disposición final, peor aún si no se realiza ningún tratamiento antes de su descarga a la red de alcantarillado público.

La mayoría de los autores consultados afirman que la industria textil requiere gran cantidad de agua para sus procesos productivos y que se necesita de 100 a 200 litros de agua para producir un kilogramo de productos textiles (Carvalho *et al.*, 2016, citado por Gilpavas, Arbeláez, Medina & Gómez, 2018, p. 158). El consumo de agua usada también depende del tipo de fibra textil tratada, para el caso del algodón es de 50 a 120 L/kg y para las fibras sintéticas de 10 a 100 L/kg (Castells, 2012, p.1023).

Otras fuentes afirman que el consumo de agua en la industria textil varía entre 80 a 100 L/kg de material textil acabado y que la descarga de efluentes presenta entre 115 a 175 kg de Demanda química de oxígeno (DQO)/tonelada de textil acabado, una amplia gama de productos químicos orgánicos, baja biodegradabilidad, color, salinidad (Rosi, Casarci, Mattioli & De Florio, 2007, p.1).

La caracterización de la contaminación producida por la industria textil es compleja debido a que se trata de una industria que usa una gran variedad de sustratos textiles, maquinarias, diferentes productos, métodos de producción y los diversos procesos tintóreos que incluyen la preparación, estampado, tintura y acabado. Todos se interrelacionan en la producción de una tela acabada (Hasanbeigi & Price, 2012, p. 1-2).

El teñido con colorantes orgánicos sintéticos es uno de los procesos tintóreos más importantes que se realiza en una tintorería textil y es el que incrementa la Demanda química de oxígeno y la presencia del color en las aguas residuales textiles (Nawaz & Ashan, 2014, p. 718). En general, durante el proceso de tintura, hasta un 30% del colorante utilizado puede ser vertido en los efluentes. Por esta razón, las aguas residuales generadas por esta industria se caracterizan por presentar un fuerte color (Buscio, 2015).

En nuestro país el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece en el D.S. N°021-2009 – Vivienda: Descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, los estándares de valores máximos admisibles (VMA) de los efluentes que son vertidos a la red de alcantarillado y los pagos de multas por sobrepasar la concentración de: Demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales, temperatura, pH, aceites y grasas, entre otros. Esta normativa obliga a las empresas textiles peruanas a mejorar la gestión de sus efluentes y pensar seriamente en invertir en alternativas de solución.

1.3 Formulación del Problema

La falta de una correcta gestión de las aguas residuales o efluentes textiles provenientes de diversos procesos tintóreos de la industria textil origina que se consuma altos volúmenes del recurso agua y se descarguen efluentes con carga contaminante hacia

los ecosistemas y comunidades circundantes a la ubicación de las fábricas textiles, en tal sentido se formula el problema general y los problemas específicos.

1.3.1 Problema General

¿Cómo se puede establecer una gestión de los efluentes textiles generados por los procesos tintóreos?

1.3.2 Problemas Específicos

¿De qué manera es posible la reducción del consumo de agua y de insumos usados en los procesos tintóreos?

¿De qué manera se puede establecer la reutilización de las aguas provenientes de los procesos tintóreos?

¿De qué manera es posible el reciclaje de los efluentes textiles de los procesos tintóreos?

1.4 Antecedentes

Los científicos de países desarrollados y en vías del desarrollo, preocupados por el tema ambiental del consumo elevado del recurso agua y de la contaminación los efluentes generados por la industria textil han investigado diversas posibilidades que incluyen la reutilización, ya sea previo un tratamiento centralizado de los efluentes o con el reúso directo de las descargas de los baños de algunos procesos tintóreos para conseguir la disminución del consumo del agua y de la contaminación de las aguas residuales textiles.

1.4.1 Antecedentes Internacionales

Karim, Islam, Dutta, Hossain, & Bain (2020) realizaron un estudio que tuvo como objetivo la reutilización de los efluentes textiles de tinturas de algodón con colorantes reactivo a fin de minimizar costos de teñido. Baños residuales de 7 teñidos estándar se reutilizaron en 7 nuevos baños con diferentes porcentajes de colorantes y químicos: 80%,

70%, 60%, 50%, 40%, 20% y 0% de colorantes y químicos de la receta estándar. Las muestras teñidas con los baños reutilizados se evaluaron versus la muestra con el teñido estándar en color usando un espectrofotómetro y en solidez del color al lavado y frote. Los resultados de solidez fueron satisfactorios para todas las muestras teñidas, pero en el atributo color la diferencia de color DE CMC (2:1) la muestra con el 80% de colorantes y químicos mostro un valor de 0,83 es decir, diferencia menor a la tolerancia usada en la industria textil de una unidad. Por lo tanto, concluyeron que se puede ahorrar alrededor de un 20% en insumos consiguiendo así tener influencia en el tema medioambiental y la rentabilidad de las tintorerías textiles.

Melgarejo (2019) en el Congreso Nacional del Agua 2019: Innovación y Sostenibilidad, realizado en Alicante-España, expuso la necesidad de la reutilización del agua como base de la economía circular, que este recurso escaso necesitaba una gestión eficiente tanto en el sector público como industrial y que el agua que había sido regenerada de los efluentes industriales se podía volver a usar para la generación de nuevos productos reduciendo su impacto ambiental y los costos. Adicionalmente, también, se podía extraer y recuperar recursos contenidos tanto en los efluentes industriales como en los domésticos.

Díaz (2018) en su tesis para obtener el grado de magister en Gestión Ambiental realizó un diagnóstico de la operación de la planta de aguas residuales de una empresa textil ecuatoriana, comparó los parámetros fisicoquímicos en cada unidad de tratamiento de esta: tratamiento primario, biológico y fisicoquímico. Encontró que el efluente tenía un índice de biodegradabilidad media de 3,14, y el nivel de DQO era superior a 500 ppm y no se cumplía con el límite permisible para la descarga al alcantarillado público. Estableció mejoras como la creación de procedimientos de dosificación de químicos, mantenimiento y limpieza en cada unidad de la planta de tratamiento, pero no fue suficiente para garantizar que el DQO

esté por debajo del valor máximo admisible de acuerdo a la normativa vigente. Realizó ensayos a nivel laboratorio de un proceso adicional utilizando el método Fenton y consiguió alcanzar un 57,64 % de eficiencia de depuración de la DQO y una eficiencia del 82,90% en todo el proceso.

Romero, Rodríguez & Masó (2016) realizaron un trabajo de investigación en una empresa textil cubana, ubicada en la Habana que tuvo como objetivo recopilar toda la información existente en la industria, relacionada con las características fisicoquímicas de sus aguas residuales, y efectuar un veredicto sobre el funcionamiento del plan de Producciones Más Limpias implementado En el año 2006. Analizaron los datos desde el 2002 hasta el 2014. Concluyeron que se ha disminuido su consumo de agua y que aun sin contar con un sistema de tratamiento de las aguas residuales, ha bajado su carga contaminante, debido a que prácticamente todos los parámetros analizados cumplen con lo normado para el vertimiento al alcantarillado con excepción del pH de 9,5. Recomendaron valorar la propuesta de una planta de tratamiento de las aguas residuales para el reúso total o parcial del efluente tratado.

Guamán (2014) en su tesis para obtener el grado de magister en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental realizó una investigación experimental relacionada con la contaminación del recurso agua en la lavandería y tintorería “Mundo Color”, ubicada en la provincia de Tungurahua en el Ecuador, y una evaluación de impactos ambientales que la empresa textil ocasiona usando la matriz simplificada de Leopold. Realizó ensayos para lograr la remoción del color de las aguas residuales aplicando el método de la electrocoagulación; construyó una celda electrolítica para determinar los parámetros de diseño y concluyó con una propuesta de un sistema que remueve el color entre 80% y 96%. Finalmente, para lograr una efectiva administración de la gestión ambiental en la empresa

textil desarrolló un manual de gestión ambiental básico de acuerdo con la Norma ISO 14001-2004.

Valldeperas, Lis & Navarro (2013) investigadores de España, obtuvieron la patente de invención de un “Procedimiento de teñido de fibras textiles celulósicas y sus mezclas y poliéster y sus mezclas por medio de baños de teñido reciclado”, con colorantes reactivos y directos para las fibras celulósicas y colorantes dispersos para el poliéster. Reciclaron tanto el agua ya utilizada en anteriores teñidos, así como todos los productos auxiliares y químicos que se usaron y que no fueron absorbidos por el sustrato textil. Además, los restos de colorantes dispersos que no se habían agotado en los ciclos de teñido anteriores. Los investigadores mencionados y la empresa brasileña Golden Química lanzaron a nivel de producción el proceso patentado DYE CLEAN ®. En el Perú la patente de invención tiene la resolución N° 001030-2014/DIN-INDECOPI.

Savin & Butnau (2008) publicaron un artículo donde analizaron las fuentes y la carga contaminante de los efluentes en una fábrica textil en Rumanía. Realizaron la recolección de datos del proceso y la caracterización de los efluentes del proceso para con el objetivo de ver su tratamiento y reutilización. Las muestras fueron tomadas durante dos meses y se extrajeron de las aguas residuales y de los baños de tintura en el momento de la descarga. Analizaron estadísticamente los datos experimentales y evaluaron los valores promedio de los parámetros investigados. Concluyeron que la DQO superaba los VMA en todos los sectores analizados y que los resultados podrían ser utilizados como punto de partida para diseñar la red de alcantarillado y asegurar su protección de algunas sustancias tóxicas y contaminantes corrosivos.

Agudelo, Lis, Valldeperas & Navarro (2006), publicaron una investigación donde estudiaron las reutilizaciones directas de baños de tintura con el Color Index Azul Disperso

56 en microfibras de poliéster. Se evaluó el comportamiento de las curvas cinéticas no isotérmicas para 25 reutilizaciones a partir del baño original. De los resultados obtenidos observaron una tendencia del porcentaje de agotamiento del colorante sobre la microfibra de poliéster con el número de reutilizaciones. Concluyeron que este disminuyó hasta la 5ta reutilización, y se mantuvo constante desde la 6ª hasta la número 25.

1.4.2 Antecedentes Nacionales

La mayoría de las investigaciones nacionales sobre gestión de efluentes textiles se basan en la implementación o mejora de los sistemas de tratamiento centralizado usando diferentes técnicas como electro-oxidación, foto-degradación y biológicos entre otros.

Calderon & Olortico (2019) en su tesis para obtener el título de ingeniero químico hicieron un estudio donde efluentes textiles preparados con colorante rojo Moderdirect Supra 4B fueron tratados mediante el proceso foto-Fenton variando los parámetros de tiempo de agitación y relación entre H_2O_2/Fe . Determinaron el tiempo de residencia de 90 min con una remoción de color de 99,74%. Asimismo, obtuvieron la relación óptima de peróxido de hidrógeno con el sulfato de hierro de 17,0 la cual redujo la concentración de colorante desde 100 ppm hasta 0,26 ppm. Finalmente caracterizaron el agua decolorada tratada y concluyeron que el proceso foto-Fenton es muy efectivo en el tratamiento de aguas residuales de tinturas con colorantes directos.

Alvarado (2018) en su tesis de maestría en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible determinó la influencia del uso de la planta acuática *Lemna Minor* en el tratamiento de las aguas residuales industriales textiles de la empresa Cotexsur S.A. ubicada en Lurín. Realizó tres ensayos variando las cantidades de *Lemna Minor* (100, 200 y 300g); manteniendo constante el tiempo de retención de 10 días que fueron analizados a los 3, 6 y 10 días del tratamiento y con volumen del efluente residual constante. Se logró disminuir la

DBO en 61%; el DQO se redujo en 68 % y la concentración de sólidos suspendidos totales en 61 %. La cantidad óptima de tratamiento fue con 100g de *Lemna Minor*.

Espejo & Gómez (2017) en su tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial realizaron un estudio para la reducción del impacto ambiental que originaba la empresa textil peruana La Merced S.A. Ellos usaron normas de producción más limpia a fin e identificaron los lugares donde se producía la mayor contaminación y el uso de insumos químicos. Analizaron dos opciones para la reducción: Disminución del consumo de químicos y auxiliares en la máquina de teñido JET y la disminución del uso del agua, ácido y dispersante. Consiguieron finalmente una reducción en el consumo de insumos y el agua y por consiguiente un ahorro económico.

Tinoco, Medina & Zapata (2011) publicaron una investigación experimental donde tomaron muestras de efluentes de tintura de algodón con colorantes reactivos de una planta de textil ubicada en el cono norte de Lima. Las muestras se procesaron en laboratorio con el objetivo de demostrar que la luz ultravioleta solar puede ser utilizada para el tratamiento de los efluentes textiles. Concluyeron que a menores concentraciones del peróxido de oxígeno se logra una mejor pérdida de color; ello se justificó ya que una menor concentración de H_2O_2 , generó una menor formación de radicales hidroxilos y evitaron así que reaccionen entre ellos, y se neutralicen antes de realizar su acción oxidativa sobre el colorante. También concluyeron que a menores concentraciones de dióxido de titanio la reacción presentó una mejor decoloración; Mencionaron que esto pudo deberse a que, con menores concentraciones de dióxido de titanio, la formación del radical hidroxilo fue menor. Por lo tanto, se incrementó la eficiencia en el proceso. El tiempo óptimo de degradación del color fue de 2 horas y la concentración de dióxido de titanio fue de 50 ppm.

1.5 Justificación e Importancia de la Investigación

En las empresas textiles, específicamente en las tintorerías, aparte de consumir altos volúmenes de agua, se generan aguas residuales con distintas concentraciones de colorantes, químicos, productos auxiliares usados en los procesos, pero también, residuos de los sustratos textiles como aceites, ceras, grasas, pectinas, sales minerales, oligómeros, parafinas entre otros. Estos efluentes textiles presentan alta carga contaminante que generan impactos negativos al medioambiente y a la salud de las poblaciones si no son gestionados adecuadamente antes de ser vertidos a la red pública de alcantarillado.

En el Programa 21, aprobado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) llevada a cabo en Río de Janeiro, se considera al agua un factor clave a tener en cuenta en el desarrollo sostenible y se promueve la construcción de instalaciones de tratamiento para las aguas servidas domésticas y las aguas residuales industriales, el desarrollo y uso de nuevas tecnologías para la reducción y prevención de la contaminación, el cambio de productos y de procesos, la reducción de la contaminación en la fuente, el reaprovechamiento, reciclaje, recuperación, tratamiento y eliminación sin riesgo ecológico de los efluentes (Naciones Unidas, 1992).

Por lo tanto, la propuesta de una estrategia ambiental integrada a los procesos tintóreos de la industria textil en la gestión del agua, que involucre las tres erres de la ecología, 3R, con la racionalización del uso o reducción del consumo del recurso agua, reutilización de las aguas provenientes de las diversas operaciones y el análisis de la propuesta de planta de tratamiento con reciclaje, permitirá disminuir el consumo de agua, de la carga contaminante y a la vez el volumen de los efluentes generados en la tintorería sin perjuicio de la calidad de los textiles teñido.

Los principales beneficiarios de esta propuesta serán los empresarios, trabajadores y los vecinos del área de influencia de las tintorerías de la industria de textil peruana, ya que

este estudio permitirá cumplir no sólo con el cumplimiento de la normativa de las descargas al alcantarillado sino también reciclar el agua tratada, bajar el costo de producción por el menor consumo de agua e insumos químicos y por tanto mejorar su rentabilidad. Otros beneficiarios son el medio ambiente y la comunidad por la disminución de la huella hídrica de las empresas textiles.

1.6 Limitaciones de la Investigación

La investigación no pudo contar con efluentes directos de las tintorerías textiles debido a temores de las tintorerías por incumplimiento de algunos de los valores máximos admisibles. Lo que si se obtuvo de ellas fue data de consumo de agua y producción mensual de un período de seis meses.

El trabajo experimental se hizo a nivel laboratorio donde se realizaron procesos tintóreos que incluyen preparación, tintura, enjuagues, lavados y otros sobre algodón y poliéster, fibra natural y sintética respectivamente. Se obtuvieron textiles en diversos colores y se generaron efluentes textiles con características similares a las de una planta de tintorería.

1.7 Objetivos de la Investigación

1.7.1 Objetivo General

Proponer una estrategia ambiental para la gestión los efluentes textiles generados por los procesos tintóreos que disminuya el consumo de agua, la carga contaminante y permita ahorros económicos.

1.7.2 Objetivos Específicos

Proponer la reducción del consumo de agua usada en los diversos procesos tintóreos.

Analizar los baños efluentes de los procesos tintóreos, caracterizarlos, reconstruirlos y proponer la reutilización en nuevas tinturas sin afectar su calidad.

Proponer un sistema de tratamiento de los efluentes textiles que permita el reciclar el agua de los procesos tintóreos.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis Nula

La propuesta de la estrategia ambiental de las 3R para la gestión de los efluentes textiles provenientes de los procesos tintóreos no disminuirá el consumo de agua, ni la carga contaminante y no permitirá ahorros económicos significativos.

1.8.2 Hipótesis de la Investigación

La propuesta de la estrategia ambiental de las 3R para la gestión de los efluentes textiles provenientes de los procesos tintóreos disminuirá el consumo de agua, la carga contaminante y permitirá ahorros económicos significativos.

II. Marco Teórico

2.1 Agua en la Industria Textil

El agua es la necesidad básica de la vida y se utiliza para muchos propósitos, uno de ellos es el uso industrial, dentro de la cual se encuentra la industria del teñido de textiles, que necesita una gran cantidad de agua, que normalmente extraen desde el suelo o de fuentes de agua naturales, lo que resulta en el agotamiento del nivel del agua subterránea. (Hasan *et al.*, 2016).

El agua es de vital importancia en la industria textil, sobre todo para llevar a cabo los procesos tintóreos, pues es el vehículo principal para la disolución, aplicación y reacción de los productos del tratamiento previo, tintura y acabado; Asimismo es usado para la generación de vapor para el calentamiento de los baños y para los procesos de secado y acabado (Cegarra, 1997).

Una de las propiedades más importantes del agua es la polaridad de sus moléculas, y por esta razón el agua puede servir como disolvente de sustancias iónicas, ya que solvata tanto a cationes como aniones, y moléculas polares (Morrison & Boyd, 1998).

Otra propiedad importante del agua para los procesos de tintorería es la tensión superficial, la cual decrece al aumentar la temperatura o con el uso de tensoactivos; esto es muy importante para los procesos previos donde el sustrato textil ingresa seco y es necesario que el baño penetre rápida y uniformemente al textil. Por el contrario, la tensión superficial aumenta con la adición de sales (Cegarra, 1997, p.10), las cuales se usan en varias tinturas como por ejemplo el teñido de algodón con colorantes directos y reactivos.

2.1.1 Consumo de Agua

La cantidad de agua requerida para la producción de textiles teñidos varía de tintorería a tintorería, depende si el proceso de tintura es por agotamiento o por

impregnación, del tipo de sustrato textil producido: fibra, hilo o tela, del tipo de teñido empleado, de la tecnología de las máquinas de teñidos, de la metodología de trabajo técnico de cada fábrica, y otras variables.

Algunos autores exponen diversos rangos de consumo de agua de acuerdo con las fibras textiles empleadas, así tenemos de 50 a 120 L/kg de algodón y de 10 a 100 L/kg de fibra sintética (Castells, 2012). Otros estiman un consumo generalizado de 100 a 200 L/kg de material textil (Carvallo *et al.*, 2016 como se citó en Gilpavas *et al.*, 2018). En la Tabla 1 se muestra el consumo promedio de agua en la industria textil.

Tabla 1

Consumo promedio de agua en textiles

Tipo de Fibra/ Manufactura		Consumo promedio de agua L/kg de material
Por tipo de Fibra	Algodón	50 - 120
	Lana	75 - 250
	Otras fibras naturales	10 - 100
Por Manufactura	Telas	100 - 200
	Calcetería	80 - 120
	Estampado	0 - 400

Nota. Moustafá (2008) citado en Ammayappan, Seiko & Raj (2016)

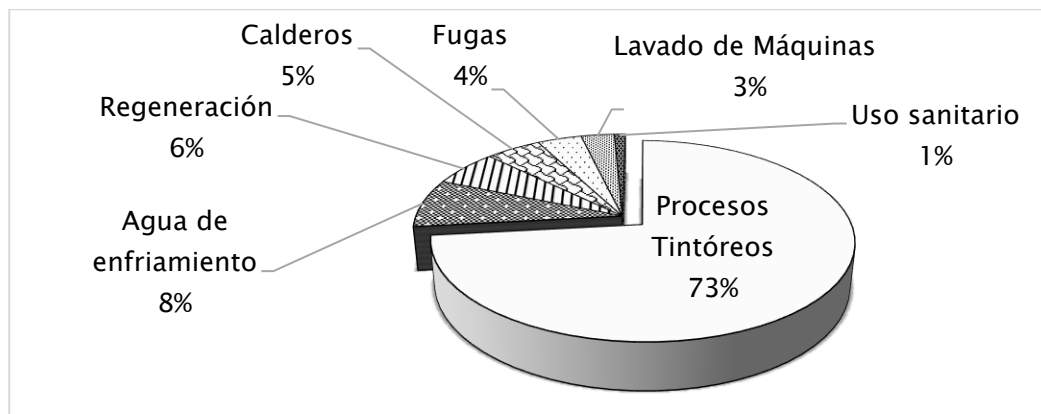
2.1.2 Uso del Agua

El uso principal del agua es en los procesos tintóreos como previos, tinturas, enjuagues y acabados, pero también se usa como agua de enfriamiento en las máquinas de teñido, en la generación de vapor, para el calentamiento indirecto de los diversos baños y en máquinas de acabados. El 73% del total de agua consumida en la industria textil se usa en los procesos tintóreos tales como preparación, tintura, lavados y acabados, y el 27% restante se utiliza en las operaciones de enfriamiento, generación de vapor, lavado de máquinas,

limpieza, entre otros (Torres, 2010, p. 5). La Figura 1 muestra la distribución del uso del agua en una empresa textil.

Figura 1

Uso interno del agua en una empresa textil



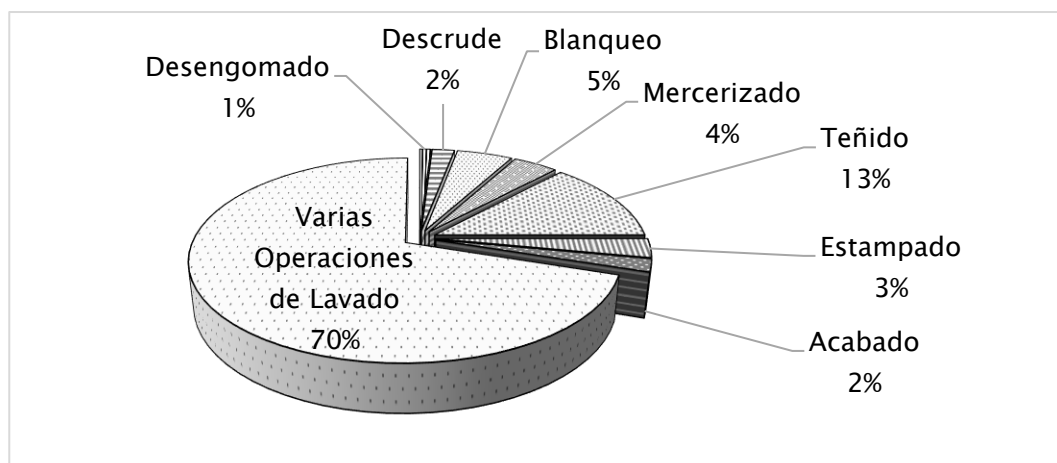
Nota. Elaborado por Torres (2010) en base a data del Instituto Catalán de Energía.

De acuerdo con la Figura 1 es en los procesos tintóreos que se realizan dentro de una tintorería, también conocidos como procesos húmedos, donde se consume el mayor porcentaje de agua, seguido del agua usada indirectamente para enfriar y calentar, es decir el agua de enfriamiento y el agua para la producción de vapor en los calderos, que suman 13%.

En la Figura 2 se muestra la distribución del consumo de agua en los procesos tintóreos, donde los tratamientos previos tales como descrude, blanqueo y desengomado suman un 8% , para el teñido se usa un 13%, un 4% para el proceso de mercerizado, 3% para estampado, 2% para los acabados, y un 70%, es decir, el mayor porcentaje es para los lavados tales como: enjuagues, jabonados, lavados reductivos entre otros, que se aplican a los diversos sustratos textiles para extraer los productos incorporados en los baños de los previos, teñidos, mercerizados, estampados y cuyo objetivo es tener una textil con limpio y con buenas solideces.

Figura 2

Consumo de agua en los procesos tintóreos



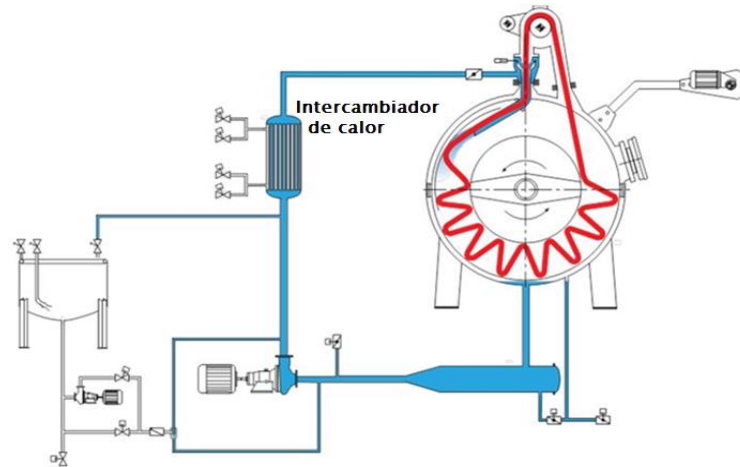
Nota. Elaborado por Hasan *et al.* (2016)

De acuerdo con lo observado en la Figura 1 las aguas de enfriamiento y el agua para calderos para la producción de vapor que es usada en los intercambiadores de calor de las diversas máquinas de la tintorería ocupaban el segundo lugar en el consumo total de agua. En la Figura 3 se aprecia el esquema de una máquina de teñido con un intercambiador de calor por donde pasa indirectamente el baño contenido dentro de la máquina de teñido para ser enfriado con agua de enfriamiento o calentado con vapor con gradiente controlada en °C/min. En ambos casos estas aguas no están en contacto con el material textil ni con productos químicos y pueden ser recolectadas y reusadas en forma directa.

Las aguas de enfriamiento convertidas en agua caliente y las aguas condensadas del vapor, se pueden almacenar en un tanque o pozo de agua caliente y reusarse en algunas operaciones que requieran agua tibia. Por lo tanto, aparte de reducir el consumo de agua se consigue un ahorro del suministro energético, vapor, y de tiempo de proceso.

Figura 3

Máquina de teñido con intercambiador de calor.

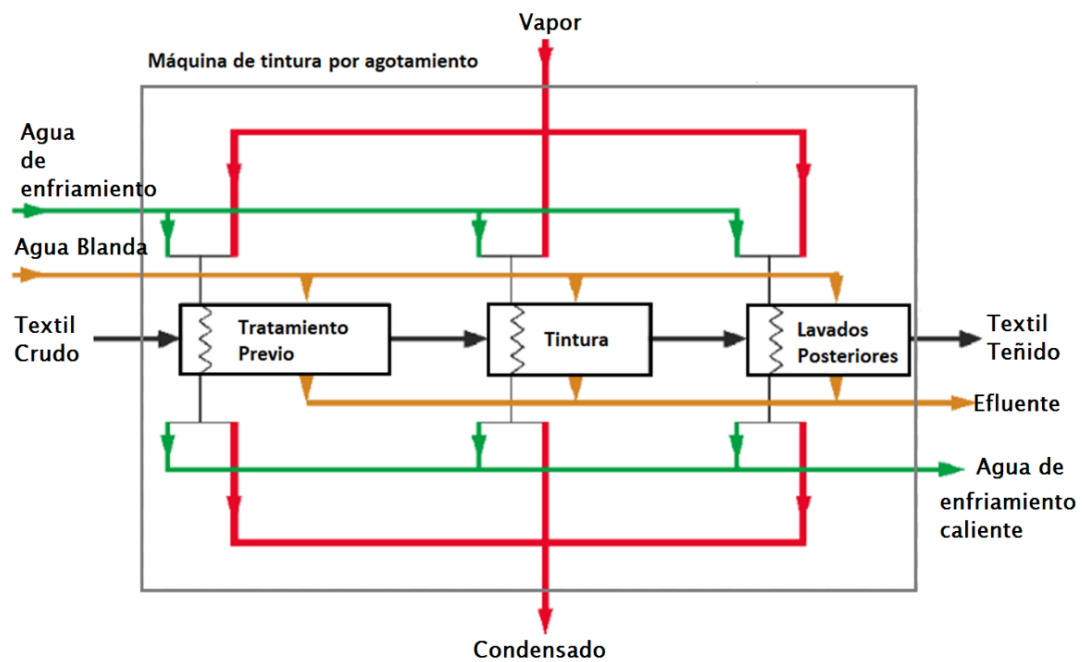


Nota. Reproducido de Google imágenes.

En la Figura 4 se observa las entradas de agua, vapor y agua de enfriamiento, y las salidas del efluente, el condensado y el agua de enfriamiento caliente respectivamente.

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso de tintura en máquina por agotamiento



Nota. Elaborado por Cahueñas (2008).

2.2 Efluentes Textiles

Las aguas residuales industriales son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014).

Las aguas residuales o efluentes textiles son los que provienen de los diversos procesos que se desarrollan en la industria textil. Estos contienen tanto compuestos que se agregan al baño como los que trae el material textil. Así tenemos los colorantes parcialmente agotados, químicos (ácidos, álcalis, sales), auxiliares, como antiqiebres, detergentes, etc. que son eliminados en los diversos baños de tintura o baños de lavados tales como enjuagues, jabonados entre otros. Además, contienen sustancias que se extraen de la materia prima textil tales como la parafina, oligómeros, aceites de ensimaje, ceras y otros de acuerdo con el tipo de fibra. En la Tabla 2 se muestra lo mencionado.

Tabla 2

Características de los efluentes textiles de tintorerías de tejido de punto

Proceso	Características del efluente textil
Descrude	Residuos de pesticidas, hidróxido de sodio, detergentes, grasas, aceites, pectinas, ceras, lubricantes de tejeduría, parafina de los hilos, solventes, antiestáticos, etc.
Blanqueo	Peróxido de hidrógeno, estabilizadores orgánicos, y todas las del descrude.
Teñido	Cloruro de sodio, sulfato de sodio, dispersantes, secuestrantes, colorante no fijado, DBO, DQO, pH alcalino (para tintura de algodón con colorantes reactivos, tinas y azufres), pH ácido (para tintura de poliéster, poliamida, acrílico y lana), oligómeros (de fibra poliéster), etc.
Acabado	DBO, DQO, sólidos suspendidos, pH ácido, etc.

Nota. Elaboración propia.

Los efluentes que se producen en las fábricas textiles que tiñen fibras naturales, a excepción de las procedentes del lavado de lana, se caracterizan por una gran variabilidad de caudal y carga contaminante, así como un bajo contenido en materias coloidales y en suspensión. Generalmente son coloreadas, su carga orgánica media es aproximadamente el doble que la de un agua residual urbana y no suelen ser tóxicas

Los efluentes que se producen en las fábricas textiles que tiñen fibras naturales, a excepción de las procedentes del lavado de lana, se caracterizan por una gran variabilidad de caudal y carga contaminante, así como un bajo contenido en materias coloidales y en suspensión. Generalmente son coloreadas, su carga orgánica media es aproximadamente el doble que la de un agua residual urbana y no suelen ser tóxicas (Lopez-Grimau & Crespi, 2015).

2.2.1 Presencia del Colorante en las Aguas Residuales Textiles

En el proceso de teñido de los textiles, no se agota todo el colorante inicial que ingresó al proceso de teñido, es decir no se une todo el colorante al sustrato textil y permanece en el baño de tintura al finalizar el tiempo de agotamiento.

En la Tabla 3 se aprecia el porcentaje de colorante no fijado presente en los efluentes textiles, donde se distingue al colorante reactivo para celulosa como el de menor fijación en el material textil.

Tabla 3

Colorante no fijado al textil

Fibra	Colorante	% Colorante No Fijado
Lana y nylon	Ácido y Reactivo	7 – 20
	Pre-metalizado	2 – 7
Algodón y viscosa	Azoico	5 – 10
	Reactivo	20 – 50
	Directo	5 – 20

	Pigmento		1
	Tina		5 – 20
	Al azufre		30 – 40
Poliéster	Disperso		8 – 20
Acrílica	Básico	modificado	2 – 3

Nota. Dyes and Pigments (2010) como se citó en Ghaly *et al.* (2014).

La presencia de colorante no fijado en los efluentes textiles es perjudicial para el medio ambiente debido a que el color intenso aumenta la turbidez, da mal aspecto, huele mal y no permite la penetración de la luz solar requerida para la actividad fotosintética e interfiere con el mecanismo de transferencia de oxígeno y por lo tanto con la vida de las especies de los ambientes acuáticos receptores de los efluentes. Además, algunos compuestos que contienen los colorantes como la naftalina y la benzamina y otros compuestos aromáticos son tóxicos y cancerígenos (Saini, 2017).

Las moléculas de los colorantes utilizados en la industria textil son de estructuras muy variadas y complejas; frecuentemente contienen grupos azo, antraquinona o ftalocianina. La mayoría de ellos son de origen sintético, solubles en agua, altamente resistentes a la acción de agentes químicos y poco biodegradables y, por lo tanto, el tratamiento de los efluentes textiles no es fácil de resolver ya que los tratamientos clásicos son poco útiles debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos (Tinoco *et al.*, 2011).

2.2.2 Caracterización Físicoquímica de los Efluentes Textiles

Los parámetros con los que se puede caracterizar los efluentes textiles son el pH, DQO, DBO, SST, la conductividad, los bicarbonatos, sales, el color, la temperatura y otros que dependen de las características del proceso productivo.

Los efluentes textiles no solo contienen una alta concentración de colorantes, sino que también contienen los productos químicos utilizados en las distintas etapas de procesamiento. Gran parte de la contaminación tiene su origen en los diferentes insumos químicos usados en los procesos previos, teñido y lavados. La Tabla 4 muestra los parámetros característicos de las aguas residuales textiles.

Tabla 4

Caracterización de las aguas residuales textiles

Característica	Unidad	Valor
Color	Pt. Co./ADMI	50 – 2500
pH	--	6,95 - 11,8
Temperatura	°C	21 – 62
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	150 – 30000
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	80 – 6000
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	15 – 8000
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2900 – 3100
Sólidos Totales	mg/L	6000 - 7000
Nitrógeno Total- Kjeldahl	mg/L	70 – 80
Aceites y Grasas	mg/L	15 - 5500
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	17 – 22

Nota. Kehinde & Aziz (2014).

Los efluentes textiles contienen altas cantidades de agentes que causan daños al medio ambiente y la salud humana, incluidos los sólidos suspendidos y disueltos, la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, los productos químicos, el olor y el color (Ghaly *et al.*, 2014).

El consumo de productos químicos normalmente varía de 10% a más del 100% del peso del sustrato textil (Ozturk *et al.*, 2009 como se citó en Raju *et al.*, 2014) y de acuerdo con lo visto en la Tabla 3 hasta un 50% de colorante reactivo que ingresa al proceso de

tintura es colorante no fijado al material textil. Por lo tanto, colorantes y químicos se deben eliminar mediante enjuagues y jabonados antes de secar y acabar el material textil para asegurar su calidad en tanto en color como en solidez. Son estos baños incluido el de la tintura lo que hace que los efluentes textiles presenten altos niveles de color, DQO, DBO, sólidos disueltos y color entre otros.

2.3 Gestión de Efluentes

Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del 2017, la gestión de efluentes o aguas residuales empieza con la prevención mediante la reducción en la fuente tanto en lo referido a la carga contaminante como en volumen de efluente producido, luego la recolección del mismo y la eliminación de los contaminantes con algún tipo de tratamiento adecuado, y finalmente, el uso beneficioso o eliminación de aguas residuales tratadas y sus subproductos (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017, p. 173)

Por lo tanto, la industria de manera general y dentro de ellas la textil, tienen la responsabilidad de comprometerse en reducir la cantidad de aguas residuales que produce y tratarla antes de la descarga, es decir, gestionarla buscando el desarrollo industrial sostenible tal como se especifica en el Objetivo Desarrollo Sostenible número 6: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos; que en la meta 6.3 dice textualmente: “De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial” (Naciones Unidas, 2015, p. 21).

Es así como “Ahora se ve a las aguas residuales como un potencial recurso y a su uso o reciclaje, después de un tratamiento adecuado, como una posibilidad de beneficiar tanto a la industria financiera y como económicamente” (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017, p. 61).

2.3.1 Las Tres Erres de la Ecología y el Medioambiente

La regla de las tres erres (3R), que inicialmente surgió como una propuesta de hábitos de consumo responsable, es ahora un concepto que hace referencia a estrategias para el manejo de residuos que buscan ser más sustentables con el medioambiente, y específicamente dar prioridad a la reducción en el volumen de residuos generados.

Las 3R fueron presentadas por el primer ministro de Japón durante la cumbre del G8 en junio de 2004, con el objetivo de construir una sociedad orientada al reciclaje. En abril de 2005 se llevó a cabo una asamblea de ministros en la que se discutió con Estados Unidos, Alemania, Francia y otros 20 países el modo en que se puede implementar de manera internacional acciones relacionadas a las 3R. Dichos encuentros permitieron desarrollar un documento con foco en el desarrollo equitativo y sostenible (Pelaez & Hernández, 2019).

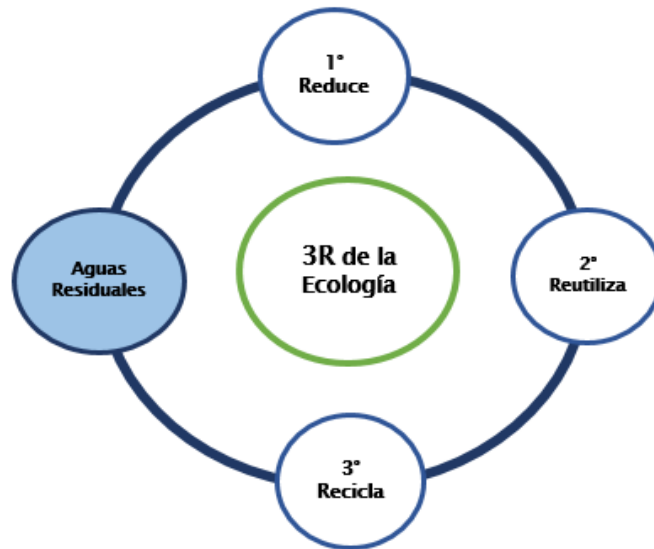
“*Reducir*” significa elegir usar las cosas con cuidado para reducir la cantidad de residuos generados. “*Reutilizar*” implica el uso repetido de elementos o partes de elementos que aún tienen aspectos utilizables. La última es “*Reciclar*” significa el uso de los residuos como recursos y consiste en someter los materiales a un proceso para que se puedan volver a utilizar (Ministerio del Ambiente de Japón, 2005).

El orden o jerarquía en que se menciona cada una de las tres “R” es de suma importancia, ya que se debe iniciar por reducir o minimizar los residuos y así proceder con las otras dos reutilizar o llamada también reusar y finalmente reciclar. Es así como, la regla de las 3R de la ecología y del medioambiente, usada inicialmente para reducir el volumen

de los residuos sólidos y reducir la huella de carbono, se puede aplicar en el recurso agua y en su gestión. En la Figura 5 se simboliza este concepto.

Figura 5

Las tres erres de la ecología y medioambiente en aguas residuales



Nota. Adaptado de De Anda (2017).

La gestión integral del agua abarca entre otras cosas, el manejo adecuado de las aguas generadas por la red doméstica o sector público, la industria o sector privado y el campo (De Anda, 2017). Se puede entonces hacer una similitud a lo aplicado en residuos sólidos podemos decir que las 3R aplicadas a las aguas residuales permitirán reducir el volumen de efluentes, tomar mayor consciencia ambiental y reducir la huella hídrica.

2.3.2 Reducción del Consumo de Agua

La calidad de vida se verá favorecida con la “Reducción” del uso y consumo de materias primas y energía, utilizando fuentes renovables y minimizando los residuos durante el ciclo de vida de los productos (Pardavé, 2007).

Al ser la primera R en jerarquía en residuos sólidos lo es también para los efluentes y se trata de definir actividades de control en el uso del agua, saber cuánto y para qué se

utiliza, ya que entre menos agua utilicemos menor será la generación de aguas residuales, esto aplica tanto para el uso de agua por la población y a nivel industrial.

Una de las maneras de reducir el consumo de agua en las tintorerías que tiñen por agotamiento es con el uso adecuado de la relación de baño, R.B., o relación de peso de sustrato textil en kilos y el volumen de baño necesario para los procesos tintóreos en litros. “Una R.B. será corta cuando la cantidad de líquido es pequeña en comparación con el peso de materia, y será larga en el caso contrario” (Valdeperas & Sánchez, 2005, p.21).

Generalmente en las tintorerías se trabaja a relaciones de baño más altas que las que se deberían, esto se debe a varios motivos uno de ellos son las cargas de teñido de bajo peso que subutilizan la capacidad de las máquinas de teñido, otra razón está en que es parte de los métodos de trabajo de la dirección técnica para asegurar la calidad de tintura, esto aunado a la falta de control diario o mensual de los litros de agua consumida por kilogramo de material textil teñido producido y que aún no se toma consciencia en temas ambientales como el uso indiscriminado del recurso agua, mantiene la práctica de trabajar a R.B. altas sin necesidad.

2.3.3 Reutilización de Baños de Procesos

Para residuos sólidos es la “*Reutilización*” de productos y sus envases, empaques y/o embalajes es una muestra de la vía compatible de la protección de la naturaleza, puesto que impide que se consuman materias primas y energía vírgenes para fabricar nuevos productos (Pardavé, 2007).

Es la segunda de las R en jerarquía y que aplicadas en la gestión de efluentes significa una posibilidad de reutilización de los baños de los procesos tintóreos: tratamiento previo, tintura, enjuagues, neutralizados y lavados posteriores, para reducir el consumo de agua y tener ahorros económicos por el agua y los productos auxiliares y químicos. Esto se justifica

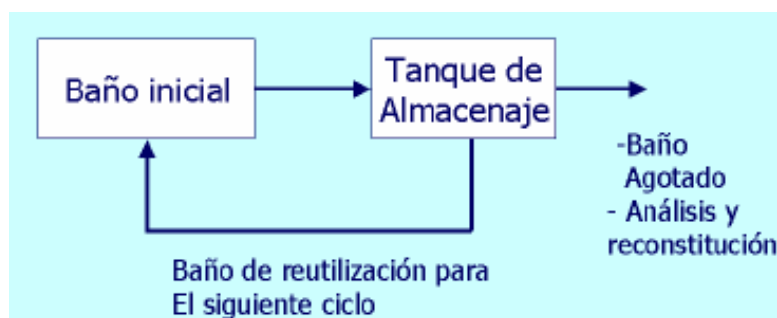
debido a que en las tinturas los productos auxiliares como los igualantes o secuestrantes y los químicos como el cloruro de sodio requerido para incrementar el agotamiento y fijación del colorante, no se agotan durante el proceso de teñido.

Reutilización de Baños de Tintura. El número de veces en que un baño de teñido puede ser usado está limitado principalmente por la concentración de impurezas presentes en el baño, esto se debe entre otras cosas, a la acumulación de productos que no se agotan en el teñido y por impurezas del sustrato textil (hilo, tela, fibra) que no fueron removidas apropiadamente en los tratamientos previos. Se estima que algunos baños pueden ser reusados sin tratamiento hasta 25 veces (Agudelo *et al.*, 2006).

Proceso con Almacenaje. Consiste en almacenaje del baño de tintura agotado, analizarlo, reconstruirlo y luego reutilizarlo en una siguiente tintura. En la reconstrucción del baño de teñido madre, se adicionan sólo las cantidades de agua, colorante y químicos para la siguiente tintura y así se completa el volumen de la relación de baño (Agudelo *et al.* 2006). En la Figura 6 se muestra el proceso de reutilización con almacenaje.

Figura 6

Proceso de reutilización baños con almacenaje.



Nota. Elaborado por Agudelo *et al.* (2006).

Reutilización de aguas indirectas. Las aguas de enfriamiento convertidas en agua caliente y el agua condensada proveniente del vapor, luego que estas han pasado por

intercambiadores de calor de las máquinas de teñido para enfriar o calentar de manera indirecta los baños de los diversos procesos tintóreos, han sido reutilizadas en muchas tintorerías y de esta manera reducen el consumo de agua.

2.3.4 Reciclaje del Agua Tratada

Reciclar es la obtención de materias primas derivadas de materiales usados o desperdicios luego de un proceso de transformación. Depende principalmente de tres factores: el valor del material como residuo, el costo del proceso de reciclaje y la aplicabilidad de la materia prima obtenida (Pardavé, 2007).

Es la última R en jerarquía, en este caso es el reciclaje de los efluentes textiles luego de ser tratados en una planta de tratamiento de aguas residuales o PTAR. El tipo de tratamiento a utilizar depende de las condiciones de la empresa como las características del efluente y de una serie de criterios de selección como los costos de inversión, operación y mantenimiento, de la eficiencia de remoción, la rentabilidad, del espacio o área disponible, del personal especializado y de los valores máximos admisibles de la normativa vigente.

Los sistemas de tratamiento de efluentes centralizados permiten disminuir el nivel de contaminantes fuera del proceso y antes de descargar los efluentes al sistema de alcantarillado o a algún cuerpo de agua cumpliendo los requerimientos de vertido. Cada vez más se están imponiendo los tratamientos de efluentes que permitan el reciclado del agua al proceso productivo (Vilaseca, 2015).

El Agua Reciclada. Es definida como “las aguas residuales tratadas o aptas para el uso que pueden usarse en condiciones controladas con fines beneficiosos dentro del mismo establecimiento o industria” (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017, p. 173)

Tratamientos de Aguas Residuales Textiles. Los tratamientos de aguas residuales textiles convencionales involucran la coagulación química con sales de hierro o aluminio combinada con procesos biológicos o adsorción como etapa de pretratamiento (Verma, Dash & Bhunia, 2012). En la Tabla 5 se puede apreciar la aplicación de estos coagulantes inorgánicos sobre algunos colorantes que contienen los efluentes textiles consiguiendo un bajo porcentaje de remoción del color.

Tabla 5

Remoción de colorante de efluentes textiles por coagulación-floculación

Tipo de coagulante	Tipo de colorante	% color removido	Referencia
Base férrica	Efluente textil real	50	(Zahrim <i>et al.</i> 2011)
Cloruro de hierro	Colorante reactivo	12	(Zahrim <i>et al.</i> , 2011)
Sulfato ferroso	Efluente textil real	50	(Zahrim <i>et al.</i> , 2011)
Sulfato de aluminio	Efluente textil algodón	60	(Selcuk, 2005)
Sulfato férrico	Efluente textil real	58	(Verma <i>et al.</i> , 2012)
Sulfato de aluminio	Colorante directo	50	(Zahrim <i>et al.</i> , 2011)
Sulfato ferroso	Efluente textil real	50	(Tun <i>et al.</i> , 2006)

Nota. Elaborado por Nourmoradi, Rahmati, Javaheri & Moradnejadi (2016).

Tratamiento Biológico. Se basa en el uso de microorganismos tales como bacterias y hongos. La materia orgánica y nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, presentes en las aguas residuales son la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento y reproducción, permitiendo la formación de flóculos macroscópicos que luego se decantan.

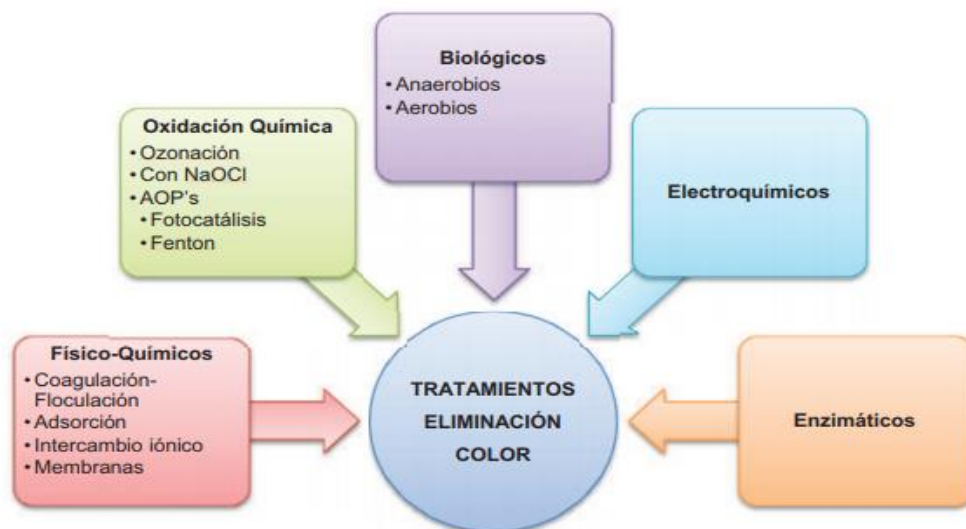
Estos tratamientos biológicos muestran alta eliminación del DQO y la turbidez, pero baja eficiencia en la eliminación de color debido a que la mayoría de los colorantes son de naturaleza inorgánica y tóxica para los microorganismos utilizados en el proceso (Gosavi & Sharma, 2013).

Tratamiento de electrocoagulación. Es un proceso en el cual las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en las aguas residuales son desestabilizadas por la inducción de corriente eléctrica a través de placas metálicas paralelas de hierro o el aluminio (Choque, 2019). Es un método viable y entre sus ventajas se encuentran los beneficios ambientales, facilidad de automatización del proceso, bajo costo, equipos simples y de fácil operación.

Tratamientos para la Eliminación del Color. La mayoría de las investigaciones realizadas en los efluentes textiles se centran en la eliminación de los colorantes ya que es el proceso que conlleva mayor dificultad (Buscio, 2015). Esto se aprecia en la Figura 7.

Figura 7

Tratamiento para la eliminación de color en las aguas residuales textiles.



Nota. Elaborado por Robinson (2001) citado por Buscio (2015).

Los colorantes son difíciles de eliminar mediante procesos de tratamiento convencionales y así surgen los tratamientos alternativos que han sido objeto de estudio en las últimas décadas son los procesos de oxidación avanzada, como los procesos Fenton y

foto-Fenton. Son altamente eficientes para la degradación de colorantes presentes en aguas residuales de la industria textil (Gilpavas *et al.*, 2018).

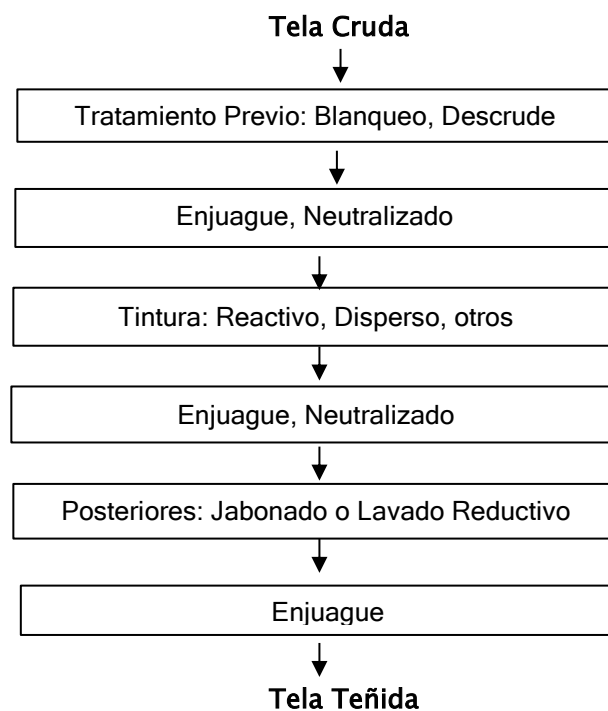
Cuando el objetivo es reciclar el agua residual tratada, existen métodos de decoloración electroquímicos asistidos por luz ultravioleta. La implementación de este sistema de tratamiento y reutilización permite ahorrar 70% de agua y 60% de sal, necesarios para preparar los nuevos baños de tintura. Esto permite ahorro económico y ahorro en el vertido de aguas residuales (Lopez-Grimau, Amante & Gutierrez, 2010).

2.4 Procesos Tintóreos

Son los que se realizan en una tintorería y entre los más importantes tienen por finalidad preparar o limpiar a los textiles, teñirlos, lavarlos y acabarlos. Estos se pueden realizar por agotamiento o lotes como se muestra en la Figura 8, o por impregnación.

Figura 8

Procesos en tintorería de tejido de punto por agotamiento o lotes



Nota. Elaboración Propia

Para llevar a cabo estos procesos se usan productos químicos, auxiliares y colorantes, los que se aplican generalmente en medio acuoso, consumiendo grandes cantidades de agua. Para esto se usan máquinas especiales de acuerdo con el tipo de fibra (Cegarra, 1997).

2.4.1 Tratamiento Previo

Para los sustratos textiles hechos a partir de fibras naturales como el algodón y sus mezclas con poliéster, se realizan blanqueos o descruces a fin de eliminar sus impurezas. El blanqueo químico con peróxido de hidrógeno se realiza cuando se requiere alto grado de blanco para el tenido posterior en colores claros, brillantes o blanqueo óptico.

El proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno por agotamiento o sistemas discontinuos se realiza a 98°C por 30 min (Cegarra, 1997). Luego se aplica un enjuague caliente, y un neutralizado con eliminación de peróxido residual con una enzima catalasa.

Para los sustratos textiles sintéticos se realizan lavados o descruces a fin de eliminar los aceites de tejeduría, los ensimajes y antiestáticos de la hilatura.

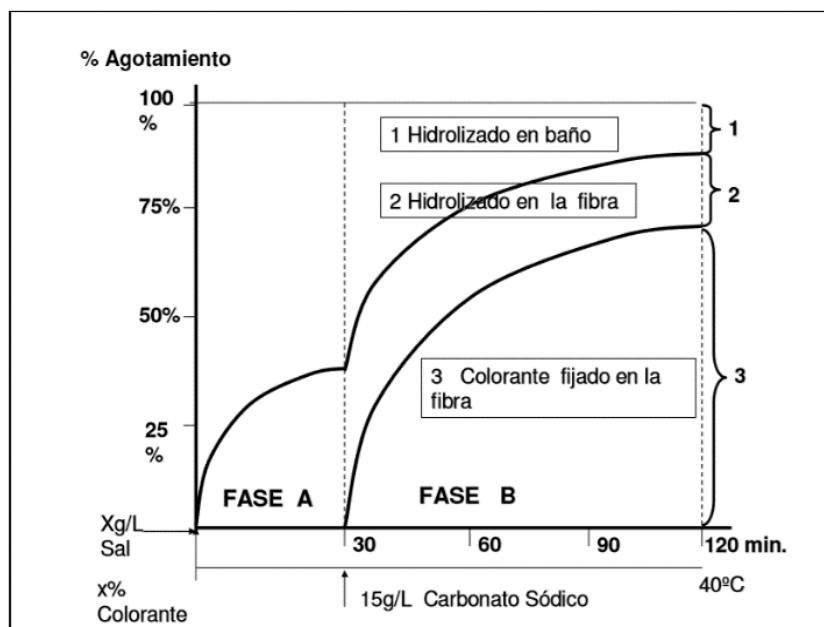
2.4.2 Tintura del Algodón con colorantes Reactivos

La tintura de algodón y otras fibras celulósicas se realiza con diversos colorantes, pero principalmente se usan los colorantes reactivos por su balance costo y calidad. Para mejorar el rendimiento de los colorantes reactivos se debe conseguir el máximo agotamiento de éste en Fase A. Es así como, en la primera etapa se trabaja en pH neutro y con la adición de sal o electrolito neutro (NaCl o Na₂SO₄) para aumentar la afinidad del colorante (Pey, 2008).

En la etapa de formación de enlace o Fase B, ya la mayor parte del colorante reactivo se encuentra en la fibra celulosa y se añade el álcali (Na₂CO₃ y/o NaOH) necesario para provocar la reacción entre ambos y la formación de enlaces covalentes a pH alcalino. En la Figura 9 se muestra el mecanismo de tintura los colorantes reactivos.

Figura 9

Mecanismo de tintura de fibras celulósicas con colorantes reactivos



Nota. El significado es: (1) Colorante hidrolizado en el agua, (2) Colorante hidrolizado en la fibra, y (3) Colorante fijado en la fibra. Tomado de Pey (2008).

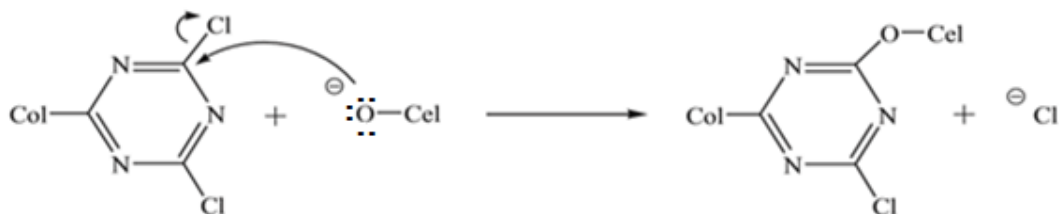
Los colorantes reactivos son aniónicos, poseen un grupo cromóforo, que es responsable del color, un grupo solubilizante que son grupos sulfónicos responsable de la solubilidad y un grupo reactivo que son los que caracterizan a los colorantes reactivos.

De acuerdo con Cegarra, Puente & Valleperas (1981) los grupos reactivos se pueden clasificar de acuerdo con su reacción con la celulosa en dos tipos:

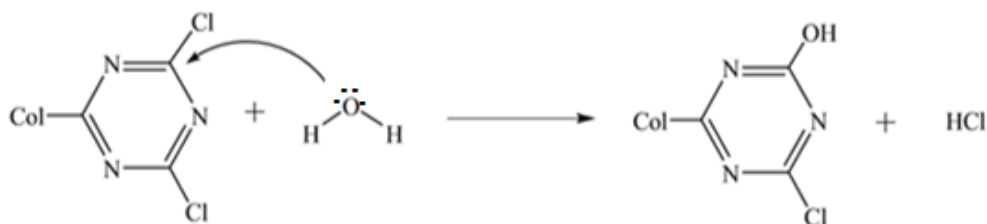
- Colorantes reactivos que forman ésteres de celulosa por sustitución nucleofílica.
- Colorantes reactivos que forman éteres de celulosa por adición nucleofílica.

Para los colorantes reactivos que se enlazan a la celulosa por sustitución nucleofílica, donde el grupo reactivo está formado por una estructura de anillos N-heterocíclicos con halógenos, como los Monoclorotriazinas, la reacción es la mostrada abajo donde los grupos hidroxilos de la fibra se ionizan por el pH alcalino y reaccionan con el carbono electrófilo

del colorante, con la consiguiente eliminación del halógeno dando lugar a reacción de esterificación.



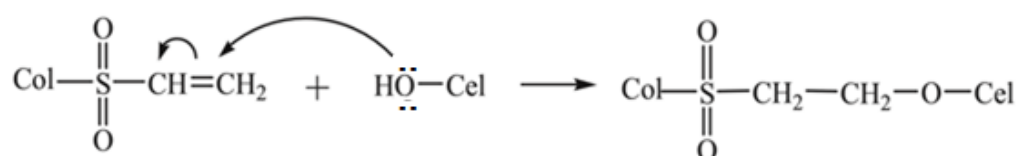
En el baño alcalino aparte de la reacción con la celulosa también ocurre la reacción indeseable con el agua (nucleófilo débil) y es lo que se conoce como colorante hidrolizado (Vilaseca, 2015). Esta reacción simultánea y secundaria del colorante reactivo con los grupos hidroxilos del agua se muestra a continuación:



Los colorantes reactivos que poseen el grupo reactivo es β -sulfato-etil-sulfona (vinilsulfónico o VS) dan lugar a dobles enlaces C=C, a pH alcalino, como se aprecia abajo:



Luego, reaccionan con la celulosa por mecanismo de adición nucleófila formando enlaces tipo éter:



Igual que el caso anterior ocurre la reacción secundaria y simultánea de hidrólisis del colorante con el agua en medio alcalino (Vilaseca, 2015).

El colorante reactivo hidrolizado, mostrado con número 2 en la Figura 9, ha perdido la capacidad de formar enlaces covalentes con la fibra celulosa. Sin embargo, es absorbido como un colorante directo a la celulosa por afinidad, y por tanto sus solidez serán inferiores a las del colorante reactivo que sí formo enlace covalente con la celulosa (Cegarra, Puente & Valdeperas, 1981). Por lo tanto, debe ser removido en lavados posteriores como son los enjuagues y jabonados para obtener buenas solidez del textil teñido.

La reacción del colorante reactivo con el agua es la razón por la cual el grado de agotamiento del colorante reactivo sobre la fibra celulósica no es alto tal como se mostró en la Tabla 3, Colorante no fijado al textil, y el motivo por el cual las aguas drenadas de la tintura y de los lavados posteriores presentan coloración.

2.4.3 Tintura de Poliéster con Colorantes Dispersos

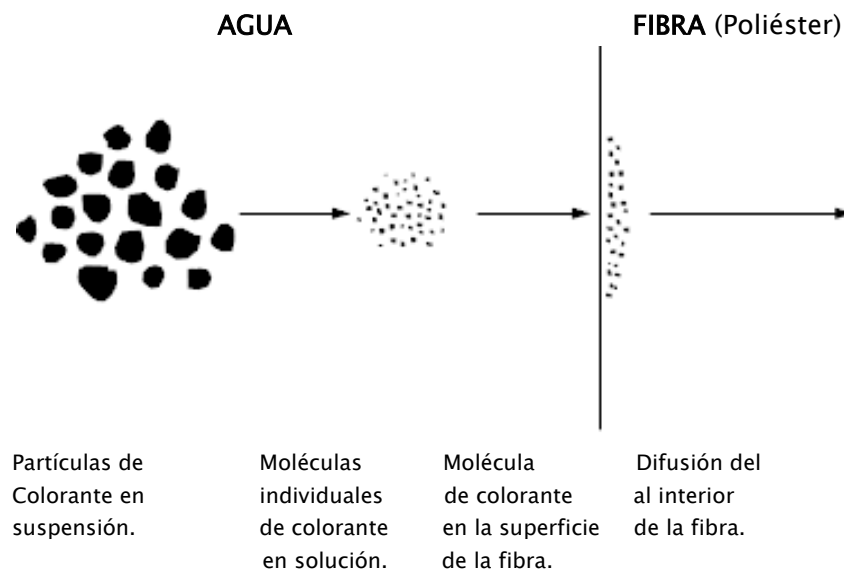
La fibra poliéster no tiene grupos polares y por esa razón no puede teñirse con colorantes hidrosolubles y sólo se puede realizar su teñido con colorantes dispersos de carácter no iónico y casi insoluble en agua en agua fría que se aplica en dispersión acuosa (Salem, 2010). El grado de agotamiento es alto alcanzando casi el 90%, tal como se mostró en la Tabla 3: Colorante no fijado al textil. Es por ese motivo que se pueden reutilizar sus baños de tintura previa reconstrucción del baño inicial.

Por el método de agotamiento se necesita altas temperaturas entre 125-135°C, dependiendo del tamaño molecular del colorante disperso y su energía y pH ácido 4-5 generalmente se utiliza un tampón para mantener el pH ácido desde el inicio hasta el final de la tintura y también como auxiliar de tintura se emplea un agente igualante y dispersante para promover la igualación del teñido. Según Broadbent (2008), las moléculas individualizadas o mono molecularmente disueltas del colorante disperso son adsorbidas en

la superficie de la fibra poliéster, y difundidas en su interior formando dentro de ella una solución llamada sólido en sólido tal como se ve en la Figura 10.

Figura 10

Mecanismo de la tintura con colorantes dispersos



Nota. Tomado y traducido de Broadbent (2001).

2.4.4 Lavados Posteriores

Luego de la tintura se debe eliminar el colorante que no se unió o no formó enlace con la fibra y esto se realiza con enjuagues, neutralizados, jabonados y lavados reductivos, de acuerdo con el tipo de tintura realizada. Esto se realiza con el fin de que el textil cuando sea prenda o artículo del hogar tenga buena solidez a los procesos húmedos (lavado, frote, y otros) y no manche o transfiera color ni se decolore o cambie de color.

Enjuagues, Neutralizado y Jabonado. Para la remoción correcta del colorante reactivo hidrolizado, se realizan enjuagues a baja temperatura con el fin de que no haya residuos de electrolito (Salem, 2010). El baño de tintura reactivo termina en pH alcalino y luego de los enjuagues sigue alcalino; para el caso de colorante VS o bifuncional se realiza

un neutralizado con ácido acético por ser sensibles a la hidrólisis alcalina. Para el colorante MTC no se neutraliza por su sensibilidad a la hidrólisis ácida.

Posteriormente sigue el jabonado a alta temperatura entre 80°C a 98°C. Con esto se mejora la solubilidad del colorante hidrolizado, sin afectar al colorante reactivo que, si formó enlace con la fibra, Se usa un dispersante aniónico o no iónico para facilitar la remoción. Finalmente se hace un último enjuague en frío (Cegarra, Puente & Valdeperas, 1981).

Lavado Reductivo. Para el caso de tintura de poliéster con colorantes dispersos colores oscuros, se realiza uno o dos lavados reductivos con hidrosulfito de sodio e hidróxido de sodio a temperatura de 80°C, luego se hace un enjuague a 50°C - 70°C.

El objetivo es eliminar todo el colorante superficial que no se difundió al interior de la fibra de poliéster y así mejorar las solidez de los textiles teñidos (Salem, 2010, p.127).

Acabados. Algunos productos de acabado como siliconas, suavizantes y otros son aplicados en medio acuoso son aplicados por agotamiento en máquina de teñido o a la continua en foulard son los que dan al textil propiedades de hidrofiliidad, ignífugos, antimicrobianos, protección ultravioleta y otros solicitados por el cliente de acuerdo al uso que se le dará al textil teñido y abarcan también a aquellos que tienen por objeto darle al producto ciertas cualidades deseadas como suavidad o tacto, estabilidad dimensional u otras.

2.5 Aspectos de Responsabilidad Social y Medio Ambiente

El consumo de agua en el sector industrial es aproximadamente el 20% de las extracciones globales, de las cuales un 75% se destina a la producción de energía, y el 25% restante se destina a la producción (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2014).

Para el cuidado y la conservación del ambiente, es necesario que las empresas asuman su responsabilidad social y diseñen sistemas de gestión ambiental que les permita

disminuir los impactos negativos al medio ambiente de sus efluentes, emisiones y residuos sólidos. El sector privado debe contribuir en la solución de los retos que afectan a la humanidad y al futuro del planeta. Las empresas deben planificar, desarrollar y comunicar sus iniciativas de Responsabilidad Social Corporativa.

En el caso de las empresas textiles, los efluentes generados representan la mayor fuente de contaminación al medio ambiente. Sin embargo, estableciendo controles e incorporando estrategias o sistemas de gestión como es el caso que propone la presente investigación, reduciendo el consumo del agua en la fuente, reutilizando algunos baños de proceso y reciclando, previa selección del tratamiento de los efluentes, se puede disminuir el consumo y la cantidad de contaminantes que se vierte al alcantarillado.

2.5.1 Normativas Legales

En el Perú, el Decreto Supremo N°021-2009 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: Descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, establece los estándares de valores máximos admisibles como aquellos valores de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario y que al ser excedido causa daño o deterioro inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009).

En las Tabla 6 y Tabla 7 se muestran el Anexo 1 y 2 con los valores máximos admisibles de las aguas residuales del Decreto Supremo 021-2009-Vivienda y del Decreto Supremo 001-2015-Vivienda respectivamente.

Tabla 6*Valores Máximos Admisibles de las aguas residuales no domésticas: Anexo 1*

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

Nota. D.S. N°021-2009 – Vivienda. Tomado de su publicación en El Peruano (2009).

Tabla 7*Valores Máximos Admisibles de las aguas residuales no domésticas: Anexo 2*

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0,2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0,5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0,5
Sulfato	mg/L	SO ₄ ⁻²	1000
Sulfuro	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺²	80
pH	unidad	pH	6 - 9
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	S.S.	8,5
Temperatura	°C	T	<35

Nota. D.S. N°021-2009 – Vivienda. Tomado de su publicación en El Peruano (2015).

III. Método

3.1 Tipo de Investigación

El trabajo de investigación es experimental con intervención del investigador en la generación de efluentes textiles a partir de teñidos en el laboratorio, análisis, reconstrucción de los baños de tintura y reutilización de estos en nuevos teñidos.

Es prospectiva ya que se obtuvieron datos primarios por las pruebas y mediciones planificadas que se hicieron; también es longitudinal puesto que se realizó más de una medición. Es analítica por tener 2 variables una independiente, la gestión de los efluentes textiles, y una dependiente, los procesos tintóreos.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se realizaron pruebas, mediciones, comparaciones y análisis de datos y del comportamiento de las variables involucradas.

Asimismo, esta investigación es de nivel aplicativo, tiene como fin ofrecer al mercado una alternativa de gestión preventiva de los efluentes textiles mediante la propuesta de una estrategia ambiental 3R, de reducción en la fuente, reutilización y reciclaje del recurso agua, para bajar el consumo de agua, el nivel de contaminación de los efluentes textiles y generar ahorros no solo en agua sino también en los insumos de teñido.

3.2 Población y Muestra

3.2.1. Población

El trabajo experimental se realizó en el laboratorio de materiales del Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias y el Laboratorio Textil N°24 de la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se hicieron 36 tinturas madres, 16 en fibra poliéster y 20 en algodón. Los baños de tintura agotados fueron reconstruidos y posteriormente se reutilizaron 96 tinturas dando un

total de 132 tinturas. Se obtuvieron un total de 488 baños, 140 baños de las madres y 348 de los reúsos. En la Tabla 8, se detalla la población de esta investigación.

Tabla 8

Resumen de baños madres y reúsos en tejidos de poliéster y algodón

Proceso	Fibra	Madre			Reúso		
		#Tinturas	# baños	Total	# Tinturas	# baños	Total
Disperso- Claro	Poliéster	4	2	8	4x3	2	24
Disperso- Medio	Poliéster	4	3	12	4x3	3	36
Disperso- Oscuro	Poliéster	4	4	16	4x3	4	48
Blanco Óptico	Poliéster	4	2	8	4x3	2	24
Subtotal Poliéster		16		44	48		132
Blanco Óptico	Algodón	4	3	12	4x3	3	36
Blanqueo químico	Algodón	4	3	12	4x3	3	36
Reactivo- Claro	Algodón	4	5	20	4x2	5	40
Reactivo- Medio	Algodón	4	6	24	4x2	6	48
Reactivo- Oscuro	Algodón	4	7	28	4x2	7	56
Subtotal Algodón		20		96	48		216
Total		36		140	96		348

Nota. Elaboración propia.

3.2.2 Muestra

Se determinó la muestra fue igual que la población, es decir 132 que conformaron 36 tinturas madres, 16 sobre tejidos de fibra poliéster y 20 sobre algodón, y 96 tinturas con baños de reúso, 48 sobre poliéster y 48 sobre algodón.

3.3 Operacionalización de Variables

En el presente trabajo se tuvo dos variables una independiente, la gestión de los efluentes textiles, y una dependiente, los procesos tintóreos. En la operacionalización de variables se hizo una definición conceptual de las variables para otorgarles el sentido concreto que tienen dentro de la investigación.

Asimismo, se realizó la definición operacional para identificar los indicadores que permitieron realizar su medición de forma empírica, cuantitativa y cualitativa. Luego se definió la técnica a emplear, el instrumento a usar, la escala valorativa y el tipo de variable. En las Tablas 9 y 10 se muestra lo mencionado para cada una de las variables.

Tabla 9

Operacionalización de la variable independiente: Gestión de Efluentes Textiles

Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento	Escala Valorativa
La Gestión de efluentes empieza con la prevención mediante la reducción en la fuente tanto en lo referido a la carga contaminante como en volumen de efluente producido, luego la recolección de este y la eliminación de los contaminantes con algún tipo de tratamiento adecuado, y finalmente, el uso beneficioso o eliminación de aguas residuales tratadas y sus subproductos (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017, p. 173).	La gestión de efluentes textiles toma como base las 3R de manera preventiva para el recurso agua de una tintorería para su reducción o racionalización en su uso, su reutilización y reciclaje.	Reducción	Consumo de Agua	Cálculo	Excel	L/kg
			Ahorro del Agua	Cálculo	Excel	L/kg
		Reúso	Calidad de Tintura	Medición del color de las muestras teñidas	Espectrofotómetro de reflectancia	DECMC < 1
			Ahorro de Agua	Cálculo	Excel	L/kg
		Reciclaje	Ahorro de Insumos	Cálculo	Excel	USD/kg
			Carga Contaminante	Análisis DQO, DBO ₅ SST, STD, aceites y grasas	Laboratorio Externo Labicer	mg/L
		Inversión	Cálculo	Excel	USD	

Tabla 10*Operacionalización de la variable dependiente: Procesos tintóreos*

Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento	Escala Valorativa
Procesos que se llevan a cabo usando productos químicos, auxiliares y colorantes, los que se aplican en medio acuoso, consumiendo grandes cantidades de agua. Usan máquinas especiales de acuerdo con el tipo de fibra (Cegarra, 1997).	Los procesos tintóreos generan baños residuales con alta contaminante en sus aguas residuales o efluentes sólidos.	Características Físico-químicas	Temperatura	Medición	Termómetro	°C
			pH	Medición	pHmetro	1 a 14
			Volumen	Medición	Probeta	mL

Nota: Elaboración propia

3.4 Instrumentos

La investigadora cuenta con experiencia en la industria textil específicamente en laboratorio y planta de tintorería. Además, conoce los procesos tintóreos, las curvas, las máquinas, insumos, material textil y los equipos de medición, los cuales fueron utilizados en la parte experimental en el laboratorio donde se realizaron tinturas que generaron efluentes textiles los cuales fueron analizados, reconstruidos y reutilizados.

Para el desarrollo de los procesos tintóreos se usó la máquina de teñido por agotamiento de última generación, con calentamiento indirecto con un programador y controlador de gradiente de temperatura, tiempo y revoluciones por minuto para el movimiento rotacional de los tubos de acero inoxidable. Asimismo, para las mediciones se utilizaron equipos de laboratorio de pH, temperatura, agitación, peso, color y volumen. La validación de los instrumentos está en el Anexo 2.

3.4.1 Máquina de teñido

La capacidad de carga de la máquina es 24 tubos de acero inoxidable de 150 mL.

Con rango de temperatura de 20- 140°C y microprocesador para su control.

Marca Xiamen Rapid- Modelo Eco Dyer- Número de serie F698.

Ubicación: Laboratorio del Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología – CEMAT de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.2 pHmetro Digital

Marca Hanna- Modelo HI98103-Número de serie H04140840

El pHmetro digital fue calibrado con las soluciones buffer:

Solución buffer 4: para calibración del pHmetro digital.

Solución buffer 7: para calibración del pHmetro digital.

Ubicación: Laboratorio del Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología – CEMAT de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.3 Termómetro de Mercurio

Marca ISOLAB

Rango: -1°C a 150°C

Ubicación: Laboratorio del Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología – CEMAT de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.4 Espectrofotómetro

Marca Datacolor- Modelo SF 550- Número de serie 3074. Se calibró con trampa negra y placa blanca y luego se realizó el diagnóstico de la repetitividad del equipo con placa verde serie 3074. El software usado fué Color Tools vs.1.1

Ubicación: Laboratorio 24 de la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.5 Balanza Analítica

Marca Sartorius- Modelo Entris 2241-15- Número de Serie 0038103551

Ubicación: Laboratorio del Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología – CEMAT de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.6 Agitador Magnético

Marca Velp- Modelo AREC.X. Pt100- Número de serie 492327

Ubicación: Laboratorio del Centro para el Desarrollo de Materiales Avanzados y Nanotecnología – CEMAT de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.4.7 Material de Vidrio

Pipetas graduadas de 1 mL, 2 mL, 5 mL, 10 mL

Probetas de 50 mL, 100 mL, 500 mL

Fioles de 100 mL

Vasos precipitados de 50 mL, 100 mL y 500 mL

Embudos y baguetas.

3.4.8 Laboratorio Externo

Para el análisis de la carga contaminante de los efluentes textiles tales como DQO, DBO₅, sólidos totales suspendidos, sólidos totales disueltos, aceites y grasas, se hizo uso de los servicios del laboratorio externo Labicer- FC UNI, el cual es uno de los centros de investigación y de certificación más importantes del país que da servicios de asesoría y análisis en diversos sectores de nuestro país entre ellos están la minería, construcción, medio ambiente, entre otros.

3.5 Procedimientos

Se revisó artículos de investigación de las bases de datos Scielo y Scopus. También se revisaron tesis de grado, maestría y doctorado de los repositorios académicos de las

universidades peruanas y extranjeras. A través del Google Académico se accedió a publicaciones realizadas en revistas científicas, manuales, normativas, acuerdos y publicaciones anuales de las Naciones Unidas. Los 100 documentos obtenidos pertenecen al periodo comprendido entre los años 1992 al 2019 y fue el resultado de búsquedas con las palabras clave: efluente textil, reutilización, reducción, reciclaje, tintura, entre otras.

Para el trabajo se referenciaron un total de 55 documentos de los cuales el 51% fueron de Europa, 33% de América y 16% de Asia, destacando las investigaciones y fuentes de España en Europa, India en Asia y Perú en América.

Con la información bibliográfica analizada se procedió a trabajar cada una de las áreas de la ecología: reducción, reutilización y reciclaje.

3.5.1 Primera R de Reducción

Se obtuvieron datos de consumo de agua en m³/día de una tintorería textil de tejido de punto con una producción promedio de 200 ton/mes por un período de seis meses del año 2019. Con los datos se calculó el consumo el L/kg de material textil y se proyectó el ahorro de agua en L/kg y en porcentaje por reducción de la relación de baño actual de 1/10 a 1/9, 1/8 y 1/7 para cada una de las fibras poliéster y algodón y para cada tipo de teñido.

3.5.2 Procedimiento Experimental para la Segunda R de Reúso

Se eligió color plata y gris como colores claro y medio respectivamente por ser colores de reconocida dificultad en su reproducción y repetitividad. Para el color oscuro se eligió al color negro y además el color blanco óptico.

Materiales. Se seleccionaron como materiales textiles a dos tejidos de punto: Jersey de poliéster con elastano con composición 90% - 10% con previo termofijado y Jersey de algodón 100% con previo blanqueo para los colores y crudo para el blanco óptico y el blanqueo químico. Se usó 10 gramos de cada tela para una relación de baño 1/8.

Insumos. Se seleccionaron colorantes amarillo, rojo, azul y negro en dispersos y reactivos con denominación comercial Liandisperse y Everzol respectivamente. El único producto auxiliar usado en la tintura de los tejidos de poliéster con colorantes dispersos es el Compound PES, que es una mezcla de igualante, dispersante, secuestrante y tampón. Los productos auxiliares y químicos apropiados para la tintura con colorantes reactivos fueron el secuestrante, cloruro de sodio y alcalígeno.

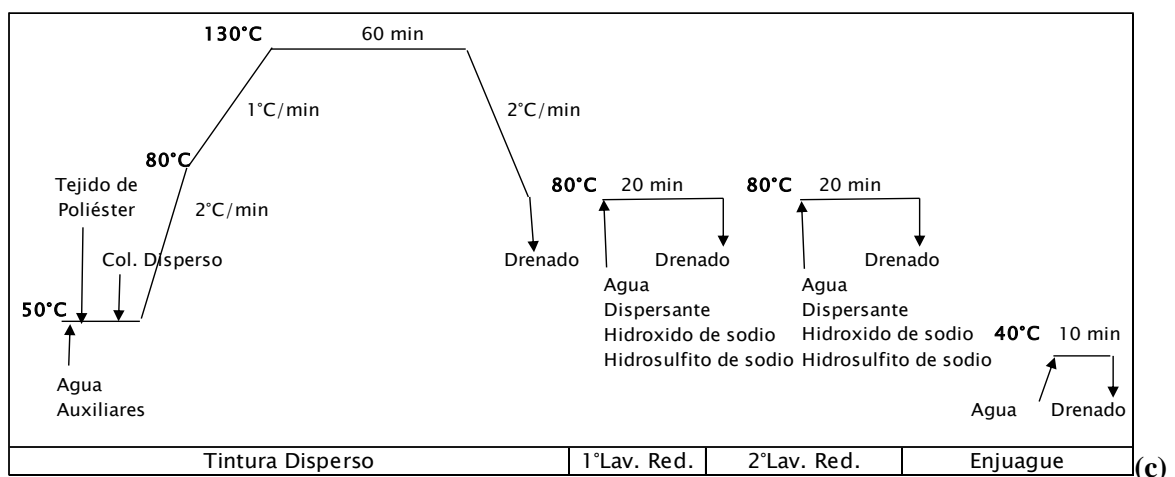
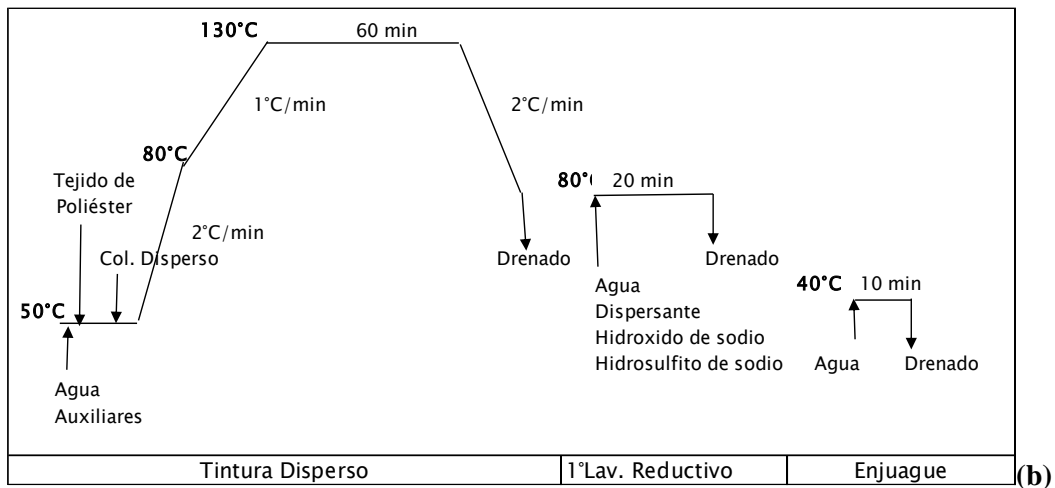
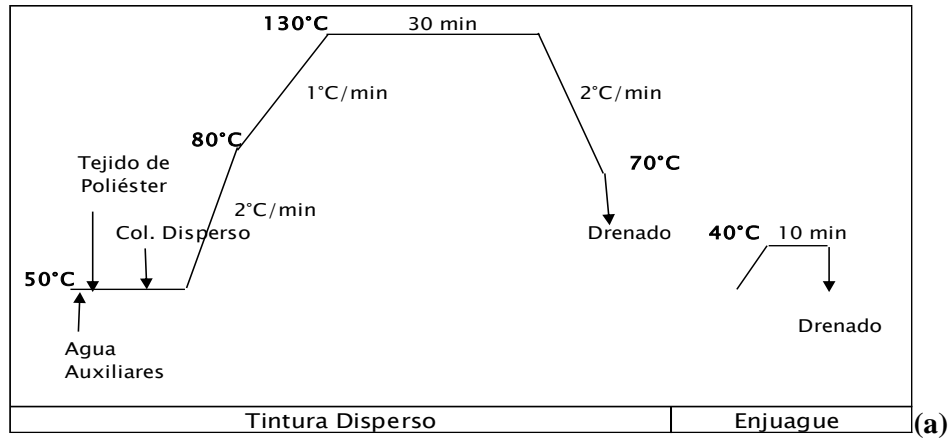
Pesado y Dilución. Se pesaron en balanza analítica de 4 decimales cada uno de los insumos para su dilución. Así se prepararon las soluciones de los colorantes reactivos para algodón y las dispersiones de los colorantes dispersos para poliéster, Además, se disolvieron los productos auxiliares y químicos.

Tintura y Curvas. Se pipetearon los mililitros de los productos según receta para cada color previo cálculo a la relación de baño 1/8. Para el caso de las soluciones de colorantes dispersos éstas se agitaron previamente por 10 minutos en un agitador magnético, esto con el fin de evitar la precipitación y originar un mal pipeteo. Se realizó la carga de las muestras madres por triplicado a máquina de teñido y se controló el pH de inicio y final de cada tintura a fin de asegurar la reproducibilidad del color de los tejidos.

Se siguieron las curvas de los procesos tintóreos de cada color previamente programadas en la máquina de teñido Eco Dyer, estas se muestran en la Figura 11 las correspondientes a los colorantes dispersos para los colores en tejidos de poliéster, en la Figura 12 las que se emplearon para los teñidos con colorantes reactivos en colores claro, medio y oscuro en tejidos de algodón con previo blanqueo y en la Figura 13 las curvas de proceso que se usaron para el blanco óptico y blanco químico del algodón crudo.

Figura 11

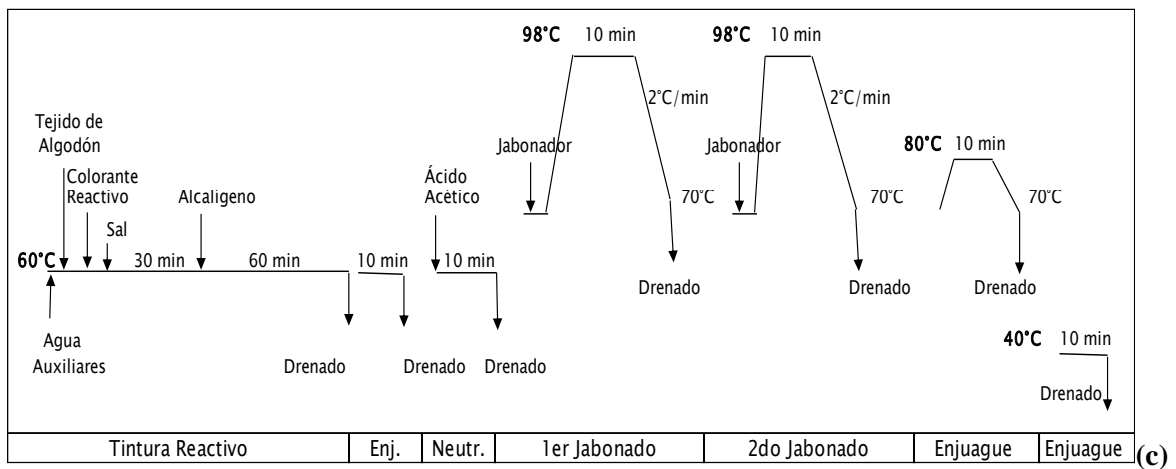
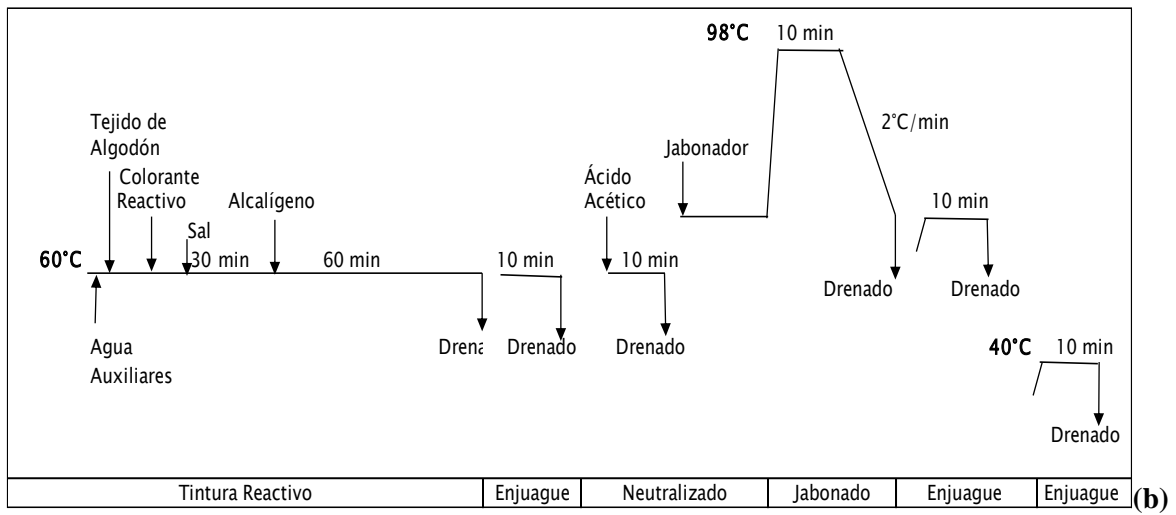
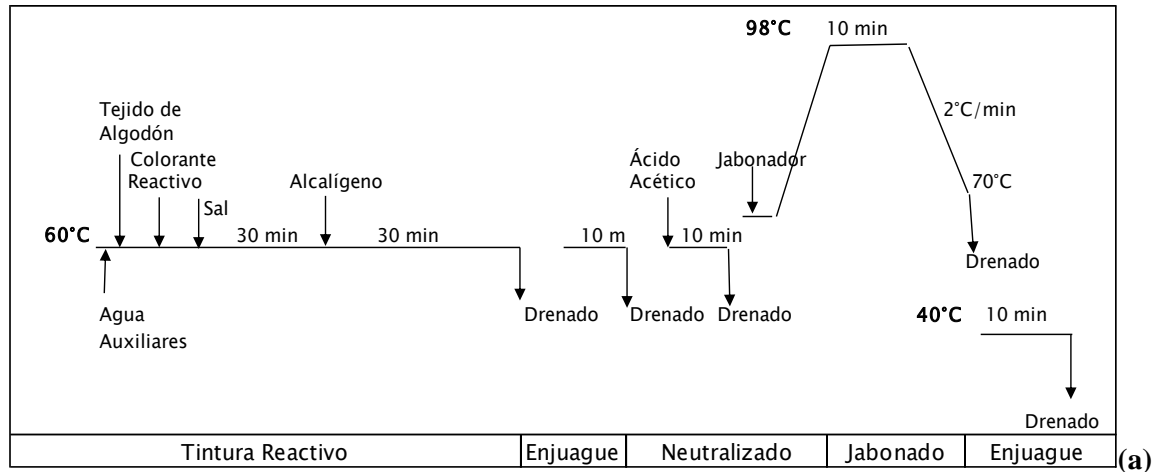
Curvas de proceso para el teñido de los tejidos de poliéster



Nota. La curva (a) se usa para colores claros con colorantes dispersos y para el blanco óptico. La curva (b) y (c) es para colores medios y oscuros.

Figura 12

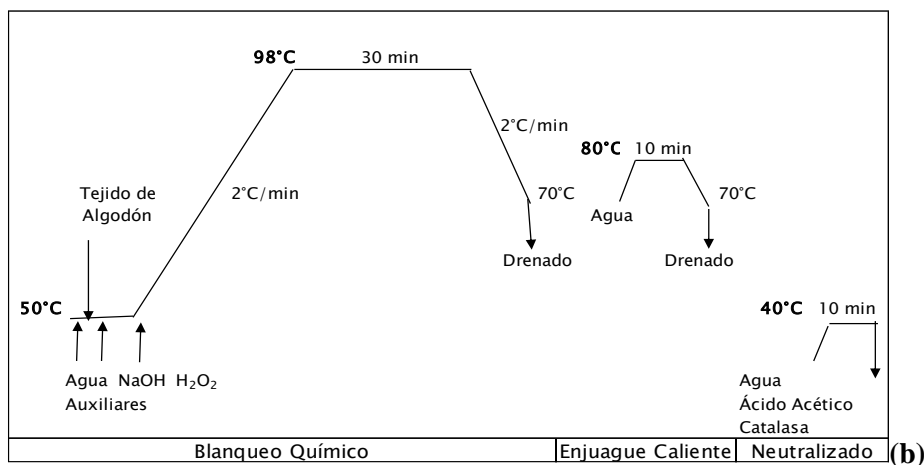
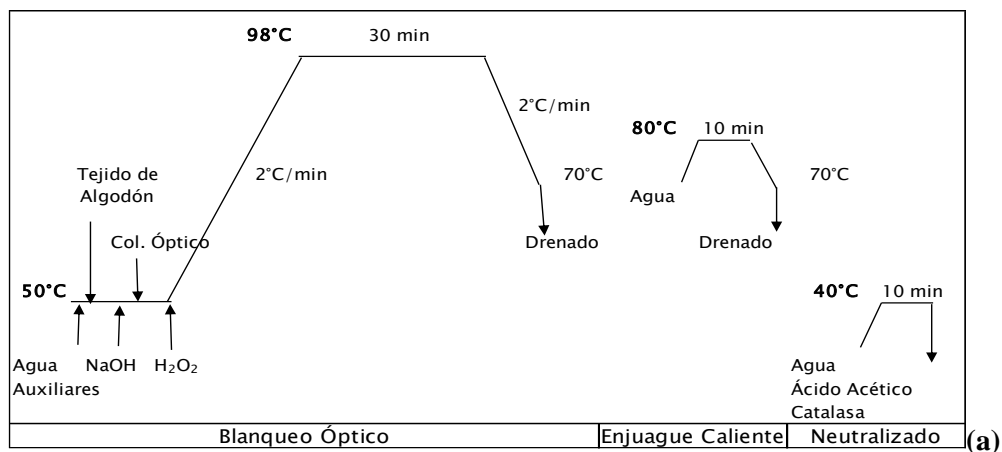
Curvas de proceso para del teñido de los tejidos en algodón



Nota. Curva (a) para colores claros, (b) para medios y (c) para oscuros

Figura 13

Curvas de proceso del blanco óptico y el blanqueo químico en algodón crudo



Nota. Curva (a) para blanco óptico y (b) para blanqueo químico

En la Figura 14 se aprecia el baño inicial y el baño final de tintura.

Figura 14

Baños inicial y agotado de la tintura del color plata en poliéster



Caracterización de los Baños de Descarga. Los baños residuales de cada tintura madre de fueron caracterizados en temperatura, pH, concentración de cloruro de sodio y volumen drenado, para poder determinar la absorción de agua de cada fibra y la necesidad de neutralización para poder reconstruir el baño para volver a reutilizarlo en una siguiente tintura por triplicado o duplicado y así sucesivamente. En la Figura 15 se muestra la medición de pH y volumen para el color plata en poliéster.

Figura 15

Medición de pH y volumen del baño de tintura madre agotado color plata



Reconstrucción de los Baños. Una vez determinado el volumen a reutilizar de los baños madres y la necesidad de neutralizarlos, se procedió a reconstruirlos adicionando agua limpia para la diferencia del volumen total y calculando los químicos y auxiliares sólo para esa cantidad lo que da una receta reuso con menor concentración en productos en g/L y no sólo en agua. Esto se efectúa para cada color y luego cada baño reutilizado se vuelve a usar y así sucesivamente.

Los baños residuales de la tintura madre para el color plata en poliéster y los baños reutilizados y agotados se muestran En la Figura 16.

Figura 16

Baños agotados de la tintura con colorantes dispersos



Nota. Baño madre disperso claro (DC) y los baños reutilizados RDC 1 al 4.

Calidad de las Telas Teñidas. El atributo que se evaluó fue el color de las muestras de teñidas usando el espectrofotómetro de reflectancia Datacolor SF 500. Las condiciones de calibración del equipo fueron: Apertura grande LAV, UV incluido, y Especificidad incluida SCI. Además, se realizó el diagnóstico del equipo mediante la medición de la placa verde de a fin de asegurar la repetitividad entre mediciones. Todas las muestras se midieron usando la opción promedio instrumento que permite tomar datos de 4 puntos diferentes de toda el área de la tela teñida, la cual fue doblada 2 veces para tener una muestra de 4 capas. Se obtuvieron las curvas espectrales de reflectancia para cada color teñido con el baño madre o estándar en el rango 360-700 que sirve para comparar la diferencia de color de los tejidos teñidos con los baños de reúso.

Cálculo de Ahorros por Reutilización. Se costearon las recetas madre y reconstruidas para su reúso en nuevas tinturas y se determinó el ahorro de agua e insumos para cada caso.

3.5.3 Tercera R de Reciclado

Se analizó la carga contaminante en DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, sólidos totales disueltos y aceites y grasas, del efluente textil producido en los procesos de

tinturas de poliéster, de reactivo y la mezcla de ambas en el laboratorio externo Labicer. Se solicitó cotización de un sistema de tratamiento biológico y otro de electrocoagulación, ya que esos dos sistemas son los que tienen en las tintorerías peruanas que tienen PTAR y que les permite reciclar al menos 70% de los efluentes tratados. Se propuso una opción de planta de tratamiento de efluentes textiles apropiado para cumplir con la normativa local y al menor costo de inversión y operativo.

3.6 Análisis de Datos

La información obtenida de los consumos de agua durante seis meses en una tintorería se procesa en Excel para el cálculo proyectado de la reducción del consumo de agua por la disminución de la relación de baño en los procesos de la tintorería.

Los datos obtenidos en la parte experimental de la tesis se procesan en Excel para los cálculos y proyección de los ahorros en insumos y en el consumo de agua por la reutilización de los baños de tintura. Para el producto obtenido, es decir, las telas teñidas con los baños madre y de reúso se miden en el espectrofotómetro SF- 500 y se procesan en el software Color Tools vs.1.1 para obtener los datos en lo referente al atributo color para el análisis de la afectación de la calidad del textil teñido por el reúso de los baños de teñido.

Los resultados de la carga contaminante producida son comparados con los Valores Máximos Admisibles de las aguas residuales de la normativa peruana y las cotizaciones de sistemas de tratamientos de aguas residuales para reciclaje son comparadas en Excel.

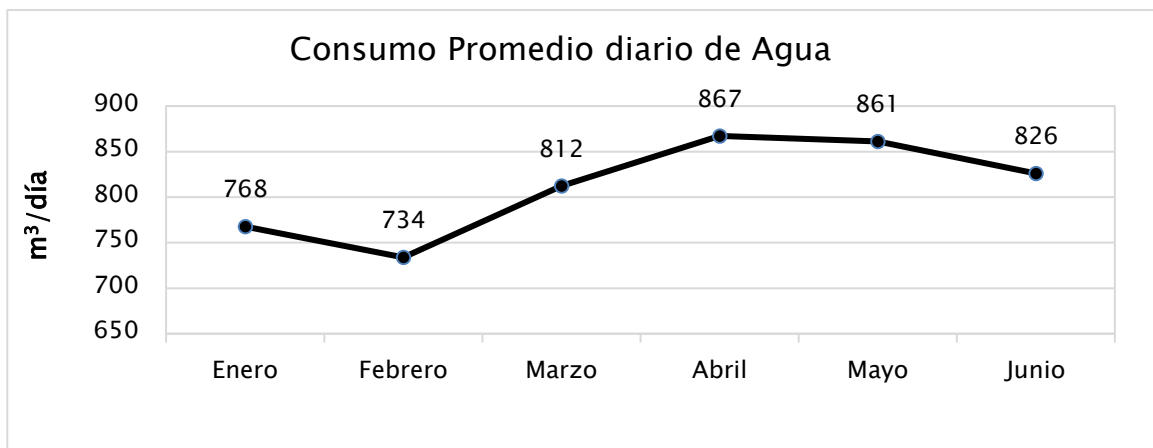
Por lo tanto, la comprobación de la hipótesis se realizará en base a los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores propuestos en la operacionalización de variables.

3.6.1 Reducción del Consumo de Agua en la Fuente

Con los datos del consumo diario de agua y luego se calculó la reducción por relación de baño. En la Figura 17 se muestra el consumo promedio m^3/kg .

Figura 17

Consumo promedio de agua diario en el primer semestre del año 2019

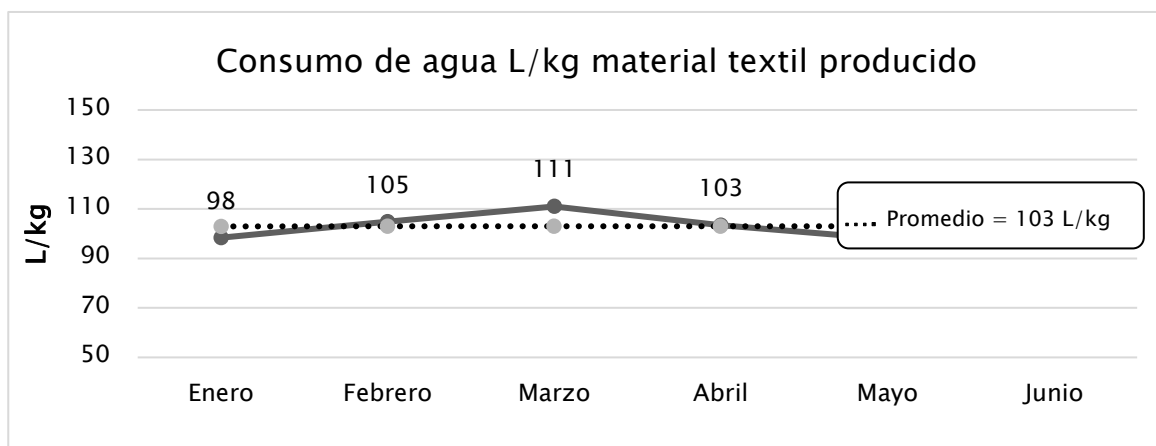


Nota. Elaborado con datos del 2019 de una tintorería de tejido de punto.

Se dividió el consumo entre la producción mensual, eso se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Consumo de agua L/kg material textil en el primer semestre 2019



Nota. Elaborado con datos de la producción mensual de la tintorería de tejido de punto.

Se calculó la reducción del consumo de agua en la fuente, es decir, en los procesos tintóreos por la disminución de la relación de baño 1/10 a 1/9, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11, y para la reducción de la relación de baño 1/10 a 1/8 en la Tabla 12.

Tabla 11*Reducción del consumo de agua por disminución de R.B. 1/10 a 1/9*

Proceso	Fibra	Número de baños	% Absorción de fibra	R.B. 1/10 (L/kg)	R.B. 1/9 (L/kg)	Ahorro (L/kg)	% Ahorro
Disperso- Claro	Poliéster	2	200%	18,0	16,0	2,0	11,1%
Disperso- Medio	Poliéster	3	200%	26,0	23,0	3,0	11,5%
Disperso- Oscuro	Poliéster	4	200%	34,0	30,0	4,0	11,8%
Blanco Óptico	Poliéster	2	200%	18,0	16,0	2,0	11,1%
Blanco Óptico	Algodón	3	300%	24,0	21,0	3,0	12,5%
Reactivo- Claro	Algodón	8	300%	59,0	51,0	8,0	13,6%
Reactivo- Medio	Algodón	9	300%	66,0	57,0	9,0	13,6%
Reactivo- Oscuro	Algodón	10	300%	73,0	63,0	10,0	13,7%

Para el teñido de algodón con colorantes reactivos se ahorra un 13,7% de agua en color oscuro, y 11,8% en el teñido de poliéster con colorantes dispersos, sin inversión, solo tomando la decisión de ejecutarlo y sin riesgos de calidad del producto textil teñido. Adicionalmente al ahorro del agua por la disminución de un punto en la relación de baño existe un ahorro en los productos auxiliares y químicos que se usan en concentración gramo por litro.

Tabla 12*Reducción del consumo de agua por disminución de R.B. 1/10 a 1/8*

Proceso	Fibra	Número de baños	% Absorción de fibra	R.B. 1/10 (L/kg)	R.B. 1/8 (L/kg)	Ahorro (L/kg)	% Ahorro
Disperso- Claro	Poliéster	2	200%	18,0	14,0	4,0	21,6%
Disperso- Medio	Poliéster	3	200%	26,0	20,0	6,0	22,2%
Disperso- Oscuro	Poliéster	4	200%	34,0	26,0	8,0	22,5%
Blanco Óptico	Poliéster	2	200%	18,0	14,0	4,0	21,6%
Blanco Óptico	Algodón	3	300%	24,0	18,0	6,0	25,0%
Reactivo- Claro	Algodón	8	300%	59,0	43,0	10,0	27,1%
Reactivo- Medio	Algodón	9	300%	66,0	48,0	10,0	27,3%
Reactivo- Oscuro	Algodón	10	300%	73,0	53,0	12,0	27,4%

La Tabla 12 muestra ahorro en el consumo de agua en L/kg al bajar la relación de baño de 1/10 a 1/8, ahorrando hasta 27,4% en el proceso teñido de algodón con colorantes reactivos en color oscuro y un 22,5% en el teñido del poliéster. Igual al caso anterior hay un ahorro en los productos auxiliares y químicos que se usan en concentración gramo por litro.

3.6.2 Reutilización Experimental de Baños en Tinturas Sucesivas

Se analizaron los datos de las 36 tinturas madres, 16 sobre tejidos de poliéster y 20 sobre algodón, a partir de las cuales se realizaron 96 tinturas con baños de reúso.

Caracterización de los Baños de Tinturas en Poliéster. La Tabla 13 muestra el promedio de las características de los baños de tintura madre, sus repeticiones y los baños de reutilización para los tejidos de poliéster con colorantes dispersos. El pH final de las tinturas fue ácido y eso permitió el reúso directo en las tinturas sucesivas.

Tabla 13

Características promedio de baños madre y reutilizado para poliéster

Proceso - Color	Baño	N° veces	pH	Temperatura (°C)	Volumen drenado	
					mL	%
Disperso- Claro	Madre	4	4,5	77,0	64,5	80,6
	Reúso	12	4,7	77,0	64,0	80,0
Disperso- Medio	Madre	4	4,4	77,0	64,0	80,0
	Reúso	12	4,7	77,0	64,5	80,6
Disperso- Oscuro	Madre	4	4,5	77,0	64,0	80,0
	Reúso	12	4,7	77,0	64,5	80,6
Óptico- Blanco	Madre	4	4,5	77,0	64,5	80,6
	Reúso	12	4,7	77,0	64,0	80,0

El volumen drenado promedio del baño madre fue de 64,25 mL que equivale a 80,3% respecto al volumen inicial. El tejido retuvo en promedio 15,75 mL que equivale a 157,5% de absorción. Se decidió usar en todos los reúsos de poliéster, sólo el 75% del volumen inicial de la tintura o 60 mL. La decisión se fundamenta en dos razones: la primera diversas

configuraciones de las máquinas de teñido, donde los volúmenes drenados pueden ser menores a 80,3%, y la segunda, es la variedad de las estructuras y densidades de los tejidos.

Caracterización de los Baños de Tinturas de Algodón. La Tabla 14 muestra los valores promedio de las características de los baños madre y de reúso para los tejidos de fibra de algodón con colorante óptico, reactivos y blanqueo químico.

Tabla 14

Características promedio de baños de tintura madres y reutilizados para algodón

Proceso - Color	Baño	N°	pH	Temperatura (°C)	NaCl (g/L)	Volumen drenado	
						mL	%
Óptico - Blanco	Madre	4	11,5	77,5	0	49,5	62%
	Reúso	12	11,5	77,5	0	49,5	62%
Previo- Blanqueo	Madre	4	11,2	77,5	0	49,5	62%
	Reúso	12	11,2	77,5	0	49,5	62%
Reactivo- Claro	Madre	4	10,9	59,0	20	49,5	62%
	Reúso	8	10,9	59,0	20	49,5	62%
Reactivo- Medio	Madre	4	10,9	59,0	40	49,5	62%
	Reúso	8	10,8	59,0	40	49,5	62%
Reactivo- Oscuro	Madre	4	10,9	59,0	100	49,5	62%
	Reúso	8	10,8	59,0	100	49,5	62%

Fuente: Elaboración propia.

Para el blanco óptico y blanqueo químico el pH final es alcalino y no hubo problemas para su reúso directo, pero para la tintura con colorantes reactivos que comienzan su proceso con un pH neutro-ácido entre 6-7, se tuvo que neutralizar los baños antes del reúso. La presencia residual del cloruro de sodio permitió ahorro de este insumo en la receta reconstruida.

El volumen drenado del baño madre de tintura tuvo un promedio de 49,5 mL que equivale a 62% respecto al volumen inicial. Es decir, el tejido de fibra de algodón usado en la investigación retuvo de 30,5 mL que equivale a 305% de absorción. Se decidió usar en todos los reúsos de tinturas de algodón sólo el 56,25% del volumen inicial de la tintura o 45 mL. La decisión se fundamentó por las mismas razones dadas para el caso del poliéster.

Análisis de Recetas Reconstruidas. Se reconstruyen las recetas a R.B. 1/8. En las Tablas 15, 16, 17 y 18 se muestran las diferencias en agua e insumos para 10 g de poliéster.

Tabla 15

Recetas del teñido disperso para el color plata en poliéster

Productos	Dilución	Receta Madre			Receta con Reúso		
		Concentración	Vol. (mL)		Concentración	Vol. (mL)	
Amarillo Liandisp. HACE	10 g/L	0,02	%	0,20	0,02	%	0,20
Rojo Liandisperse HACE	10 g/L	0,03	%	0,30	0,03	%	0,30
Azul Liandisperse HACE	10 g/L	0,06	%	0,60	0,06	%	0,60
Compound PES SQM	100 g/L	2,00	g/L	1,60	0,50	g/L	0,40
Agua				77,30			18,50
Agua de Reúso				0,00			60,00
Volumen total				80,00			80,00

Tabla 16

Recetas del teñido disperso para el color gris en poliéster

Productos	Dilución	Receta madre			Receta con Reúso		
		Concentración	Vol. (mL)		Concentración	Vol. (mL)	
Amarillo Liandisp. HACE	10 g/L	0,20	%	2,00	0,20	%	2,00
Rojo Liandisperse HACE	10 g/L	0,40	%	4,00	0,40	%	4,00
Azul Liandisperse HACE	10 g/L	0,50	%	5,00	0,50	%	5,00
Compound PES SQM	100 g/L	2,00	g/L	1,60	0,50	g/L	0,40
Agua				67,40			8,60
Agua de Reúso				0,00			60,00
Volumen total				80,00			80,00

Tabla 17

Recetas del teñido disperso para el color negro en poliéster

Productos	Dilución	Receta madre			Receta con Reúso		
		Concentración	Vol. (mL)		Concentración	Vol. (mL)	
Negro Liandisperse EX-SF	50 g/L	5,00	%	10,00	5,00	%	10,00
Compound PES SQM	100 g/L	2,00	g/L	1,60	0,50	g/L	0,40
Agua				68,40			9,60
Agua de Reúso				0,00			60,00
Volumen total				80,00			80,00

Tabla 18*Recetas del teñido blanco óptico para el poliéster*

Productos	Dilución	Receta madre				Receta con Reúso			
		Concentración		Vol. (mL)		Concentración		Vol. (mL)	
Texbrite EBF 250%	10 g/L	0,40	%	4,00		0,40	%	4,00	
Texbrite SFN	10 g/L	0,20	%	2,00		0,20	%	2,00	
Compound PES SQM	100 g/L	2,00	g/L	1,60		0,50	g/L	0,40	
Agua				72,40				13,60	
Agua de Reúso				0,00				60,00	
Volumen total				80,00				80,00	

En las Tablas 19, 20, 21, 22 y 23 se muestra la diferencia de consumo de agua e insumos para los teñidos de los tejidos en 10 g de algodón.

Tabla 19*Recetas de teñido reactivo para el color plomo en algodón*

Productos	Dilución	Receta madre				Receta con Reúso			
		Concentración		Cantidad		Concentración		Cantidad	
Amarillo Everzol LX	10 g/L	0,02	%	0,2	mL	0,02	%	0,20	mL
Rojo Everzol LFB	10 g/L	0,03	%	0,3	mL	0,03	%	0,30	mL
Azul Everzol LX	10 g/L	0,06	%	0,6	mL	0,06	%	0,60	mL
Secuestrante SQM	100 g/L	1,00	g/L	0,8	mL	0,44	g/L	0,35	mL
Cloruro de sodio	sólido	20,00	g/L	1,6	g	8,75	g/L	0,70	g
Alcalígeno	100 g/L	1,30	g/L	1,04	mL	1,30	g/L	1,04	mL
Agua				77,1	mL			32,51	mL
Agua de Reúso				0,00	mL			45,00	mL
Volumen total				80,0	mL			80,00	mL

Tabla 20*Recetas de teñido reactivo para el color gris en algodón*

Productos	Dilución	Receta madre				Receta con Reúso			
		Concentración		cantidad		Concentración		cantidad	
Amar. Everzol LX	10 g/L	0,20	%	2,00	mL	0,20	%	2,00	mL
Rojo Everzol LFB	10 g/L	0,40	%	4,00	mL	0,40	%	4,00	mL
Azul Everzol LX	10 g/L	0,50	%	5,00	mL	0,50	%	5,00	mL
Secuestrante SQM	100 g/L	1,00	g/L	0,80	mL	0,44	g/L	0,35	mL
Cloruro de sodio	sólido	40,00	g/L	3,20	g	17,50	g/L	1,40	g
Alcalígeno	100 g/L	2,00	g/L	1,60	mL	2,00	g/L	1,60	mL
Agua				66,60	mL			22,05	mL
Agua de Reúso				0,00	mL			45,00	mL
Volumen total				80,00	mL			80,00	mL

Tabla 21*Receta de teñido reactivo para el color negro en algodón*

Productos	Dilución	Receta madre				Receta con Reúso			
		Concentración		cantidad		Concentración		cantidad	
Negro Everzol ED	50 g/L	5,00	%	10,00	mL	5,00	%	10,00	mL
Secuestrante SQM	100 g/L	1,00	g/L	0,80	mL	0,44	g/L	0,35	mL
Cloruro de sodio	sólido	80,00	g/L	6,40	g	35,00	g/L	2,80	g
Alcalígeno	100 g/L	3,50	g/L	2,80	mL	3,50	g/L	2,80	mL
Agua				66,40	mL			21,85	mL
Agua de Reúso				0,00	mL			45,00	mL

Tabla 22*Recetas de teñido blanco óptico para el algodón crudo*

Productos	Dilución	Receta madre			Receta con Reúso		
		Concentración	Vol. (mL)		Concentración	Vol. (mL)	
Texbrite BY3B (óptico)	10 g/L	0,50	%	5,00	0,50	%	5,00
Prodotto (detergente)	100 g/L	2,00	g/L	1,60	0,88	g/L	0,70
Secuestrante SQM	100 g/L	1,00	g/L	0,80	0,44	g/L	0,35
Textol 603	100 g/L	1,00	g/L	0,80	0,44	g/L	0,35
Hidróxido de sodio 100%	100 g/L	3,00	g/L	2,40	1,31	g/L	1,05
Peróxido de hidrógeno 50%		7,00	g/L	0,56	7,00	g/L	0,56
Agua				68,84			26,99
Agua de Reúso				0,00			45,00
Volumen total				80,00			80,00

Tabla 23*Recetas de blanqueo químico para algodón crudo*

Productos	Dilución	Receta madre			Receta con Reúso		
		Concentración	Vol. (mL)		Concentración	Vol. (mL)	
Prodotto	100 g/L	2,00	g/L	1,60	0,88	g/L	0,35
Secuestrante SQM	100 g/L	1,00	g/L	0,80	0,44	g/L	0,70
Textol 603	100 g/L	1,00	g/L	0,80	0,44	g/L	0,35
Hidróxido de sodio 100%	100 g/L	2,00	g/L	1,60	0,88	g/L	0,70
Peróxido de hidrógeno 50%		4,00	g/L	0,32	4,00	g/L	0,32
Agua				74,88			32,58
Agua de Reúso				0,00			45,00
Volumen total				80,00			80,00

Análisis de Curvas Espectrales del Color. Luego de la medición de cada muestra teñida: madres y con baños de reúso en el espectrofotómetro se obtienen curvas espectrales por reflectancia para cada color en poliéster y como se aprecia en las Figuras 19, 20 y 21 estas son similares, es decir se reproduce el color del baño madre con baños de reúso.

Figura 19

Curvas espectrales de los tejidos de poliéster teñidos en color plata

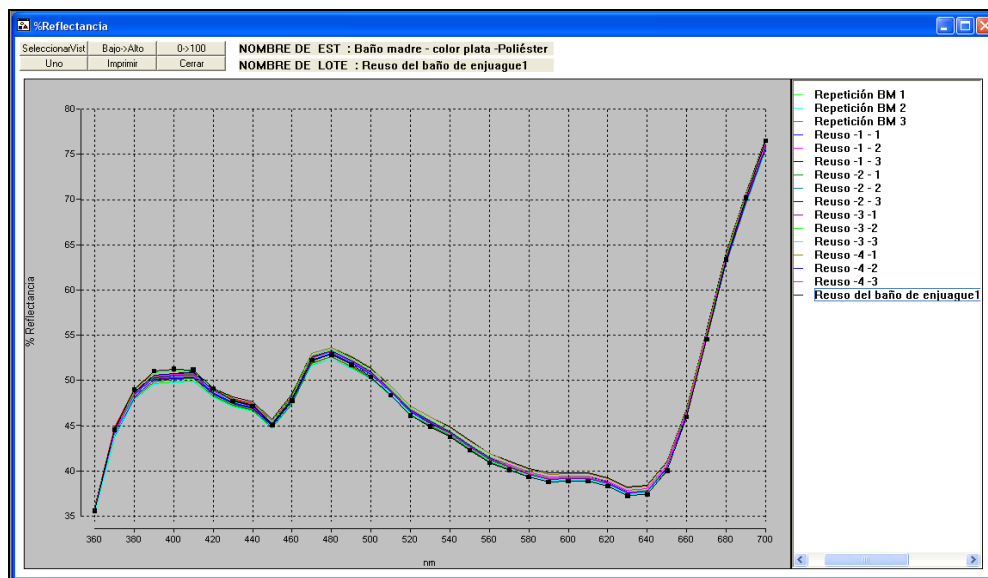


Figura 20

Curvas espectrales de los tejidos de poliéster teñidos en color gris

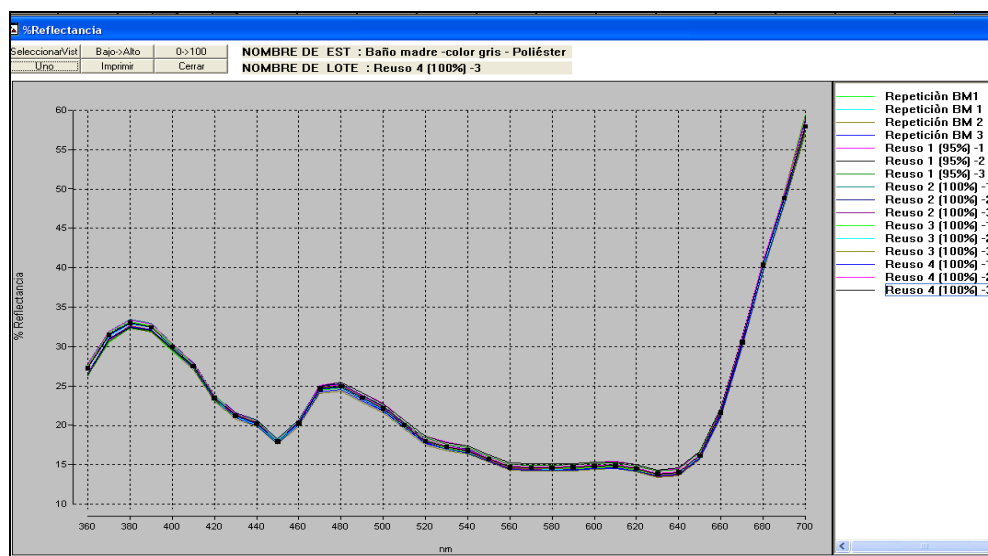
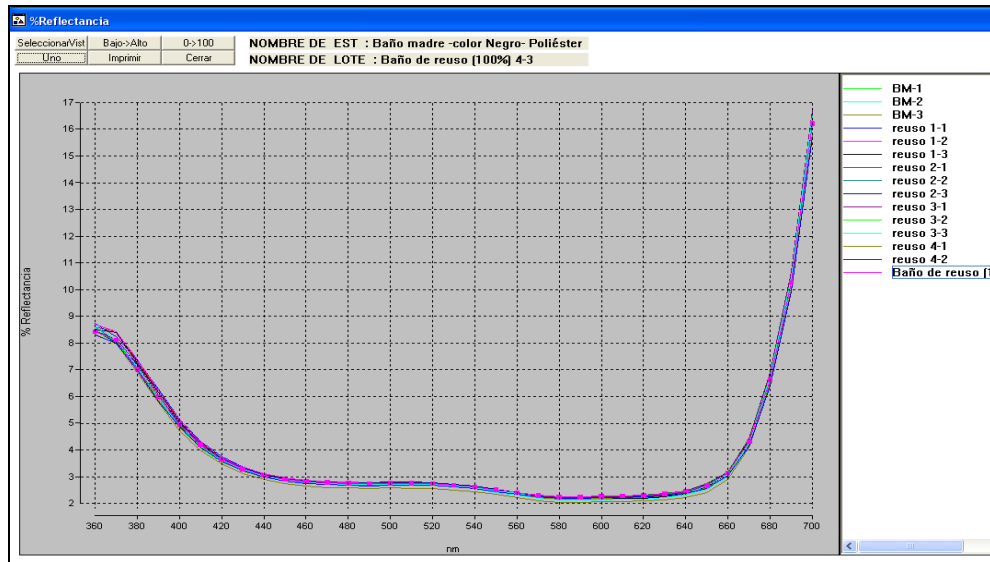


Figura 21

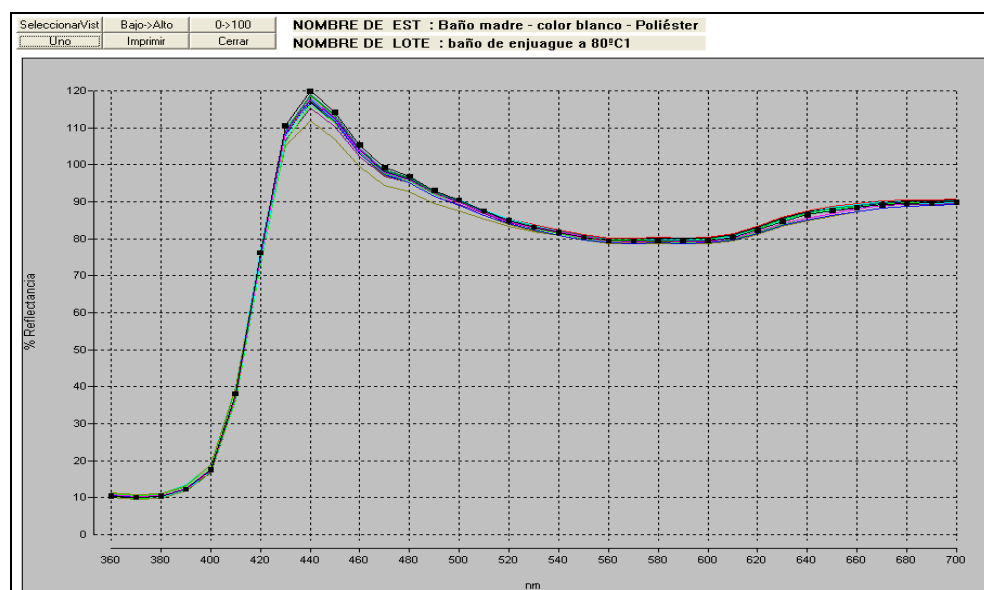
Curvas espectrales de los tejidos de poliéster en color negro



En los tejidos de poliéster teñidos en blanco óptico a diferencia de las curvas de los colores plata, gris y negro, se alcanza una reflectancia de 120% a 440 nm, esto debido al componente fluorescente del blanqueador óptico. En la Figura 22 se muestran las curvas.

Figura 22

Curvas espectrales de reflectancia del color blanco óptico de los tejidos de poliéster



Las Figuras 23, 24 y 25 muestran las curvas de reflectancia de los colores claro, medio y oscuro en algodón con previo blanqueo con baño madre y de reúso. Las gráficas están en un rango de longitud de onda 360-700 nm y se aprecia que los colores son similares.

Figura 23

Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color plomo

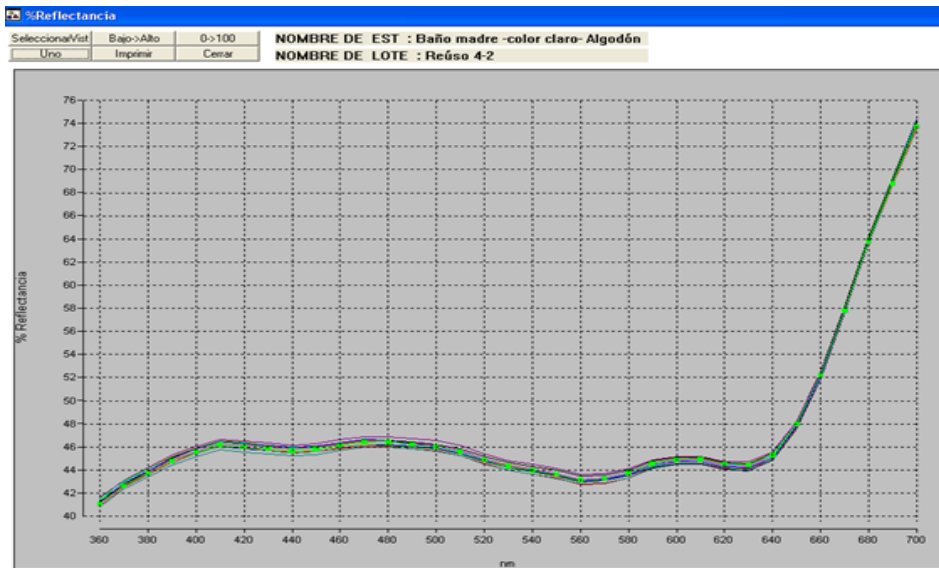


Figura 24

Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color gris

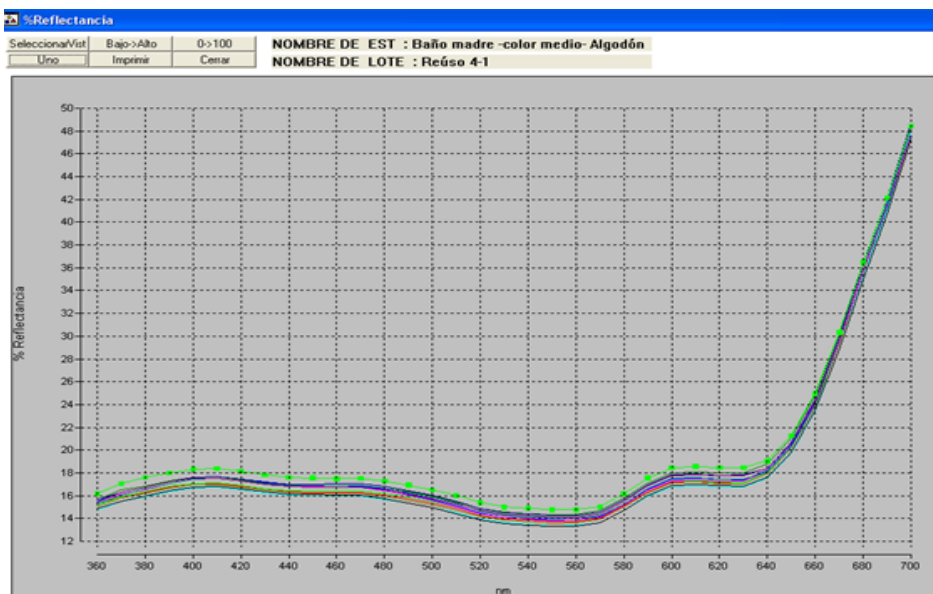
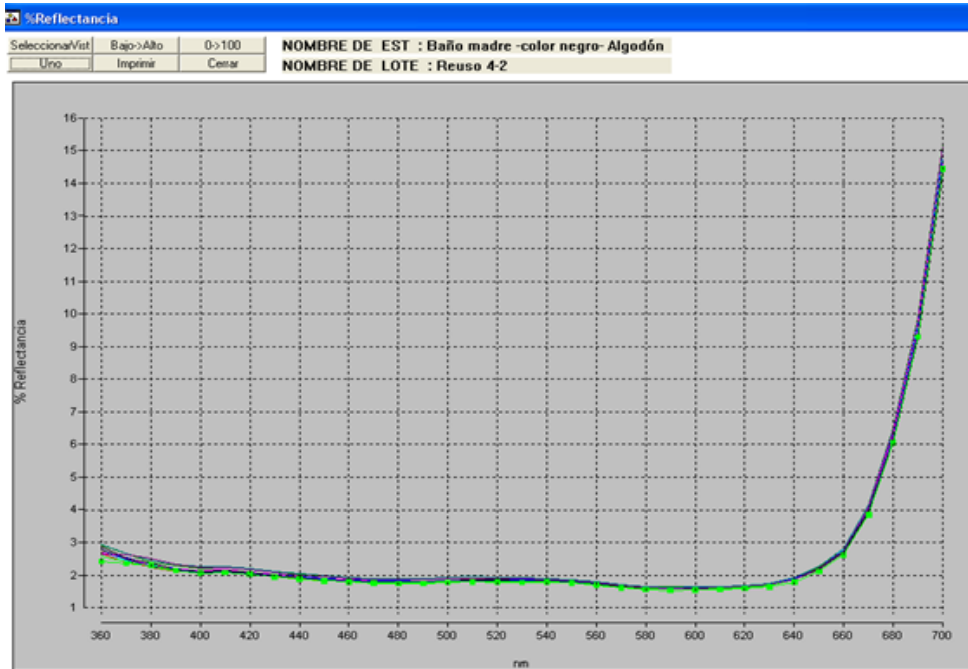


Figura 25

Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color negro



En la Figura 26 se muestran las curvas de reflectancia del baño madre y de los reúsos para el color blanco óptico obtenidas sobre los tejidos de algodón crudo en un rango de longitud de onda 360-700 nm usando el espectrofotómetro de reflectancia. Al igual que el caso del blanco óptico sobre poliéster, las curvas de espectrales también presentan una reflectancia superior a 100% debido al componente fluorescente del blanqueador óptico a 440 nm de longitud de onda.

Por otro lado, la Figura 27 muestra las curvas espectrales de los blanqueos químicos con baño madre y con baños de reúso obtenidas sobre algodón crudo. Como puede apreciarse si bien las curvas están menos superpuestas, es decir hay diferencia entre ellas por claridad, se mantiene la tendencia del color del blanqueo.

Figura 26

Curvas espectrales de los tejidos de algodón en color blanco óptico

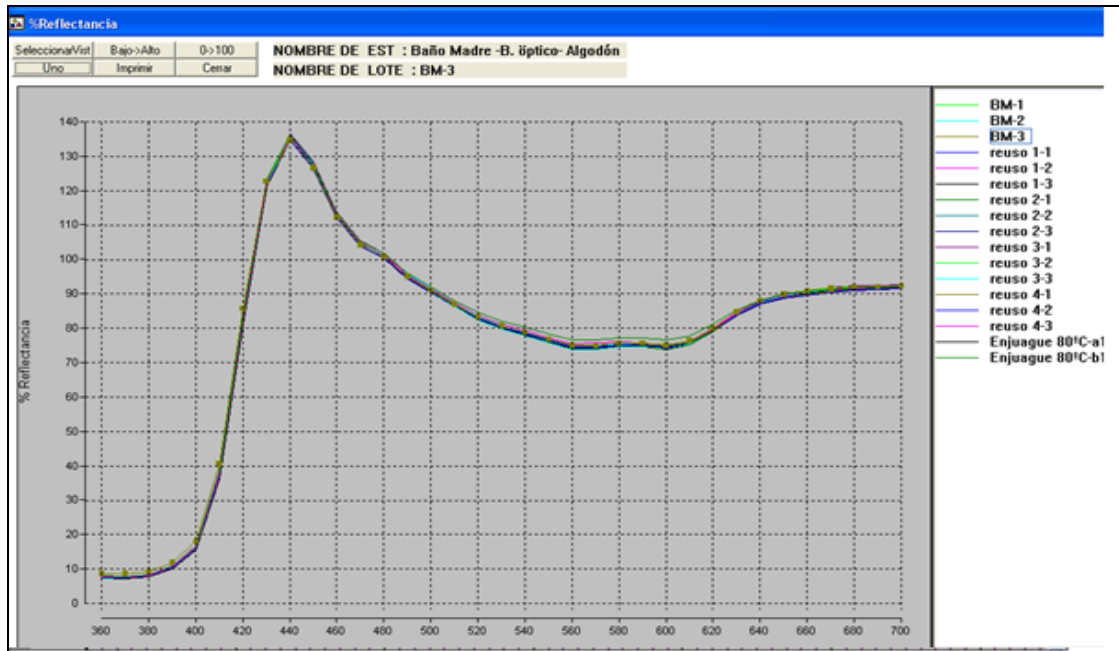
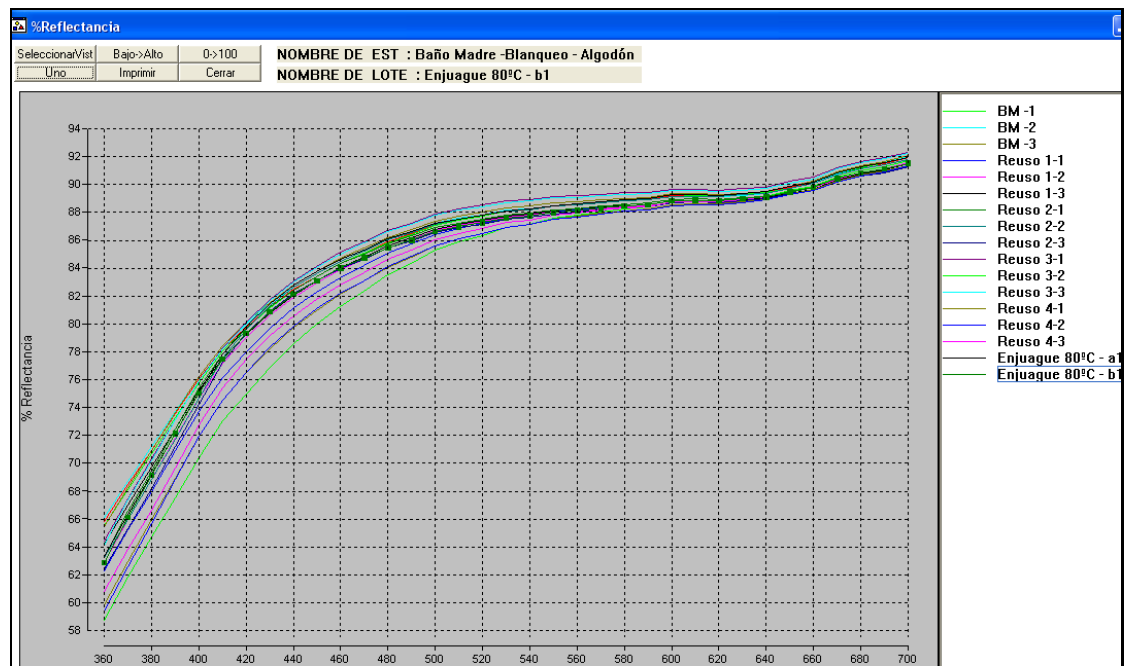


Figura 27

Curvas espectrales de los tejidos de algodón con blanqueo químico



Análisis de la Diferencia de Color. Mediante el uso del software Color Tools vs.1.1 se obtuvieron las coordenadas de cada color L, a y b, bajo luz D65 y valores triestímulos del observador 10° y la diferencia de color con la fórmula DE CMC (2:1) con l = 2 y c = 1:

$$\text{DECMC (2:1)} = \left(\frac{DL^*}{SL} \right)^2 + \left(\frac{DC^*}{cSC} \right)^2 + \left(\frac{DH^*}{SH} \right)^{1/2}$$

Los componentes: DL*/SL es para la diferencia de la Luminosidad, DC*/cSC, para croma y DH*/SH para tono o matiz. Esta ecuación es ampliamente utilizada en la industria textil en control de calidad y que fija la tolerancia de color aceptable en una unidad DE CMC (2:1) ≤ 1 (Lopez-Grimau, Amante y Gutierrez, 2010, p. 184).

En la Tablas 24, 25 y 26 se muestran los resultados de la diferencia de color DE CMC (2:1), de los colores en poliéster teñidos con los baños reutilizados versus la muestra teñida con el baño madre, con la DE CMC promedio y la desviación estándar.

Tabla 24

Diferencia de color DE CMC de los tejidos de poliéster en color plata

Tintura Disperso	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC (2:1)	Resultado
Repetición Madre 1	-0,11	-0,28	-0,26	0,40	Pasa
Repetición Madre 2	-0,14	-0,21	-0,27	0,37	Pasa
Repetición Madre 3	-0,11	-0,17	0,00	0,20	Pasa
Reúso 1 -a	-0,07	-0,03	-0,31	0,32	Pasa
Reúso 1 -b	0,00	-0,10	-0,38	0,39	Pasa
Reúso 1 -c	0,11	-0,05	-0,29	0,32	Pasa
Reúso 2 -a	-0,15	-0,01	-0,02	0,25	Pasa
Reúso 2 -b	-0,04	0,01	-0,19	0,20	Pasa
Reúso 2 -c	-0,02	0,06	-0,17	0,18	Pasa
Reúso 3 -a	-0,07	0,00	-0,19	0,20	Pasa
Reúso 3 -b	0,00	0,16	-0,23	0,28	Pasa
Reúso 3 -c	-0,10	0,15	-0,13	0,22	Pasa
Reúso 4 -a	0,09	-0,03	-0,51	0,52	Pasa
Reúso 4 -b	-0,05	-0,02	-0,30	0,31	Pasa
Reúso 4 -c	-0,04	0,03	-0,21	0,22	Pasa
Reúso - de enjuague	-0,15	0,21	0,32	0,41	Pasa
DE CMC Promedio				0,30	
Desviación estándar				0,0981	

Tabla 25*Diferencia de color DE CMC de los tejidos de poliéster en color gris*

Tintura Disperso	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado
Repetición Madre a	0,04	-0,03	-0,17	0,18	Pasa
Repetición Madre b	-0,16	0,00	0,19	0,25	Pasa
Repetición Madre c	-0,08	0,05	0,05	0,11	Pasa
Reúso 1 (95%) -a	0,43	-0,51	-0,75	1,00	Falla
Reúso 1 (95%) -b	0,42	-0,52	-0,70	0,97	Límite
Reúso 1 (95%) -c	0,30	-0,48	-0,50	0,76	Límite
Reúso 2 -a	0,09	0,28	0,18	0,35	Pasa
Reúso 2 -b	0,17	0,27	0,11	0,34	Pasa
Reúso 2 -c	0,02	0,34	-0,01	0,34	Pasa
Reúso 3 -a	0,14	0,19	0,14	0,28	Pasa
Reúso 3 -b	0,08	0,17	0,10	0,22	Pasa
Reúso 3 -c	0,08	0,22	0,12	0,26	Pasa
Reúso 4 -a	-0,04	0,23	0,27	0,35	Pasa
Reúso 4 -b	0,19	0,00	0,08	0,20	Pasa
Reúso 4 -c	0,12	-0,09	0,02	0,15	Pasa
DE CMC Promedio				0,38	
Desviación estándar				0,2862	

Tabla 26*Diferencia de color DE CMC de los tejidos de poliéster en color negro*

Tintura	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado
Repetición Madre a	-0,06	0,01	-0,01	0,06	Pasa
Repetición Madre b	-0,06	0,04	0,00	0,07	Pasa
Repetición Madre c	-0,36	-0,02	0,00	0,36	Pasa
Reúso 1 (90%) -a	0,36	0,12	-0,15	0,41	Pasa
Reúso 1 (90%) -b	0,08	0,00	-0,08	0,12	Pasa
Reúso 1 (90%) -c	0,17	0,02	-0,11	0,21	Pasa
Reúso 2 -a	0,23	-0,34	0,15	0,44	Pasa
Reúso 2 -b	-0,01	-0,36	0,13	0,38	Pasa
Reúso 2 -c	-0,03	-0,24	0,11	0,26	Pasa
Reúso 3 -a	0,02	-0,05	0,08	0,09	Pasa
Reúso 3 -b	0,09	-0,23	0,07	0,26	Pasa
Reúso 3 -c	0,29	-0,33	0,17	0,47	Pasa
Reúso 4 -a	0,12	-0,19	0,11	0,25	Pasa
Reúso 4 -b	-0,07	-0,27	0,13	0,31	Pasa
Reúso 4 -c	0,24	-0,32	0,13	0,42	Pasa
DE CMC Promedio				0,27	
Desviación estándar				0,1403	

De toda la data mostrada en las 3 tablas anteriores, los resultados de la diferencia de color usando la ecuación DE CMC (2:1) en los tejidos teñidos en color plata y negro sobre tejidos de poliéster con baños reutilizados comparados con la muestra teñida con el baño madre tienen resultados óptimos. Solo 3 muestras en el color medio, gris, las cuales fueron teñidas con 95% de colorante de la receta madre, han salido al límite de aprobación, el resto de los teñidos para ese color con baños de reuso se hizo con 100% de colorantes y sus DE CMC fueron menores a 0,40. La diferencia de color DE CMC promedio fue de 0,38 menor a la tolerancia máxima o unidad.

En la Tabla 27 se aprecian los resultados de la diferencia de color DE CMC (2:1) para el blanco óptico en poliéster versus el baño madre o estándar, además se muestra el grado de blanco CIE, la DE CMC promedio y la desviación estándar.

Tabla 27

Diferencia de color DE CMC y Grado de blanco CIE del blanco óptico en poliéster

Tintura Óptico	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado	Grado CIE
Madre						141,01
Repetición Madre a	-0,16	0,71	-0,31	0,79	Límite	144,56
Repetición Madre b	-0,03	0,20	-0,03	0,20	Pasa	142,02
Repetición Madre c	-0,27	-1,10	0,58	1,27	Falla	132,65
Reúso 1 -a	-0,09	-0,18	0,06	0,21	Pasa	139,42
Reúso 1 -b	-0,06	-0,10	-0,02	0,12	Pasa	141,01
Reúso 1 -c	-0,08	-0,21	0,10	0,25	Pasa	139,25
Reúso 2 -a	-0,09	0,36	-0,02	0,37	Pasa	142,60
Reúso 2 -b	-0,05	0,28	0,04	0,29	Pasa	142,37
Reúso 2 -c	-0,10	0,25	0,01	0,27	Pasa	141,95
Reúso 3 -a	-0,13	-0,51	-0,04	0,53	Pasa	137,34
Reúso 3 -b	-0,11	-0,37	-0,17	0,42	Pasa	138,40
Reúso 3 -c	-0,12	-0,01	-0,08	0,14	Pasa	140,39
Reúso 4 -a	-0,25	0,37	-0,21	0,49	Pasa	142,07
Reúso 4 -b	-0,23	0,40	-0,12	0,48	Pasa	142,28
Reúso 4 -c	-0,15	0,27	-0,27	0,41	Pasa	142,03
Reúso Enjuague	-0,09	0,83	-0,15	0,85	Límite	145,52
Promedio				0,44		140,88
Desviación estándar				0,3042		2,946

De acuerdo con los resultados sólo la repetición de la tintura madre “c” está fuera de la tolerancia. El resultado DE CMC promedio fue de 0,44 que es menor al límite máximo de $CMC < 1,0$ y se obtiene una desviación estándar de 0,3077 entre muestras.

En la misma Tabla 27, en la última columna se muestran los resultados del grado de blanco CIE, cuyo promedio fue de 140,88 que comparado con el grado de blanco de la muestra madre 141,01 es un buen resultado, sobre todo considerando que la tolerancia usada en las tintorerías para el grado de blanco CIE es +10/-5 unidades y todas están dentro de ella, excepto la repetición madre “c”, cuya causa la atribuimos a la contaminación del recipiente de acero de la máquina.

En las Tablas 28, 29 y 30 se muestra la DE CMC (2:1) de los teñidos de los colores claro, medio y oscuro en algodón teñidos con los baños reutilizados versus la muestra teñida con el baño madre. Además, se calcula la DE CMC promedio y la desviación estándar.

Tabla 28

Diferencia de color DE CMC de los tejidos de algodón en color plomo claro

Tintura Reactivo	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado
Repetición Madre a	0,10	-0,14	0,02	0,18	Pasa
Repetición Madre b	0,10	-0,04	-0,04	0,11	Pasa
Repetición Madre c	0,11	-0,07	0,03	0,14	Pasa
Reúso 1 -a	0,06	-0,36	-0,01	0,37	Pasa
Reúso 1 -b	0,10	-0,12	-0,11	0,19	Pasa
Reúso 2 -a	0,16	-0,24	-0,01	0,29	Pasa
Reúso 2 -b	0,04	-0,24	-0,03	0,24	Pasa
Reúso 3 -a	-0,01	-0,31	0,02	0,31	Pasa
Reúso 3 -b	0,06	0,20	-0,39	0,44	Pasa
Reúso 4 -a	0,20	-0,25	-0,22	0,39	Pasa
Reúso 4 -b	0,09	-0,21	0,05	0,23	Pasa
Promedio				0,26	
Desviación estándar				0,1069	

Tabla 29*Diferencia de color DE CMC de los tejidos de algodón en color gris*

Tintura Reactivo	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado
Repetición Madre a	0,08	-0,20	-0,04	0,22	Pasa
Repetición Madre b	-0,25	0,12	-0,15	0,32	Pasa
Repetición Madre c	-0,07	0,19	-0,03	0,21	Pasa
Reúso 1 -a	0,15	0,53	-0,75	0,93	Límite
Reúso 1 -b	0,10	0,39	-0,67	0,78	Límite
Reúso 2 -a	-0,24	0,44	-0,22	0,55	Pasa
Reúso 2 -b	0,43	0,01	0,29	0,52	Pasa
Reúso 3 -a	0,22	0,04	-0,59	0,63	Pasa
Reúso 3 -b	0,39	-0,08	-0,26	0,47	Pasa
Reúso 4 -a	0,28	0,10	0,05	0,30	Pasa
Reúso 4 -b	0,72	0,03	-0,19	0,74	Pasa
Promedio				0,52	
Desviación estándar				0,2395	

Tabla 30*Diferencia de color DE CMC de los tejidos de algodón en color negro*

Tintura Reactivo	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado
Repetición Madre a	-0,14	0,03	0,04	0,15	Pasa
Repetición Madre b	0,06	0,04	0,03	0,08	Pasa
Repetición Madre c	-0,02	-0,01	0,03	0,04	Pasa
Reúso 1 -a	0,11	0,00	-0,05	0,12	Pasa
Reúso 1 -b	0,05	0,11	-0,06	0,13	Pasa
Reúso 2 -a	-0,01	0,17	-0,12	0,20	Pasa
Reúso 2 -b	0,38	0,33	-0,38	0,63	Pasa
Reúso 3 -a	0,37	0,49	-0,41	0,74	Pasa
Reúso 3 -b	0,02	-0,02	-0,03	0,04	Pasa
Reúso 4 -a	0,17	0,52	-0,47	0,72	Pasa
Reúso 4 -b	-0,31	0,16	-0,14	0,37	Pasa
Promedio				0,29	
Desviación estándar				0,2758	

En las Tablas 31 y 32 se aprecian los resultados de la diferencia de color DE CMC (2:1) para el blanco óptico y el blanqueo químico para algodón crudo versus el baño madre

o estándar, además se muestra el grado de blanco CIE, la DE CMC promedio y la desviación estándar.

Tabla 31

Diferencia de color DE CMC y Grado de blanco CIE del blanco óptico en algodón

Tintura Óptico- Algodón	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado	Grado de Blanco CIE
Madre						177,43
Repetición Madre a	0,08	-0,09	-0,07	0,14	Pasa	177,20
Repetición Madre b	0,06	-0,10	-0,25	0,28	Pasa	177,26
Repetición Madre c	0,06	-0,23	0,13	0,27	Pasa	175,80
Reúso 1 -a	-0,10	0,12	0,09	0,18	Pasa	177,77
Reúso 1 -b	0,00	0,10	0,10	0,14	Pasa	178,04
Reúso 1 -c	0,00	-0,09	0,01	0,09	Pasa	176,77
Reúso 2 -a	-0,10	0,16	0,00	0,19	Pasa	178,24
Reúso 2 -b	0,00	0,17	-0,13	0,22	Pasa	178,87
Reúso 2 -c	-0,02	0,12	0,07	0,14	Pasa	178,10
Reúso 3 -a	-0,01	0,28	0,13	0,31	Pasa	179,25
Reúso 3 -b	-0,06	0,30	0,13	0,33	Pasa	179,18
Reúso 3 -c	-0,08	0,14	0,14	0,22	Pasa	177,93
Reúso 4 -a	0,03	-0,46	-0,20	0,51	Pasa	174,44
Reúso 4 -b	-0,02	-0,37	-0,17	0,41	Pasa	174,88
Reúso 4 -c	0,10	-0,39	-0,24	0,47	Pasa	175,27
Reúso Enjuague-a	-0,06	-0,09	-0,02	0,11	Pasa	176,54
Reúso Enjuague-b	0,25	-0,50	-0,02	0,56	Pasa	174,83
Promedio				0,27		177,10
Desviación estándar				0,1446		1,5178

El resultado DE CMC promedio fue de 0,27 menor al límite máximo de 1,0 y la desviación estándar entre muestras fue de 0,1446. Asimismo, en la última columna de la Tabla 31, se muestran los resultados del grado de blanco CIE, resultando un promedio de 177,10 que comparado con el de la muestra madre 177,43 nos indica un excelente resultado.

Tabla 32

Diferencia de color DE CMC y Grado de blanco Berger del blanqueo químico en algodón

Blanqueo químico- Algodón	DL*/SL	DC*/cSC	DH*/SH	DE CMC	Resultado	Grado de Blanco °Be
Baño Madre						71,64
Repetición Madre a	-0,01	0,01	0,02	0,02	Pasa	71,60
Repetición Madre b	0,00	-0,13	0,06	0,14	Pasa	72,29
Repetición Madre c	0,03	-0,13	0,06	0,15	Pasa	72,46
Reúso 1 -a	-0,08	0,61	0,03	0,61	Pasa	68,91
Reúso 1 -b	-0,07	0,08	0,07	0,13	Pasa	71,07
Reúso 1 -c	-0,05	0,03	0,05	0,08	Pasa	71,34
Reúso 2 -a	-0,04	-0,18	-0,02	0,18	Pasa	72,04
Reúso 2 -b	0,00	0,09	0,05	0,10	Pasa	72,08
Reúso 2 -c	-0,08	-0,14	-0,08	0,18	Pasa	71,54
Reúso 3 -a	0,09	-0,03	0,21	0,23	Pasa	72,76
Reúso 3 -b	-0,16	2,13	-0,15	2,15	Falla	62,17
Reúso 3 -c	0,08	0,05	0,20	0,22	Pasa	72,74
Reúso 4 -a	-0,15	1,28	-0,13	1,29	Falla	65,52
Reúso 4 -b	-0,16	1,19	-0,11	1,21	Falla	65,88
Reúso 4 -c	-0,11	0,85	-0,11	0,86	Límite	67,45
Reúso Enjuague-a	0,01	-0,16	-0,01	0,16	Pasa	72,27
Reúso Enjuague-b	-0,06	-0,07	-0,09	0,13	Pasa	71,32
Promedio				0,46		70,28
Desviación estándar				0,5880		3,0387

La diferencia de color usando la ecuación DE CMC (2:1) de los blanqueos químicos con los baños reconstruidos y reutilizados versus la muestra de blanqueo químico con el baño madre se muestran en la Tabla 32, el resultado DE CMC promedio fue de 0,46 que es menor al límite máximo de CMC < 1. En la última columna de la misma tabla, se muestran los resultados del grado de blanco Berger, usualmente empleado en evaluación de grados de blanco de blanqueos químicos en la industria textil. El grado de blanco promedio fue de 70,28 que comparado con el grado de blanco de la muestra madre 71,64 nos indica un buen resultado. La tolerancia usualmente empleada en las tintorerías para el grado de blanco es +/-2 y sólo 3 muestras todas las muestras teñidas están fuera de ella.

Desviación Estándar de la DE CMC. A partir de las Tablas anteriores se construyen las Figuras 28, 29, 30 y 31 para los teñidos en tejidos de poliéster

Figura 28

Desviación estándar de la diferencia de color DECMC del color plata en poliéster

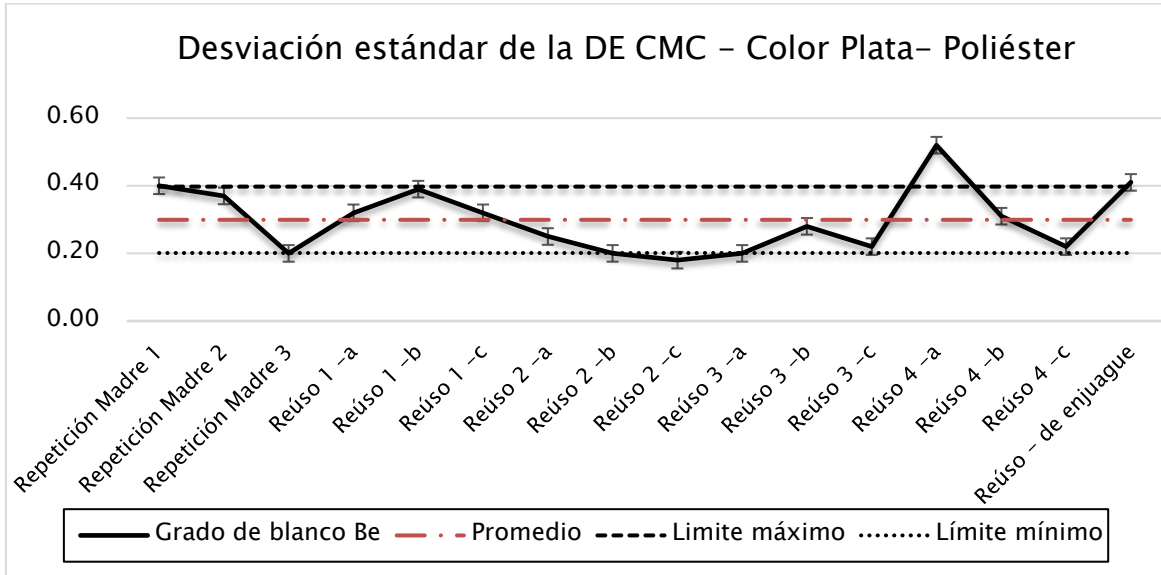


Figura 29

Desviación estándar de la Diferencia de color DE CMC del color gris en poliéster

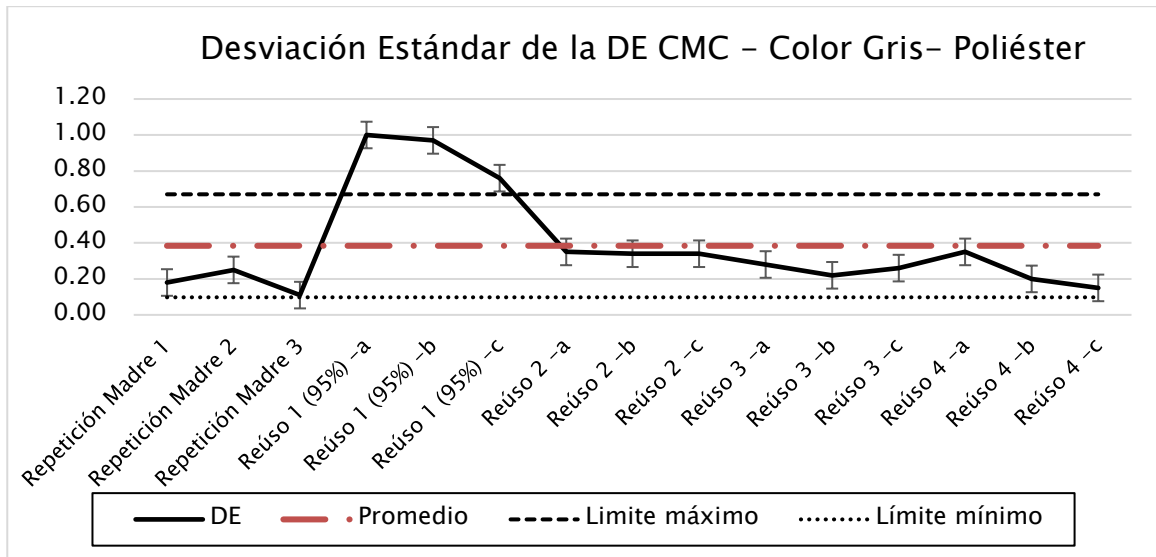
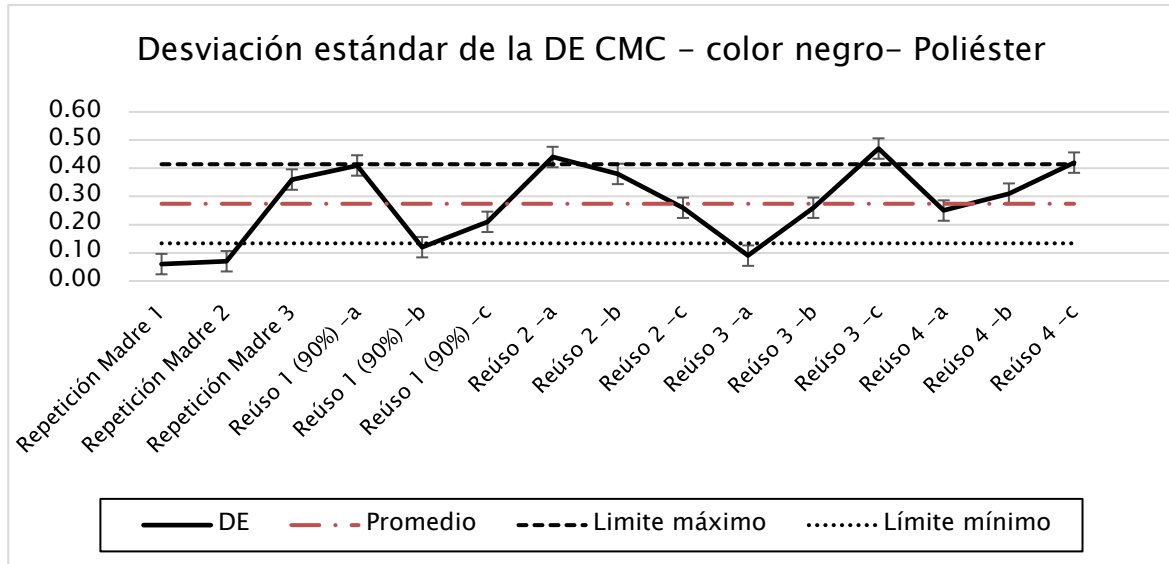
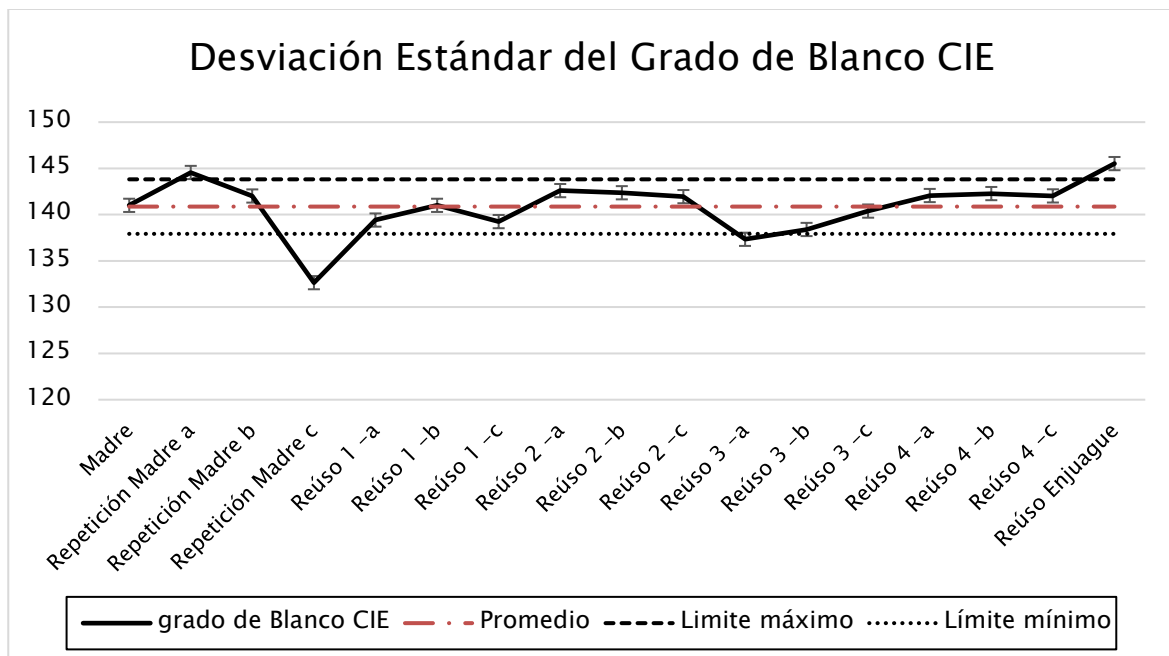


Figura 30

Desviación estándar de la diferencia de color DE CMC del color negro en poliéster

**Figura 31**

Desviación estándar del Grado de Blanco CIE del óptico en poliéster



Las Figuras 32, 33 y 34 muestran la desviación estándar para los colores teñidos sobre algodón.

Figura 32

Desviación estándar de la Diferencia de color DE CMC del color plomo en algodón

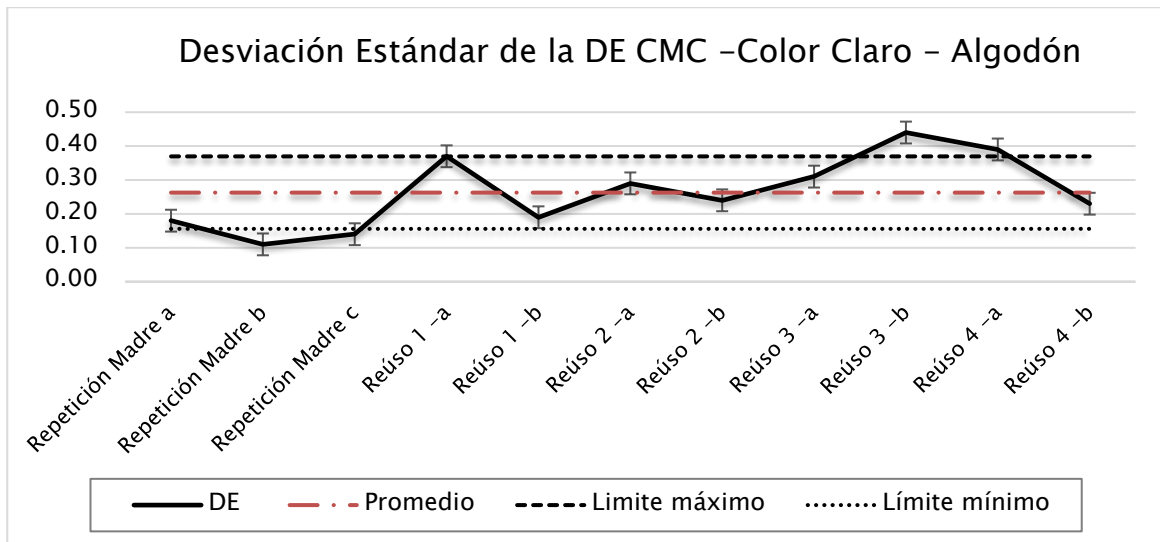


Figura 33

Desviación estándar de la diferencia de color DE CMC del color gris en algodón

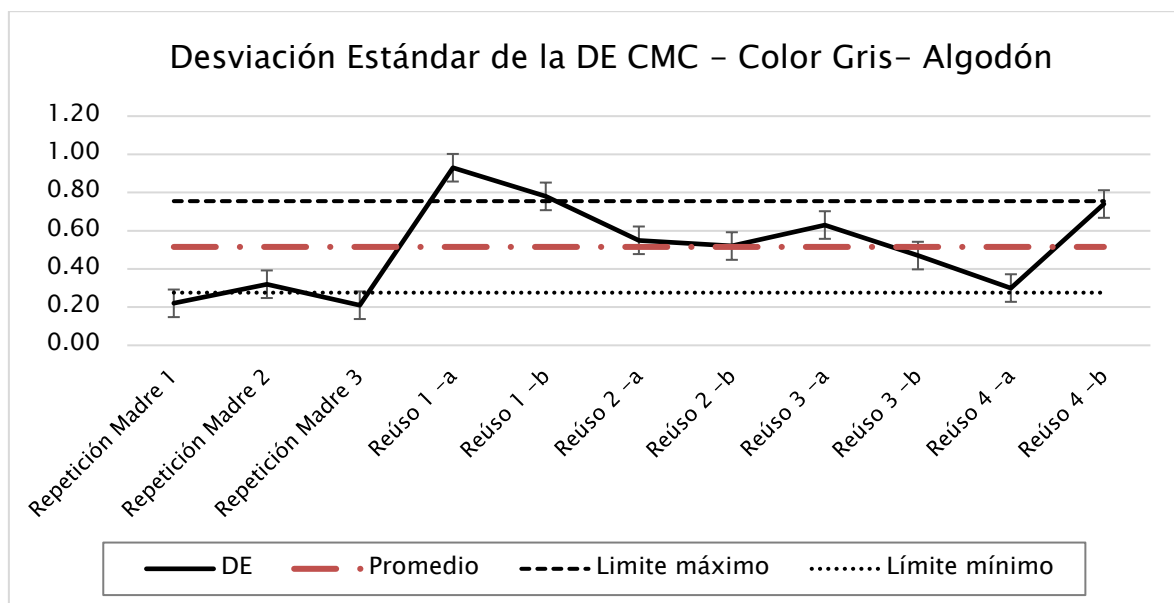
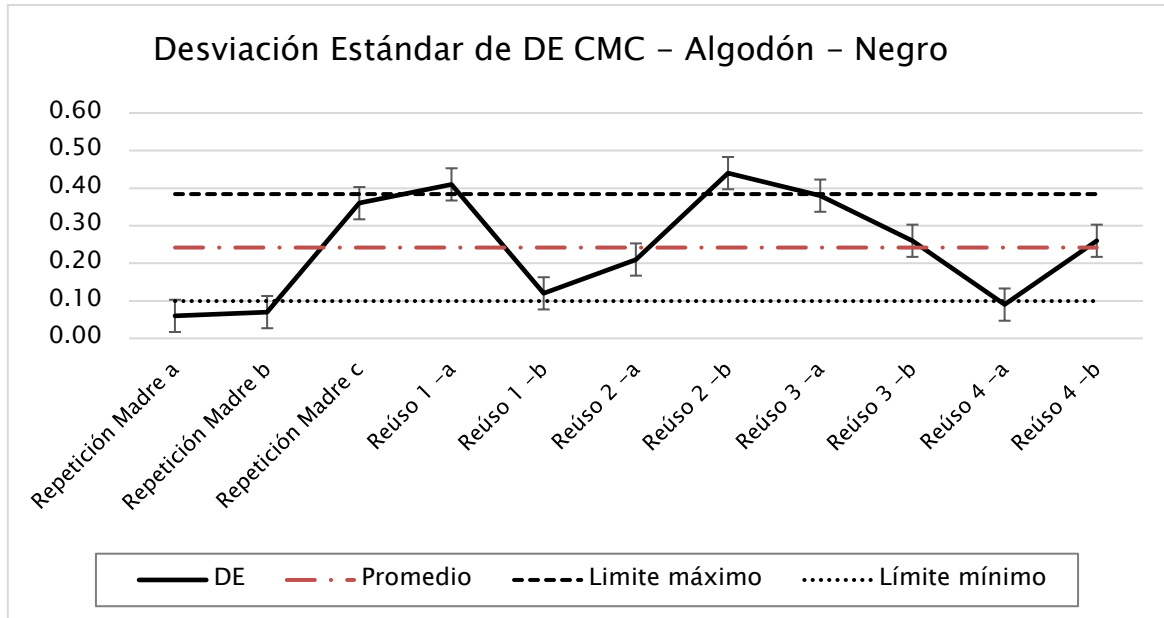


Figura 34

Desviación estándar de la diferencia de color DE CMC del color negro en algodón



Las Figuras 35 y 36 muestran la desviación estándar del grado de blanco para el blanco óptico y el blanqueo químico sobre algodón crudo.

Figura 35

Desviación estándar del Grado de Blanco CIE del blanco óptico en algodón

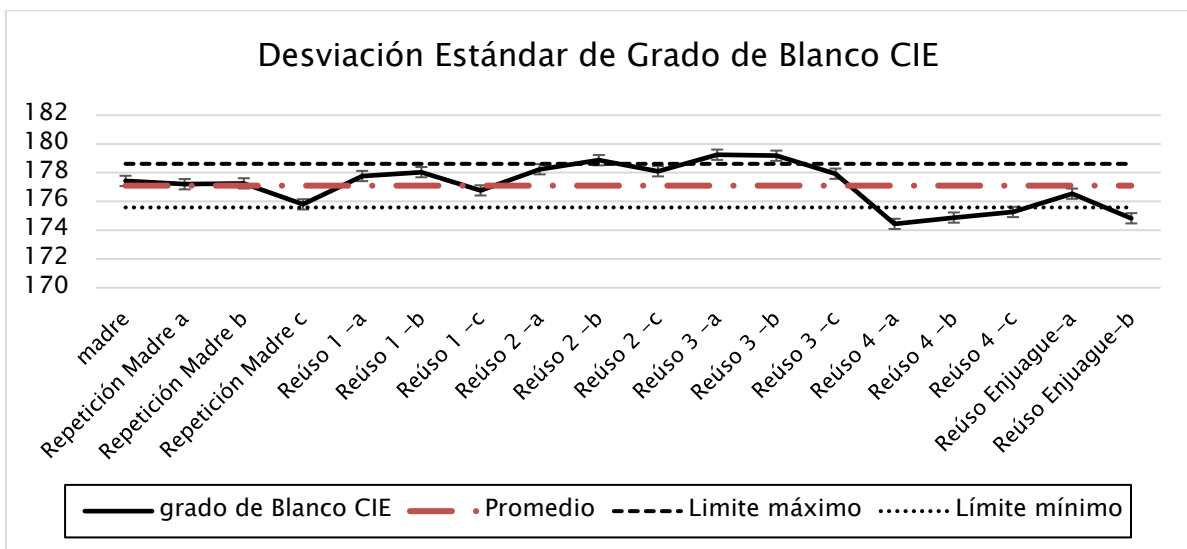
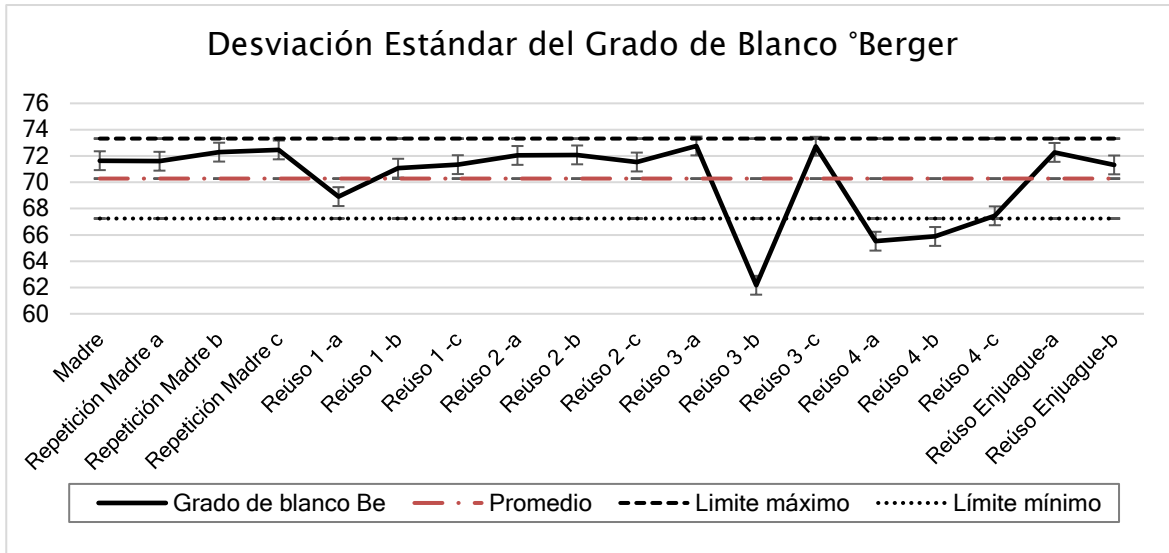


Figura 36

Desviación estándar del grado de blanco Berger de los blanqueos químicos



Elipses de Aceptabilidad DE CMC. Del software Color Tools también se obtuvo el diagrama de DE CMC que se muestran en las Figuras 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45

Figura 37

Diagrama de la DE CMC del color plata en poliéster

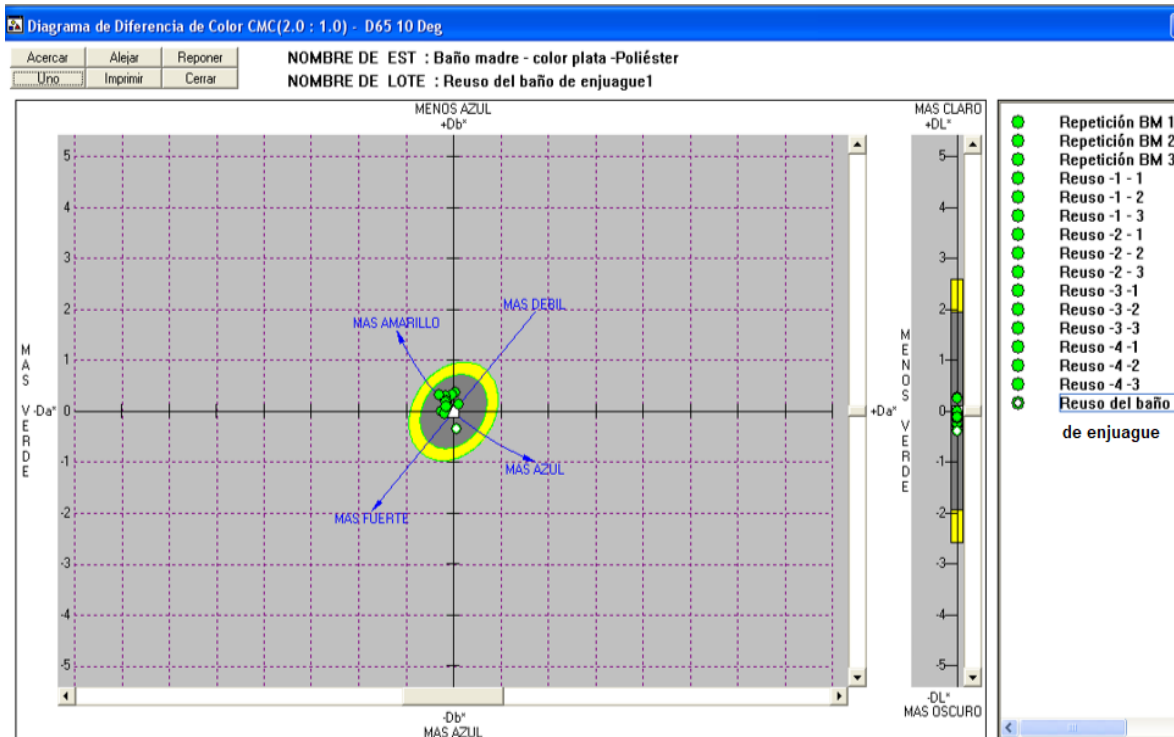


Figura 38

Diagrama de la DE CMC del color gris en poliéster

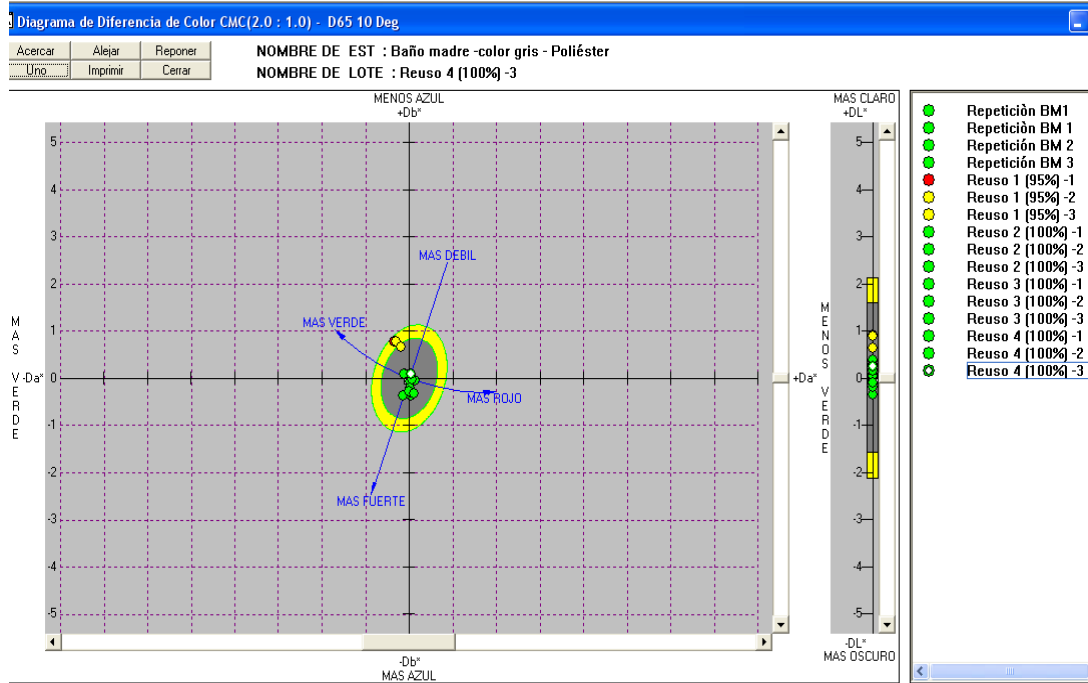


Figura 39

Diagrama de la DE CMC del color negro en poliéster

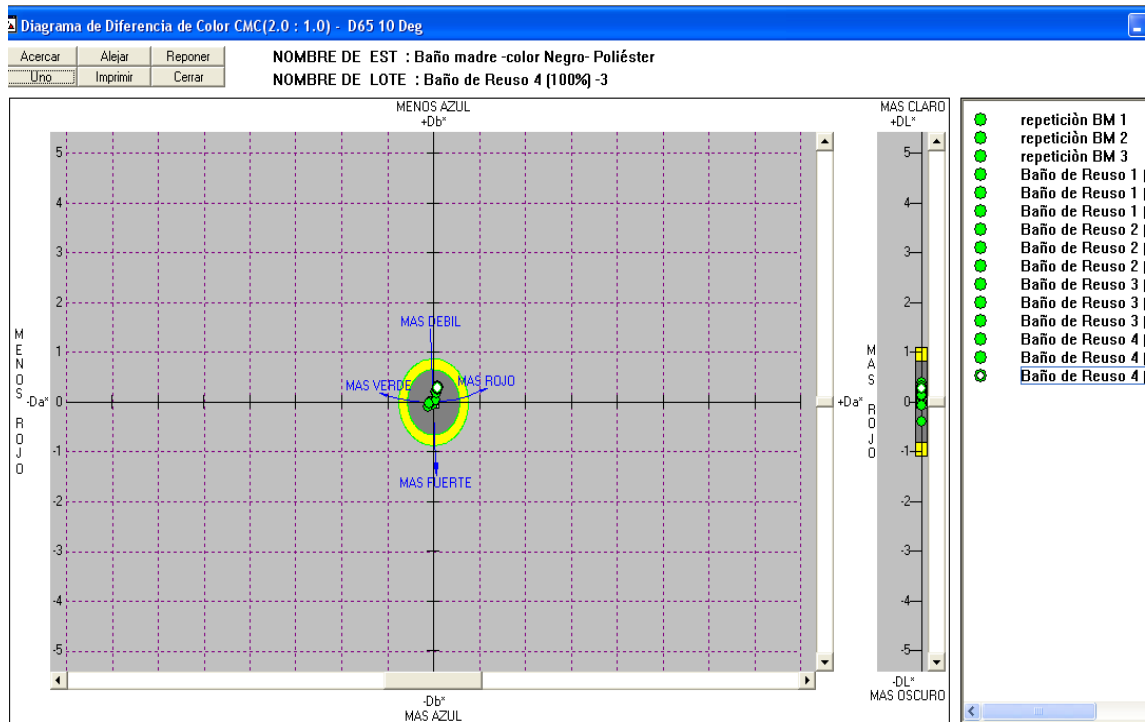


Figura 40

Diagrama de la DE CMC del color blanco óptico en poliéster

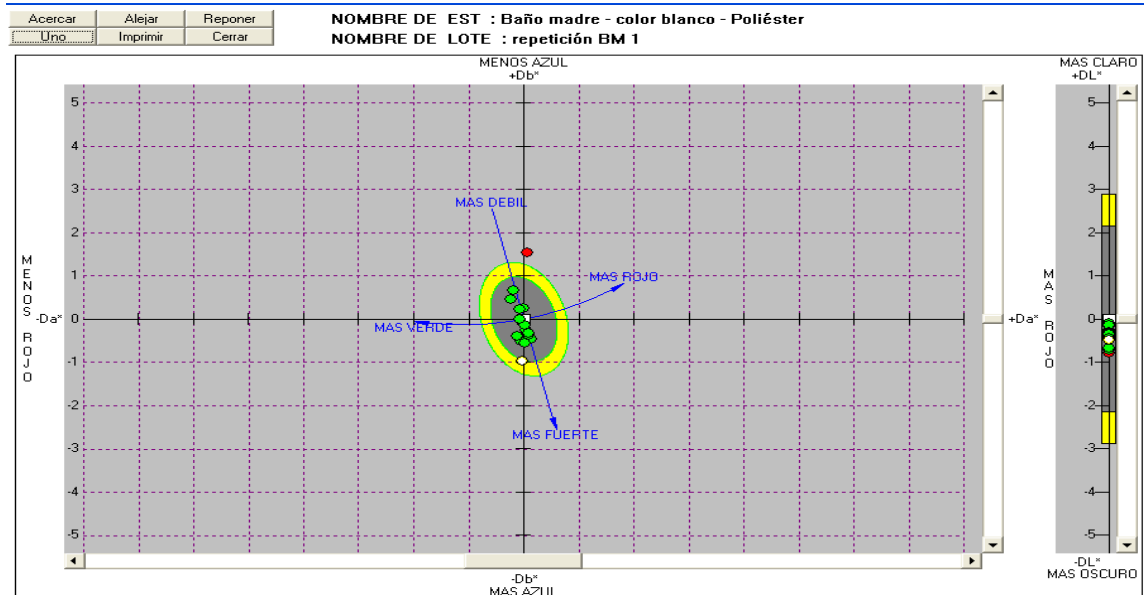


Figura 41

Diagrama de la DE CMC del color plomo en algodón

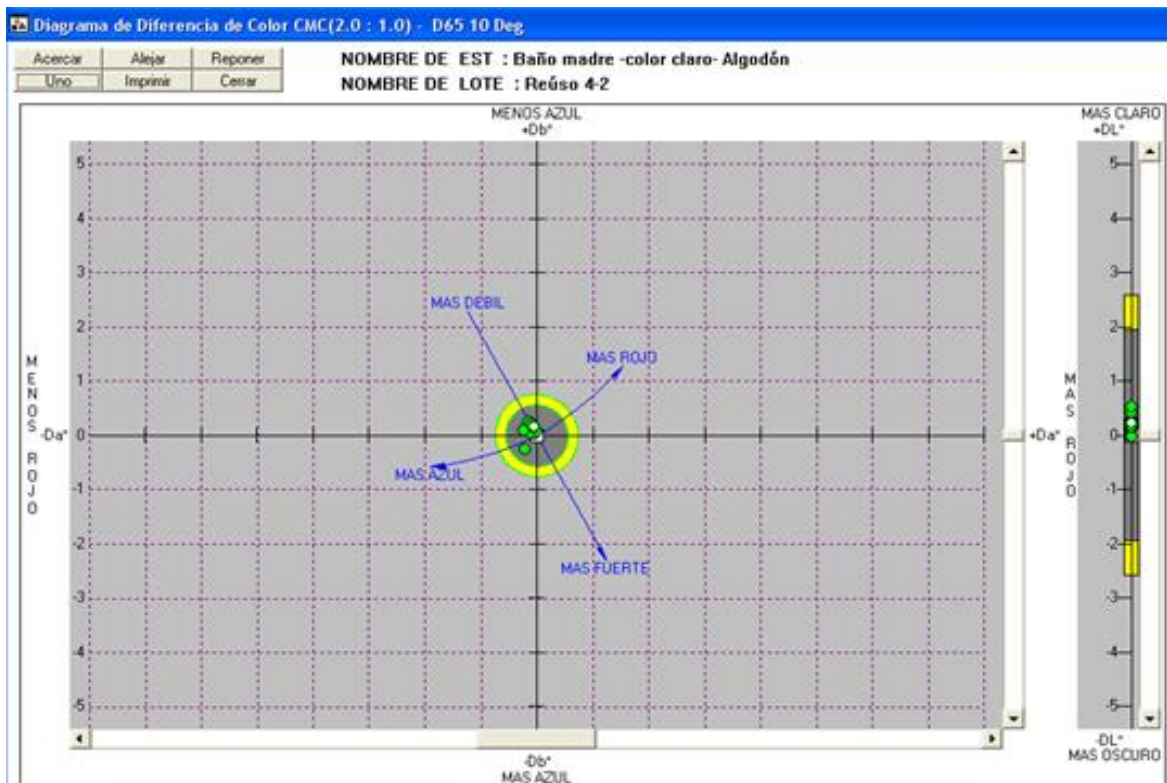


Figura 42

Diagrama de la DE CMC del color gris en algodón

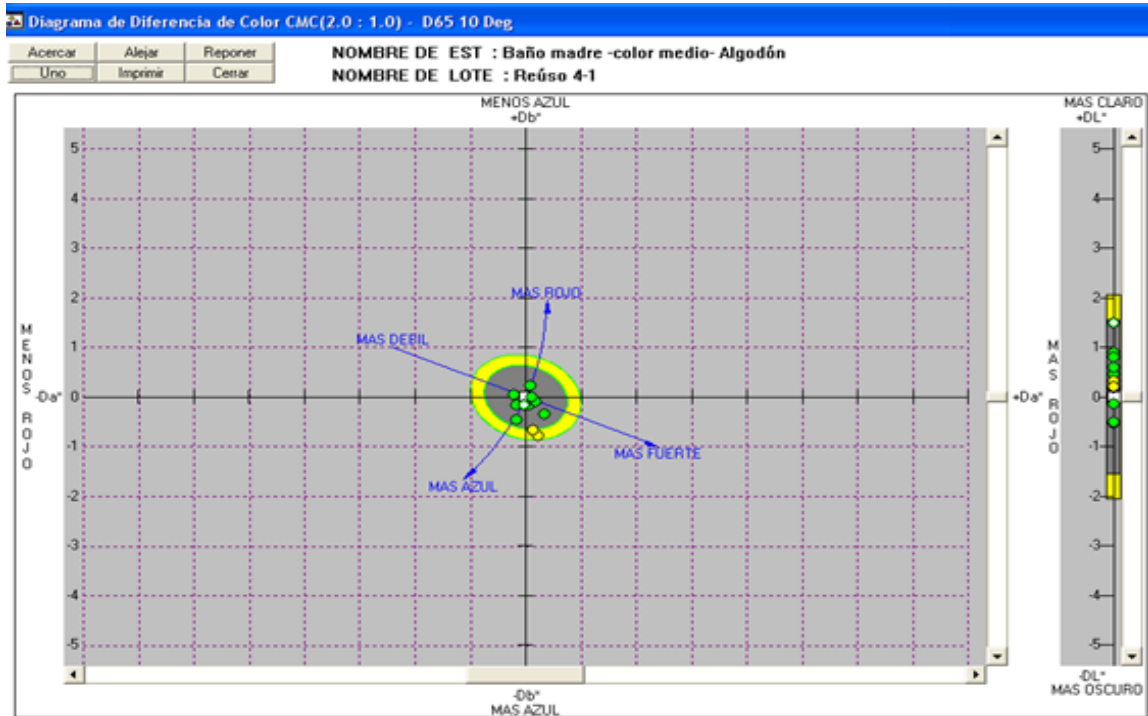


Figura 43

Diagrama de la DE CMC del color negro en algodón

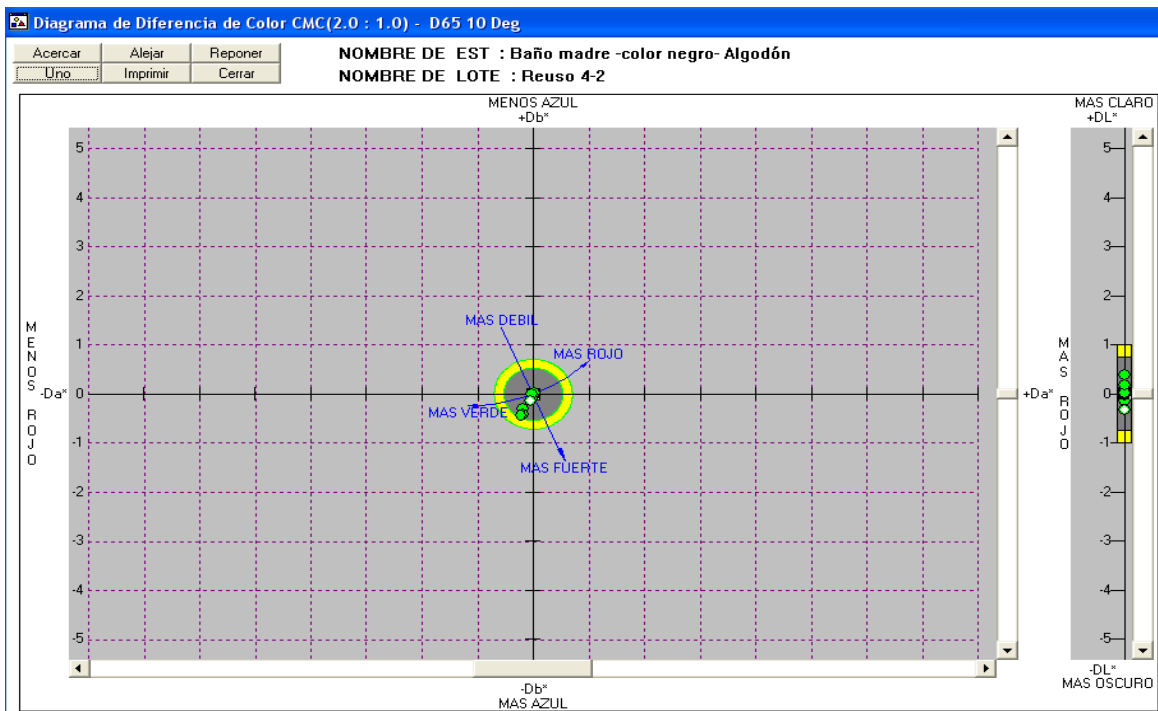


Figura 44

Diagrama de la DE CMC del color blanco óptico en algodón

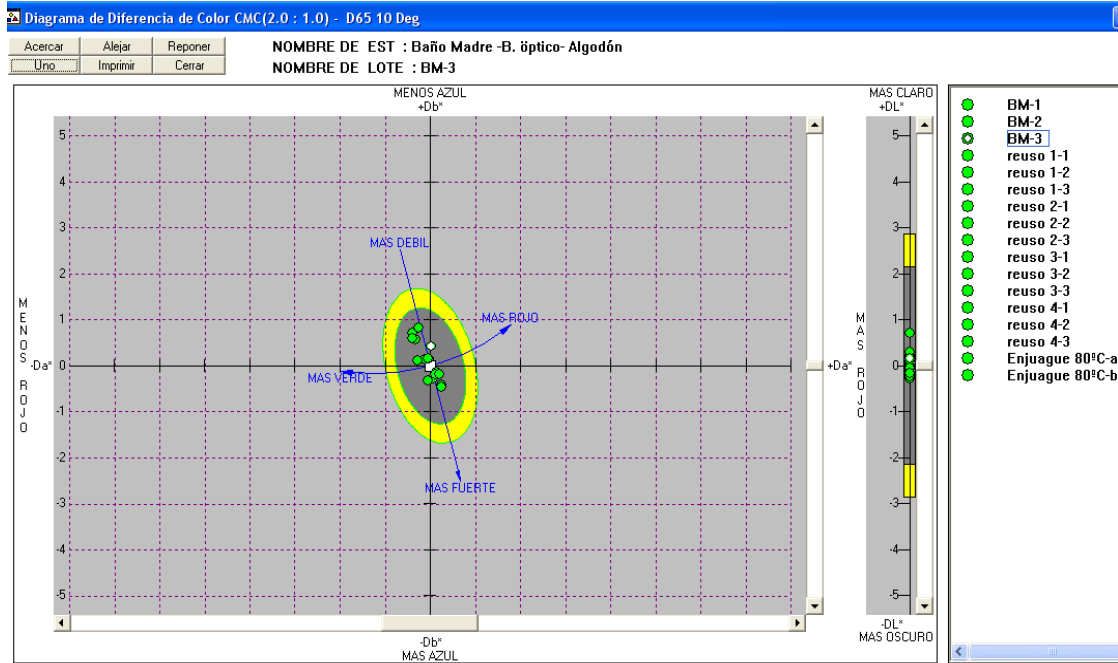
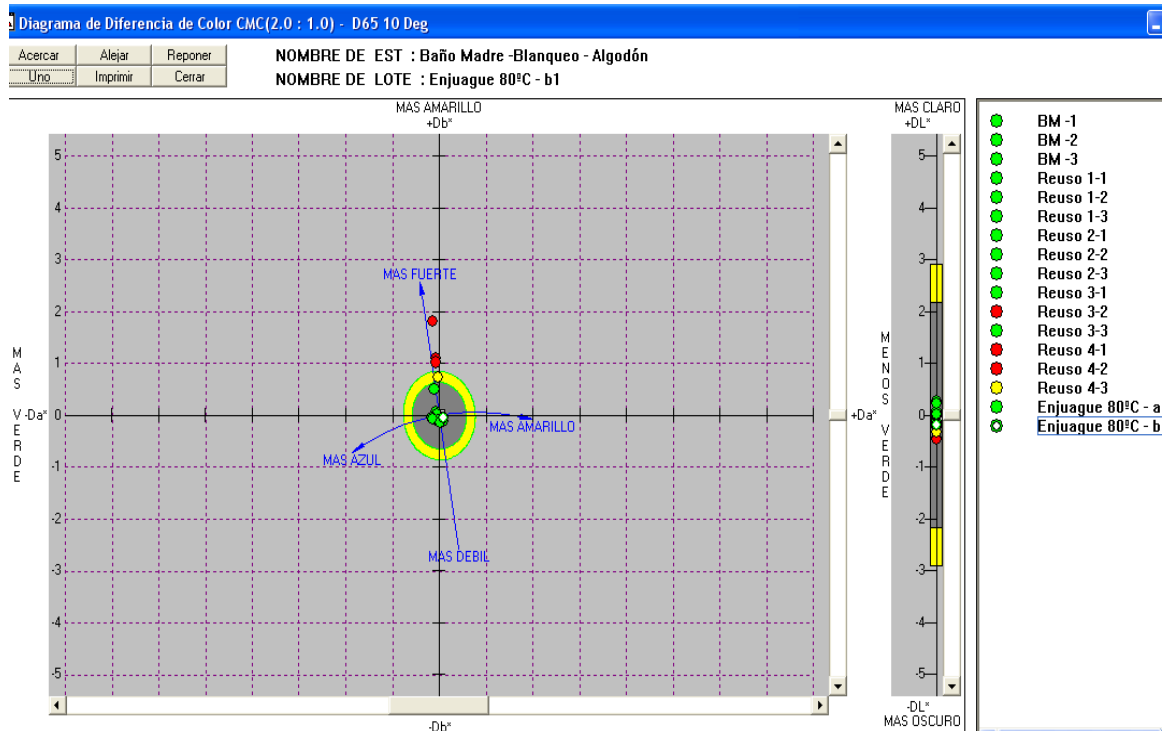


Figura 45

Diagrama de la DE CMC de los tejidos de algodón con blanqueo químico



3.6.3 Reciclaje de Efluente Textil

Se recibieron los resultados de la carga contaminante de los efluentes generados en la parte experimental de la erre reutilización y se compararon con los valores de la normativa legal peruana. Asimismo, se analizó las cotizaciones para proponer un sistema de tratamiento de efluentes que permita el reciclaje de estos.

Determinación de la Carga Contaminante. En las Tablas 33, 34 y 35 se muestran los resultados del laboratorio externo Labicer de los efluentes textiles generados en los procesos tintóreos para los tejidos de poliéster, algodón y la mezcla de los baños de éstos respectivamente comparados con los valores máximos admisibles del D.S. 021-2009.

Tabla 33

Análisis de efluentes textiles de procesos tintóreos de poliéster

Análisis	Unidad	Expresión	Método de Referencia	VMA	Baños de Poliéster
pH	unidad	pH		6 - 9	10,1
Sólidos totales disueltos	mg/L	S.T.D.	APHA 2540 C	No indica	2430,00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	APHA 2540 D	500	153,00
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	NTP 360.501:2016	1000	2348,57
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO ₅	APHA 5210 B	500	250,20
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	APHA 5252 B	100	58,3

Tabla 34

Análisis de efluentes textiles de procesos tintóreos de algodón

Análisis	Unidad	Expresión	Método de Referencia	VMA	Baños de Algodón
pH	unidad	pH		6 - 9	9,2
Sólidos totales disueltos	mg/L	S.T.D.	APHA 2540 C	No indica	8720,00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	APHA 2540 D	500	3040,00
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	NTP 360.501:2016	1000	2090,91
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO ₅	APHA 5210 B	500	1260,00
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	APHA 5252 B	100	1509,00

Tabla 35*Análisis de los efluentes textiles mezclados de poliéster y algodón*

Análisis	Unidad	Expresión	Método de Referencia	VMA	Baño Total
pH	unidad	pH		6 - 9	9,9
Sólidos totales disueltos	mg/L	S.T.D.	APHA 2540 C	No indica	9050,00
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.T.	APHA 2540 D	500	2000,00
Demanda química de oxígeno	mg/L	DQO	NTP 360.501:2016	1000	5590,91
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	DBO ₅	APHA 5210 B	500	3360,00
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	APHA 5252 B	100	1569,00

Inversión en Planta de Tratamiento. Se recibieron cotizaciones de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales que permitan reciclar el agua en la tintorería.

Tabla 36*Comparación de costos de plantas de Tratamiento Biológico y de Electrocoagulación*

Parámetro	Unidad	Tratamiento Biológico	Tratamiento Electrocoagulación	% Diferencia
Capacidad de la planta	m ³ /día	1000	1000	0%
Costo energía eléctrica	USD/m ³	0,12	0,18	50%
Costo de reactivos químicos	USD/m ³	0,10	0,11	10%
Costo Laboral	USD/m ³	0,10	0,10	0%
Área necesaria:	m ²	697	316	-55%
Volumen	m ³	5228	900	-83%
Costo total de tratamiento	USD/m ³	0,22	0,39	77%
Costo planta de tratamiento	USD	400000	380000	-5%
Producción de lodos	kg/día	0	700	100%
Costo de disposición de lodos	USD/kg	0	0,06	100%
Reciclado				
Área	m ²	211	113	-47%
Volumen	m ³	952	335	-65%
Porcentaje de agua reciclada	%	90	70	-22%
Costo planta de reciclaje	USD	990000	400000	-60%
Total	USD	1390000	780000	-44%

3.7 Consideraciones Éticas

Los datos referidos al consumo de aguas fueron obtenidos de una tintorería peruana situada en Lima que solicitó estar en anonimato. El trabajo experimental se realizó en dos laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería en los meses de enero, febrero hasta el 13 de marzo del 2020 con el consentimiento de los dos jefes de estos. El análisis de la carga contaminante de los efluentes fue realizado por un laboratorio externo imparcial.

IV. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los indicadores establecidos en la operacionalización de variables para cada dimensión.

4.1 Reducción del Consumo de Agua en la Fuente

A continuación, los resultados para cada indicador de esta dimensión Reducción.

4.1.1 Consumo de Agua

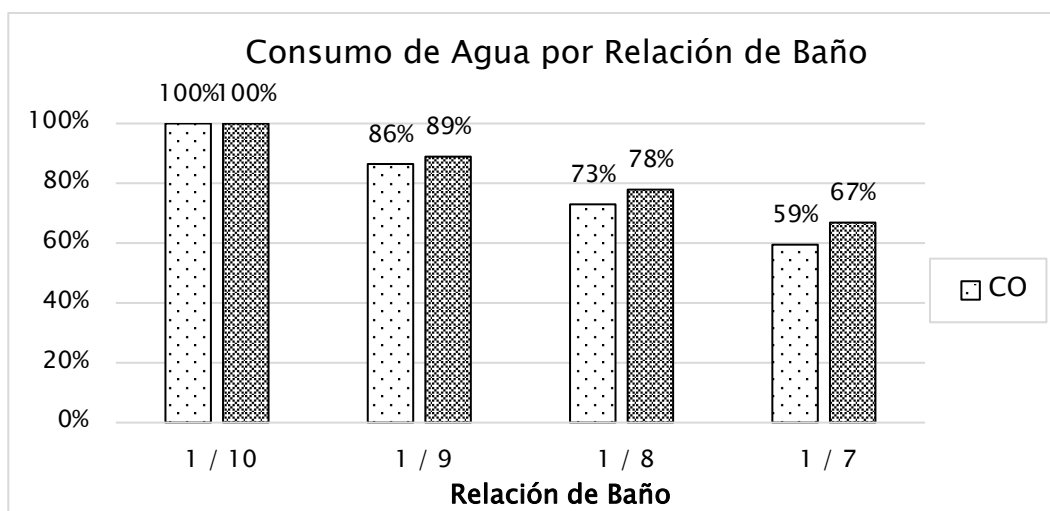
Para llegar a un objetivo se debe establecer indicadores y para eso hay que empezar midiendo el consumo de agua diaria, semanal o mensualmente y dividirlo entre los kilos de material textil producido. El resultado conseguido para la empresa textil fue un promedio de 103 L/kg tal como se observó en la Figura 18.

4.1.2 Ahorro de Agua

La Figura 46 muestra la disminución del consumo de agua calculada al bajar de relación de baño en una tintorería para el caso de tintura de fibras algodón y poliéster.

Figura 46

Reducción del consumo de agua por disminución de la relación de baño



Nota. Elaboración propia, se muestra la reducción porcentual del consumo de agua por la disminución de la relación de baño para tintorerías de algodón (CO) y de poliéster (PES).

En todos los casos se consigue ahorros significativos desde 14% por la disminución de 1 punto en la relación de baño hasta 41% por la disminución de 3 puntos para los procesos tintóreos de algodón. Para el caso de poliéster el ahorro va desde 11% hasta 33%.

Se proyectó con los datos de la empresa textil de algodón y el consumo de agua baja de 103 L/kg a 89 L/kg con la disminución de 1 punto de relación de baño.

4.2 Reutilización Experimental de Baños

A continuación, los resultados para cada indicador de esta dimensión.

4.2.1 Calidad de las Tinturas con Baños de Reutilización

Los resultados de la evaluación del color tanto de las repeticiones de las tinturas madres y las hechas con baños reutilizados para tejidos de fibra poliéster en colores blanco óptico, claro, medio y oscuro muestran una diferencia de color promedio debajo de la tolerancia comercial de la ecuación DE CMC (2:1) usada en la industria textil, es decir, menor a la unidad. En la Tabla 37 se aprecia este resultado y la desviación estándar obtenida para cada caso.

Tabla 37

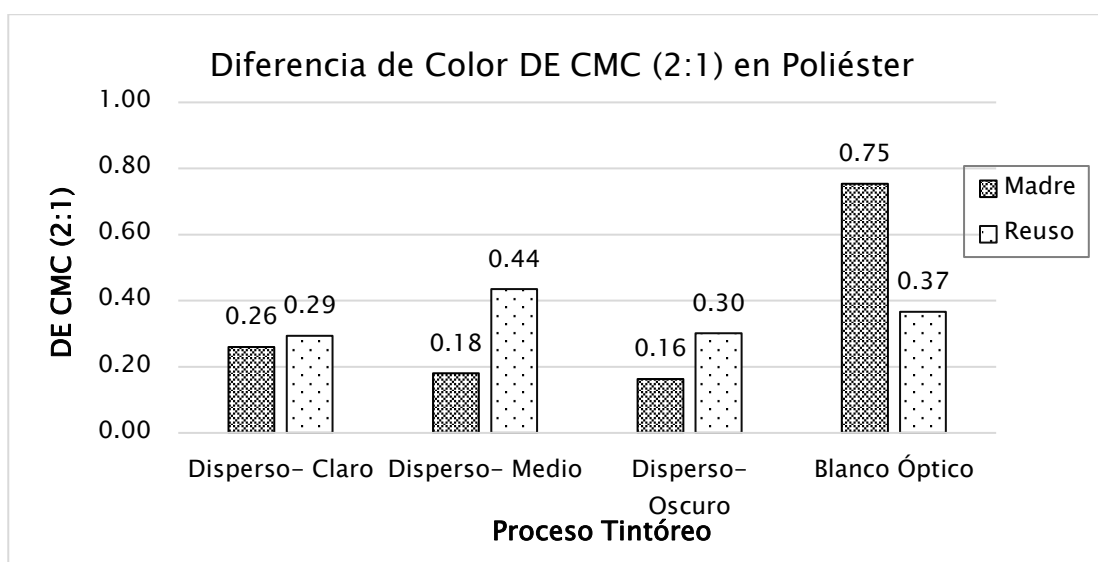
Comparación de la DE CMC promedio de los teñidos madre y reúso

Fibra	Proceso Tintóreo R.B.: 1/8	Baño Madre		Baño Reúso	
		DE CMC (2:1)	Desviación Estándar	DE CMC (2:1)	Desviación Estándar
Poliéster	Disperso- Claro	0,26	0,0954	0,29	0,0996
	Disperso- Medio	0,18	0,0700	0,44	0,2986
	Disperso- Oscuro	0,16	0,1704	0,30	0,1250
	Blanco Óptico	0,75	0,5359	0,37	0,2000
Algodón	Reactivo- Claro	0,14	0,0351	0,31	0,0870
	Reactivo- Medio	0,25	0,0608	0,62	0,1985
	Reactivo- Oscuro	0,09	0,0557	0,37	0,2891
	Blanco Óptico	0,23	0,0781	0,28	0,1562
	Blanqueo Químico	0,10	0,0723	0,54	0,6235

La Figura 47 muestra la comparación de la diferencia de color DE CMC (2:1) promedio de los teñidos en poliéster tanto con baño madre como de reúso.

Figura 47

DE CMC promedio de teñidos con baños madre y reúso en poliéster

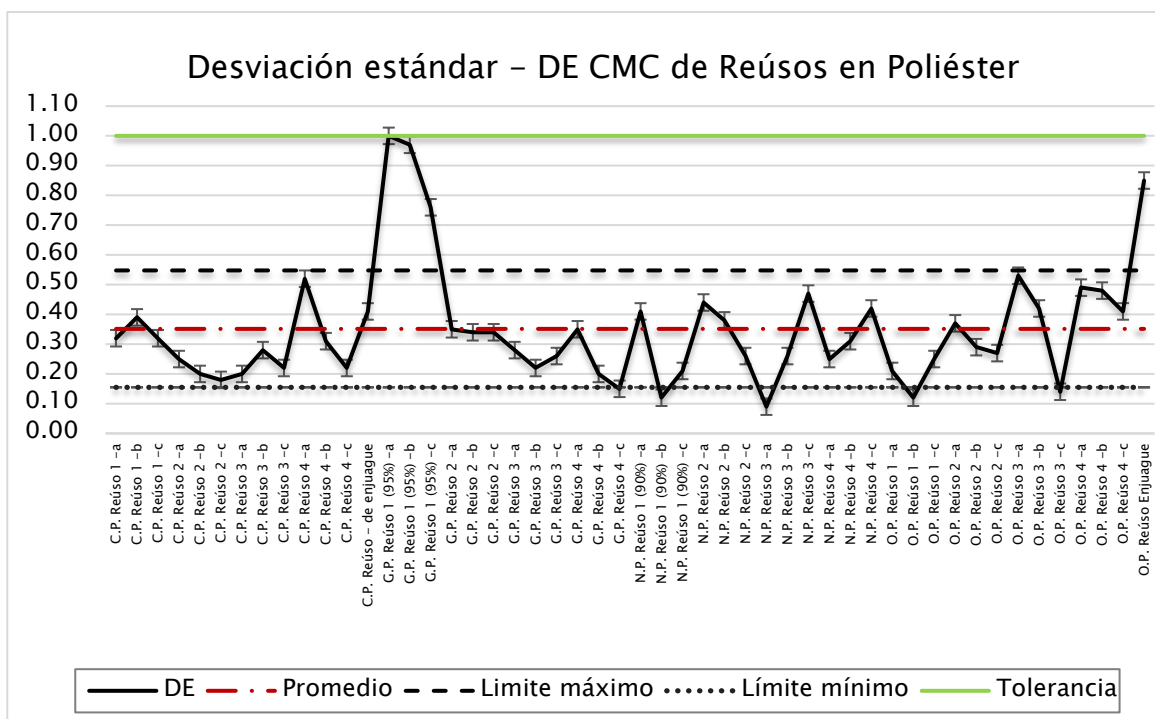


Para los colores claro, medio y oscuro los teñidos con baños reutilizados muestran una mayor diferencia de color DE CMC que los teñidos con baño madre. En el color blanco óptico ocurre lo contrario. En todos los casos los valores están por debajo de la tolerancia comercial DE CMC menor a la unidad. Por lo tanto, el uso de baños reúso en los teñidos no afecta el atributo color de las tinturas sucesivas en los tejidos de fibras de poliéster, siendo el DE CMC promedio más elevado 0,44 para el color gris medio.

La desviación estándar de la diferencia de color DE CMC de las tinturas con baños de reúso en poliéster es mostrada en la Figura 48. El 92% de los teñidos está por debajo del límite máximo de 0,57 y el valor más alto corresponde al reúso del color gris medio teñido con el 95% de la receta inicial con 1,0 y que a su vez alcanza a la tolerancia comercial.

Figura 48

Desviación estándar de la DE CMC de las tinturas con baños de reúso en poliéster



Nota. Colores: Claro (C), Gris (G), Negro (N) y Óptico (O) sobre tejidos de Poliéster (P)

Para los teñidos de los tejidos de algodón con baños madre y de reúso se obtiene una diferencia de color promedio DE CMC menor a la tolerancia comercial de 1,0 para todos los casos. Es decir, se consigue tinturas reproducibles con baños de reúso, siendo el DE CMC promedio más elevado 0,62 para el color gris medio. Sin embargo, la DE CMC promedio de los teñidos con los baños de reúso es mayor que para las tinturas madres en todos los colores. En la Figura 49 se muestran estos resultados obtenidos.

La desviación estándar de la diferencia de color DE CMC de las tinturas con baños de reúso en algodón es mostrada en la Figura 50. El 89% de los teñidos está por debajo del límite máximo de 0,57 donde el valor más alto es 0,93 para el color gris medio, de naturaleza complicada y sensible para su reproducción; esto mismo paso en el poliéster.

Figura 49

DE CMC promedio de teñidos con baños madre y reúso en Algodón

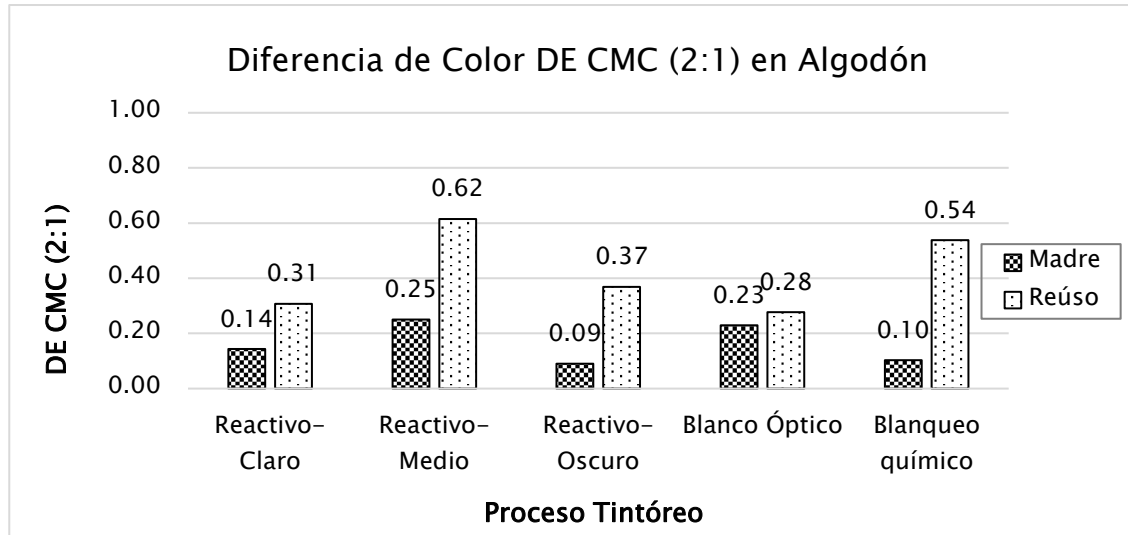
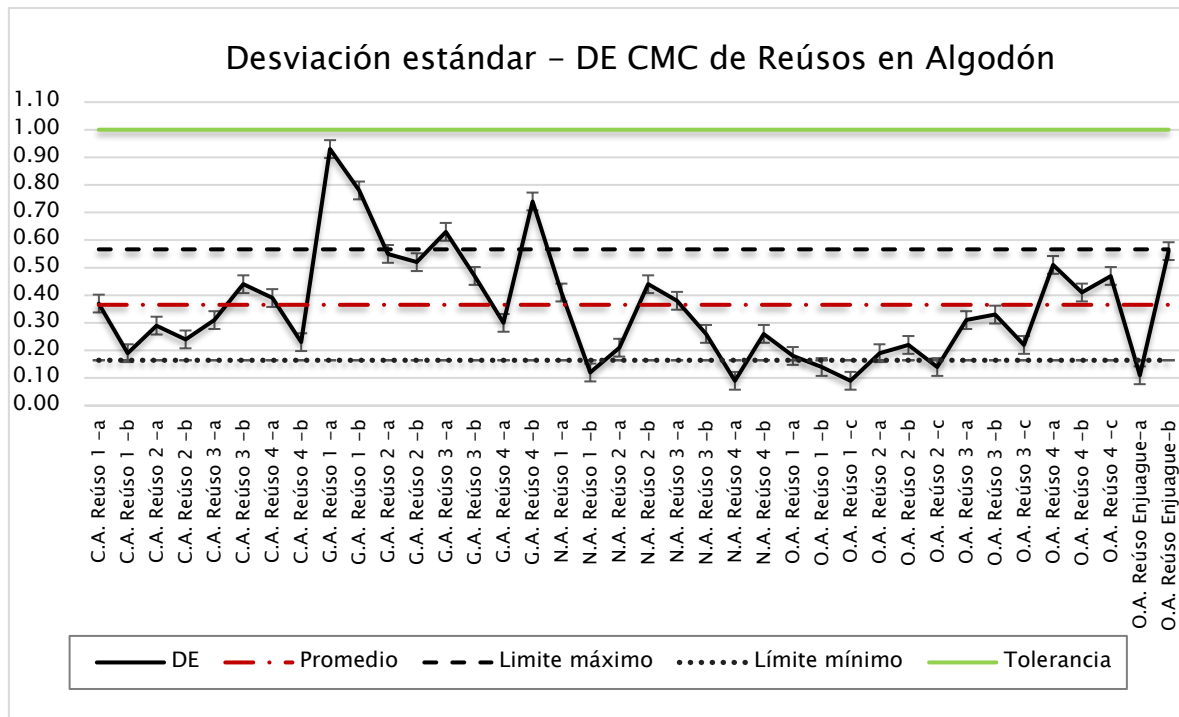


Figura 50

Desviación estándar de la DE CMC de las tinturas con baños de reúso en algodón



Nota. Colores: Claro (C), Gris (G), Negro (N) y Óptico (O) en tejidos de algodón.

4.2.2 Ahorro de Agua por Reutilización

En la Tabla 38 se muestra el ahorro de agua al reutilizar los baños según proceso.

Tabla 38

Ahorro de agua de los teñidos con baños de reúso

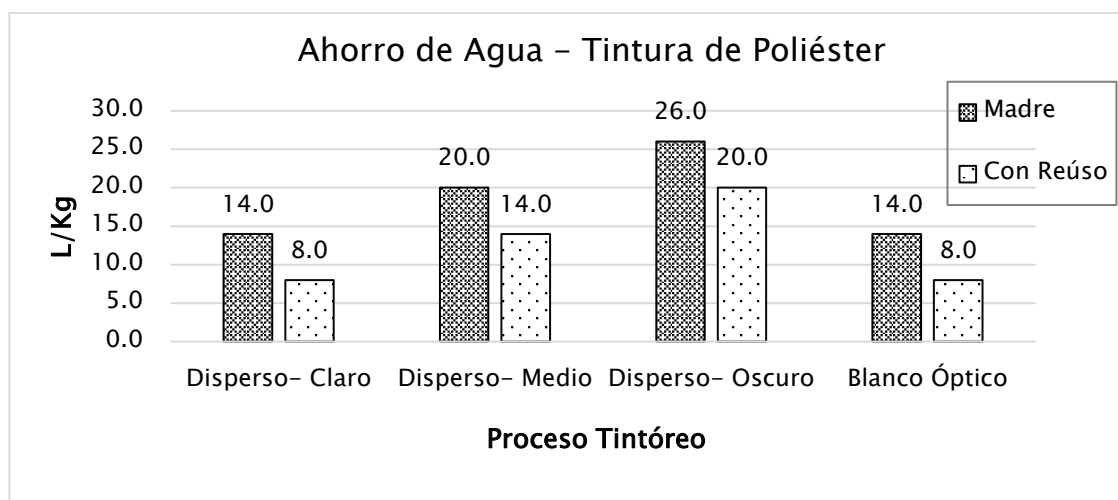
Proceso	Absorción de fibra	Madre		Con Reúso		Ahorro	
		# baños	L/kg	# baños	L/kg	L/kg	%
Disperso- Claro	200%	2	14,0	2	8,0	6,0	42,9%
Disperso- Medio	200%	3	20,0	3	14,0	6,0	30,0%
Disperso- Oscuro	200%	4	26,0	4	20,0	6,0	23,1%
Blanco Óptico	200%	2	14,0	2	8,0	6,0	42,9%
Subtotal Poliéster		11	74,0	11	50,0	24,0	32,4%
Reactivo- Claro	350%	8	39,5	8	35,0	4,5	11,4%
Reactivo- Medio	350%	9	44,0	9	39,5	4,5	10,2%
Reactivo- Oscuro	350%	10	48,5	10	44,0	4,5	9,3%
Blanco Óptico	350%	3	17,0	3	12,5	4,5	26,5%
Subtotal Algodón		30	149,0	30	131,0	18,0	12,1%
TOTAL		41	223,0	41	181,0	42	18,8%

Nota: Cálculo en base a relación de baño 1/8 empleada en los teñidos.

La Figura 51 muestra la diferencia del consumo de agua con baño madre y con reúso para la tintura de fibra poliéster.

Figura 51

Ahorro de agua de los teñidos de tejidos poliéster con baños reutilizados

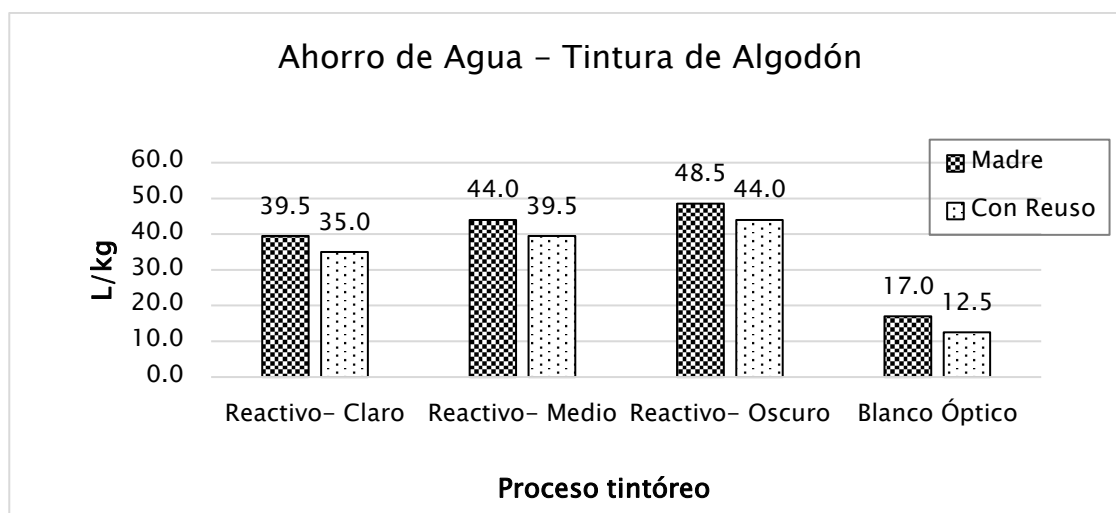


El mayor ahorro corresponde a 6 L/kg que equivale a 43% para el color claro y el óptico ya que sus procesos sólo tienen 2 baños. El ahorro promedio del agua para tinturas de poliéster es 32,4% tal como se muestra en la Tabla 38, a medida que aumenta el número de baños de todos los procesos tintóreos, es decir considerando la tintura, enjuagues y lavados reductivos según el color, el porcentaje de ahorro disminuye. Si se calcula el ahorro sólo considerando el baño de tintura se obtiene un ahorro promedio de 80,5% que como se explicó en la parte experimental está determinado por el volumen recuperado, el cual es afectado por el tipo de maquinaria y estructura del tejido.

El consumo de agua con baño madre y con baño de reuso para la tintura de algodón se muestra en la Figura 52.

Figura 52

Ahorro de agua de los teñidos de tejidos de algodón con baños reutilizados



4.2.3 Ahorro de Insumos por Reutilización

Las recetas costeadas de cada uno de los colores teñidos con baño madre y con baño de reuso para tejidos de poliéster y de algodón se muestran en la Tabla 39. Los colores claros

y ópticos son los que presentan mayor ahorro. Se obtiene 10,64% de ahorro promedio de insumos para la tintura de poliéster y de 18,39% para el algodón.

Tabla 39

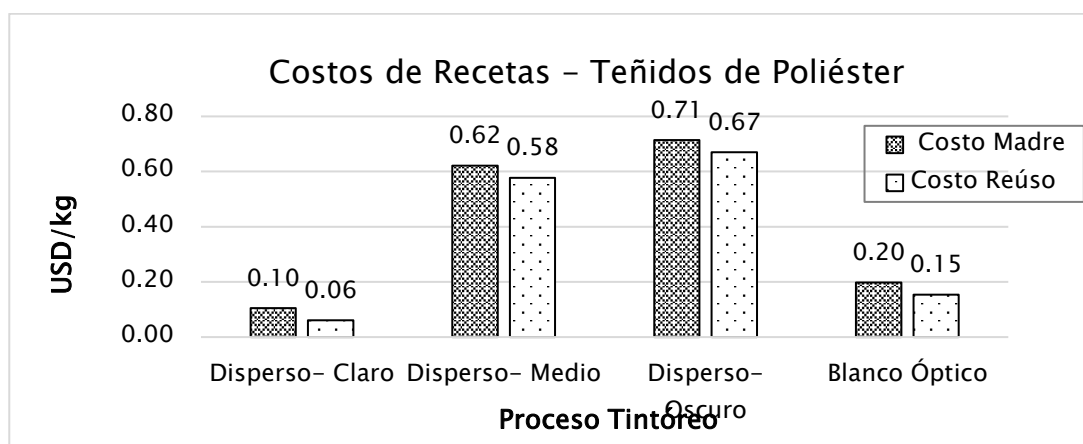
Ahorro de insumos en los teñidos a relación de baño 1/8

Proceso	Costo Madre USD/kg	Costo Reúso USD/kg	Ahorro USD/kg	% Ahorro
Disperso- Claro	0,10	0,06	0,04	41,72%
Disperso- Medio	0,62	0,58	0,04	7,02%
Disperso- Oscuro	0,71	0,67	0,04	6,10%
Blanco Óptico	0,20	0,15	0,04	22,05%
Subtotal Poliéster	1,64	1,46	0,17	10,64%
Reactivo- Claro	0,24	0,17	0,07	29,08%
Reactivo- Medio	0,47	0,38	0,09	18,55%
Reactivo- Oscuro	0,88	0,75	0,12	14,04%
Blanco Óptico	0,21	0,16	0,05	24,22%
Subtotal Algodón	1,79	1,46	0,33	18,39%
TOTAL	3,43	2,92	0,50	14,69%

En la Figura 53 se muestra los costos comparativos de las recetas de teñido con baño madre y de reúso para cada color en tejidos de poliéster con colorantes dispersos.

Figura 53

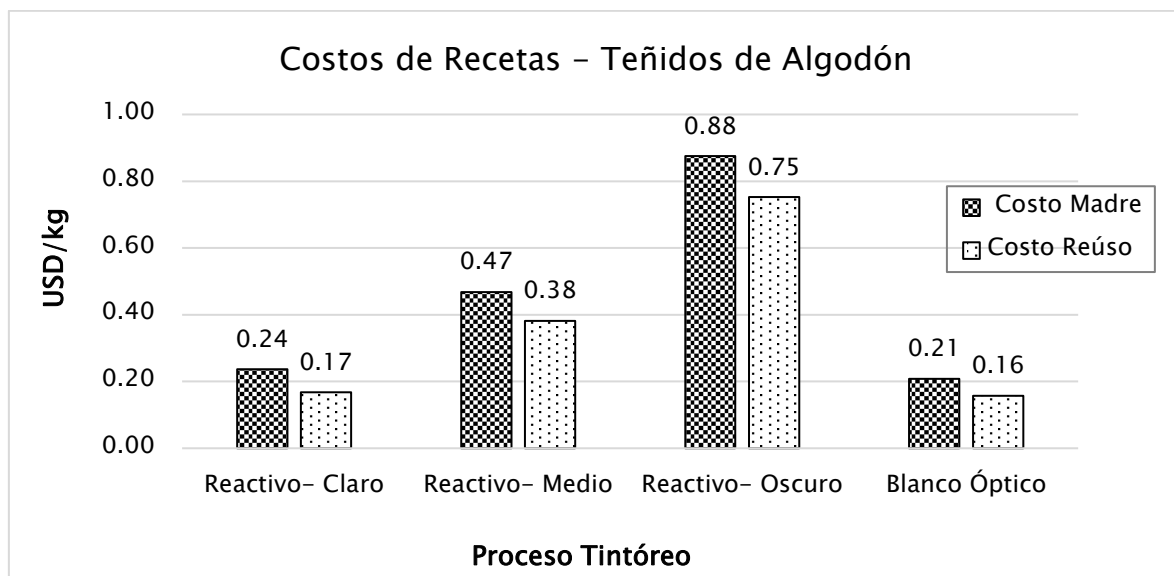
Ahorro de insumos en teñidos de poliéster con baños reutilizados



En la Figura 54 se muestran los costos comparativos de las recetas de teñido con baño madre y de reúso para cada color en algodón con colorantes reactivos. El ahorro obtenido se debe al cloruro de sodio o sal y a los auxiliares de tintura.

Figura 54

Ahorro de insumos en teñidos de algodón con baños reutilizados



4.3 Reciclaje de los Efluentes Textiles

Se obtuvieron los siguientes resultados para cada indicador de la dimensión Reciclaje.

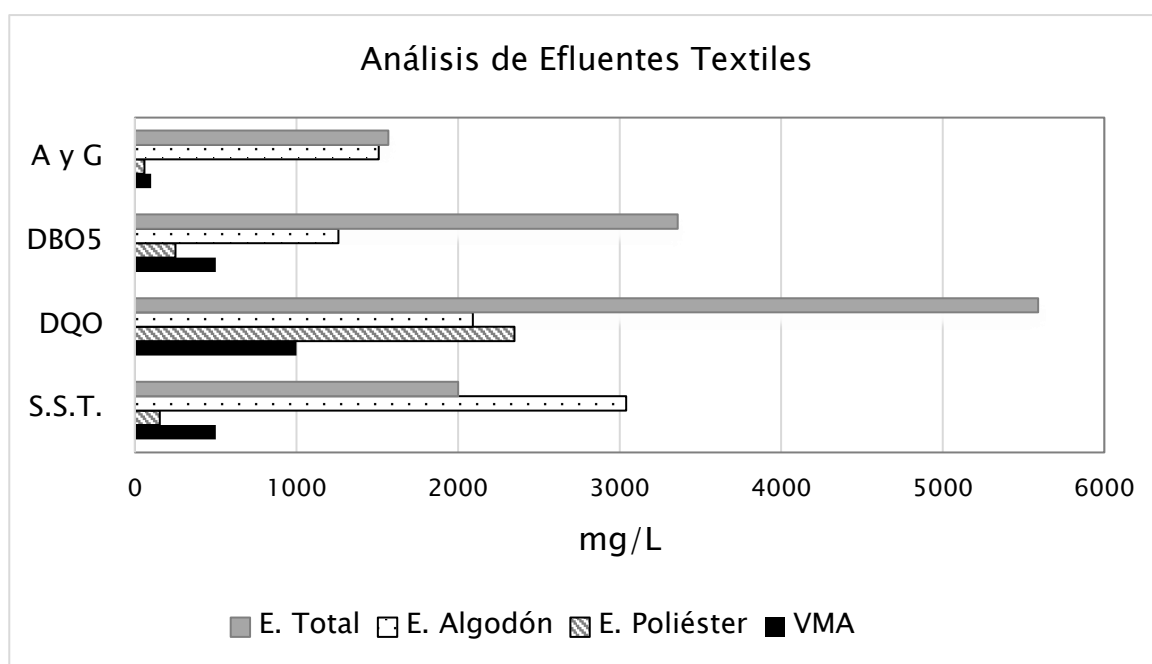
4.3.1 Carga Contaminante de los efluentes

Los resultados del análisis del efluente de los procesos de tintura de los tejidos de poliéster muestran dos valores fuera del rango: el pH de 10,1 y la DQO con 2348,57 mg/L, siendo el valor máximo admisible 1000 mg/L. La relación DBO/DBO₅ es 9,4 que corresponde a un efluente con materia orgánica poco biodegradable. El DBO₅ y los SST si cumplen con la normativa peruana de descarga de aguas no domésticas al alcantarillado.

Para el efluente proveniente de los procesos tintóreos de algodón todos los resultados están fuera de rango. Sin embargo, la relación DBO/DBO₅ es 1,7 que corresponde a un efluente biodegradable, diferente al efluente proveniente de tinturas de poliéster. Para la mezcla de efluentes ocurre lo mismo. En la Figura 55 se muestra la comparación de los efluentes textiles producidos versus los VMA.

Figura 55

Análisis de los efluentes textiles generados



Nota. E significa Efluente y VMA es Valores Máximos Admisibles.

De acuerdo con los resultados de la carga contaminante de los efluentes textiles separados y mezclados, se confirma que éstos deben de tratarse antes de liberarlos hacia el alcantarillado a fin de cumplir con la normativa peruana de descargas no domésticas.

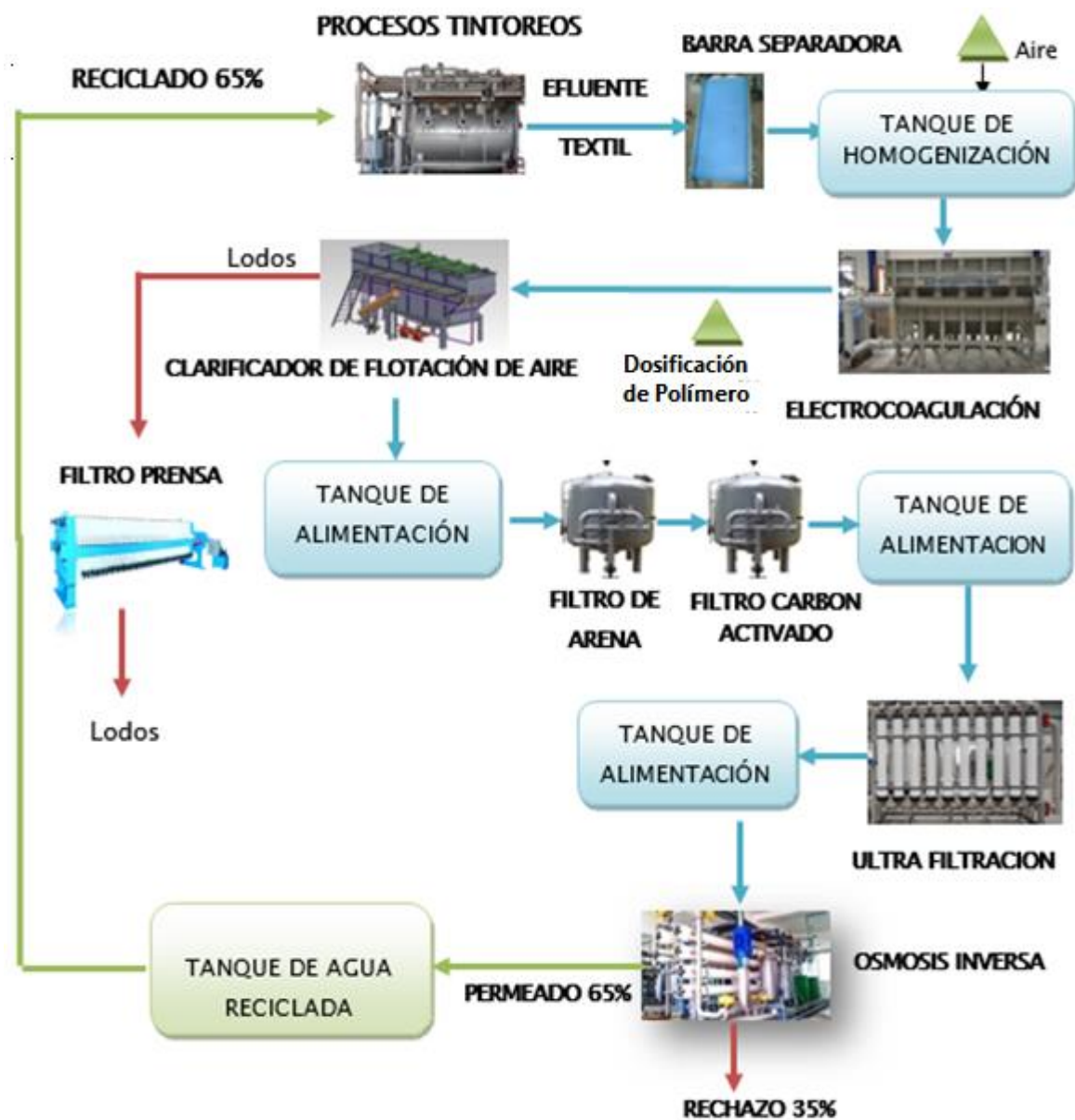
4.3.1 Inversión

La propuesta del tratamiento con electrocoagulación (EC) con 65%-70% de reciclado tiene un menor costo de inversión que la planta de tratamiento Biológico en un

44%. A pesar de tener un costo operativo mayor en energía de 50% y además del costo por la disposición final de los lodos generados. Adicionalmente, se requiere una menor área y volumen que el tratamiento biológico. En la Figura 56 se muestra el proceso completo.

Figura 56

Tratamiento de Efluentes con EC, filtración, ultrafiltración y osmosis inversa



Nota. Diseñado por la empresa Confident

V. Discusión de Resultados

A continuación, se presentan la discusión de resultados de los indicadores de cada dimensión: Reducción, reutilización y reciclaje de acuerdo con los tres objetivos específicos.

5.1 Objetivo Específico Reducción

El objetivo de proponer la reducción del consumo de agua usada en los diversos procesos tintóreos se consiguió de acuerdo con los indicadores de la dimensión reducción.

El consumo de agua promedio obtenido para la empresa textil de algodón fue de 103 L/kg. Este dato se encuentra en el límite superior del consumo mencionado por Castells (2012) para el caso del algodón era de 50 a 120 L/kg.

Se obtuvo un ahorro de agua por disminución de la relación de baño bajando un punto sin riesgos de calidad del producto textil teñido de 1/10 a 1/9 consiguiendo un ahorro de 13,7% de agua en el teñido de color oscuro para algodón y 11,8% en el teñido de poliéster con colorantes dispersos. Hinojosa (2018) sostiene que la relación de baño es un factor fundamental en los sistemas de tintura por agotamiento, no sólo en el aspecto de la igualación sino de la reproducibilidad de tono.

Proyectando la disminución de la relación de baño de 1/10 a 1/9 para la empresa textil de algodón se obtiene un ahorro en el consumo de agua de 103 a 89 L/kg sin afectar la calidad de los textiles teñidos y sin inversión.

5.2 Objetivo Específico Reutilización

Para el objetivo de reutilización de baños se consiguió textiles teñidos con calidad, ahorro de agua e insumos que se pasan a discutir a continuación.

El uso de baños reutilizados de las tinturas en nuevas tinturas no afecta el atributo color de las tinturas sucesivas en los tejidos de fibras de poliéster, estando todos los

resultados debajo de la tolerancia comercial y siendo el DE CMC promedio más elevado 0,44 para el color gris medio de reconocida dificultad en su teñido y reproducibilidad.

Se debe destacar que el trabajo experimental de este estudio en las tinturas de poliéster tuvo como fortalezas: Primero, al seguimiento estricto de las curvas de procesos tintóreos programadas y ejecutadas en máquina de teñido de última generación ECO DYER, con agitación de 50 rpm para su igualación. Segundo, al uso dispersiones de cada colorante previamente agitadas por 10 minutos en un agitador magnético para evitar la precipitación de la dispersión y así para tener precisión en el pipeteo del volumen en mL de cada componente de la tricromía. Tercero, al uso de baja relación de baño 1/8 y al peso del tejido de poliéster de 10 gramos. Por último, al uso generalizado del producto auxiliar Compound PES que es una mezcla de dispersante, igualante y tampón que asegura que el pH ácido del proceso de tintura se mantenga de inicio a fin y así asegurar el tono de la tintura y con eso garantizar su reproducibilidad que se observa en los resultados.

Por otro lado, en la investigación de Agudelo, Lis, Valldeperas & Navarro (2006) donde estudiaron la cinética de las reutilizaciones de las tinturas de un colorante disperso con color Index Azul Disperso 56, se tiñeron 5 gramos de microfibras de poliéster, a una relación de baño 1/20 y se utilizó como auxiliar dispersante Univadine DIF. Concluyeron que había una disminución en la concentración del colorante en el tejido y el agotamiento de éste al final del proceso tintóreo, pero también mencionaron que se debía hacer estudios adicionales con otros colorantes dispersos y recién así poder generalizar los fenómenos involucrados en la reutilización de los baños de tintura de poliéster. Es decir, las diferencias respecto al estudio planteado en la presente tesis han sido el emplear una menor relación de baño, un mayor peso del material textil y el uso de un auxiliar que no sólo iguale o disperse sino también mantenga el pH del baño de teñido para asegurar y obtener mejores resultados

de reproducibilidad del color. Todo esto sin incluir el tema de agitación y control térmico dado por la moderna máquina de tintura utilizada.

La metodología empleada en los teñidos de los tejidos de algodón ha contribuido a la reproducibilidad del color obtenida. Destaca el uso de la relación de baño 1/8, peso de tejido de algodón blanqueado de 10 gramos, curva de teñido isotérmica a 60°C con enjuagues, neutralizados y jabonados programados y ejecutados con una agitación mecánica de 50 rpm en la máquina de teñido ECO DYER, pipeteo correcto de las soluciones de cada colorante reactivo componente de la tricromía, del secuestrante y de los químicos empleados según receta de cada color, y por último, los controles de pH al inicio y al final de la tintura permiten asegurar la reproducibilidad del color entre carga y carga.

En el estudio realizado por Raheel & Edgcomb (1997), profesores de ciencias textiles en la Universidad de Illinois, concluyeron que un problema por resolver era la reproducibilidad del color con colorantes reactivos individuales y creían que se debía profundizar el tema con el uso de nuevos productos auxiliares. Ellos realizaron las tinturas y sus reúsos a una relación de baño 1/20, es decir, existe una diferencia de 12 puntos respecto a la empleada en la parte experimental de la presente tesis. En el baño alcalino de la tintura con colorantes reactivos los grupos OH de la celulosa reaccionan con el carbono electrófilo del colorante, pero al mismo tiempo ocurre una reacción secundaria con los OH del agua y es lo que se conoce como colorante hidrolizado (Vilaseca, 2015, p14). Por lo tanto, esto se incrementa con una relación de baño más alta, como 1/20, debido a que hay más grupos OH de agua en el baño de teñido ocasionando tonos menos intensos o colores fuera de tono. Es así como “La relación de baño es un factor fundamental en los sistemas de tintura por agotamiento, no sólo en el aspecto de la igualación sino de la reproducibilidad de tono” (Hinojosa, 2018, p. 16).

Por su parte el estudio realizado en España de Lopez-Grimau, Amante y Gutierrez (2010), se trabajaron las reutilizaciones de tinturas a relación de baño 1/10 con colorantes reactivos individuales y en tricromías. Para esto se usó agua residual decolorada en célula electroquímica con luz Ultravioleta con la cual obtuvieron altas diferencias de color con respecto a las tinturas madres y las tinturas de reuso presentaban pérdida de intensidad del color y recomendaron el incremento del colorante: 30% para el azul, 10% para el magenta y 20% para las tricromías; en cambio el colorante amarillo se podía reutilizar directamente en presencia de cloruro de sodio. En este caso existe una diferencia solo de 2 puntos hacia arriba respecto a la relación de baño usada empleada en la parte experimental de esta tesis. Por lo tanto, la diferencia básica radica en que los baños de reuso fueron decolorados previamente y no reusados directamente previa reconstrucción.

De acuerdo a Hasan *et al.* (2016) sobre el consumo de agua en los procesos tintóreos indican que para la tintura se consume el 13% del total de agua usada en una tintorería. Según Lopez-Grimau, Amante & Gutierrez (2010), el proceso de reutilización permite un ahorro de un 70% de agua. En la presente investigación el ahorro de agua total fue 12,1% para tinturas de algodón según lo mostrado en Tabla 38. Sin embargo, la diferencia básica radica en que no solo se considera el ahorro agua en el propio baño de tintura, que como se vio en la parte experimental, sí se obtuvo un ahorro promedio de 62% para el algodón, sino que se ha calculado el ahorro en base a todos los procesos tintóreos que están involucrados en el teñido de un color, es decir, desde el tratamiento previo, tintura, enjuagues hasta sus jabonados.

Se consigue un 10,64% de ahorro promedio de insumos para la tintura de poliéster y de 18,39% para el algodón. En la tintura de poliéster con baños reutilizados el ahorro de insumos se debe al único producto auxiliar empleado Compound PES, el cual es dispersante,

igualante y tampón. Este producto está presente con la misma concentración inicial en el baño residual de teñido. Para la reconstrucción sólo se calcula la cantidad de este producto para los litros de agua fresca que se agreguen. Esto es refrendado por Agudelo *et al.* (2006) que manifiestan que los productos auxiliares y químicos usados en la tintura, en su mayoría, no sufren alteración de su concentración al final de esta.

De acuerdo con Lopez-Grimau, Amante & Gutierrez (2010), el proceso de reutilización permite un ahorro del 60% de sal en la tintura de tejidos de algodón con colorantes reactivos. Este resultado coincide al obtenido en esta investigación y que se muestra en las recetas de cada teñido reactivo para algodón donde al reusarse 45 mL de agua se obtiene un ahorro de 56,25% de Cloruro de sodio.

Karim *et al.* (2020) en su estudio sobre reutilización de baños de tinturas de algodón con colorantes reactivos concluyeron que se podía ahorrar alrededor de un 20% en productos químicos y colorantes. Esto coincide con el 18,39% de ahorro promedio en tinturas de algodón que se obtuvo en esta investigación y se aprecia en la Tabla 39. La diferencia esta que en nuestro caso el ahorro es por productos químicos y auxiliares ya que la receta de colorante se mantuvo igual.

5.3 Objetivo Específico Reciclado

Para el objetivo de proponer un sistema de tratamiento de los efluentes textiles que permita el reciclar el agua de los procesos tintóreos se midieron dos indicadores.

Para el primer indicador confirma que el análisis de la carga contaminante de los efluentes textiles de algodón, poliéster y mezclados deben de tratarse antes de liberarlos hacia el alcantarillado a fin de cumplir con la normativa peruana de descargas no domésticas. En el caso del efluente proveniente de los procesos tintóreos de algodón todos los resultados están fuera de rango y superan los valores máximos admisibles del D.S 021-2009-

VIVIENDA. Esto está de acuerdo con lo sostenido por Ghaly *et al.* (2014) que indican que los efluentes textiles contienen altas cantidades de agentes que causan daños al medio ambiente y la salud humana, incluidos los sólidos suspendidos y disueltos, DBO, DQO, olor y el color. Asimismo, Savin & Butnau (2008) afirmaron que cuando analizaron la carga contaminante de los efluentes en una fábrica textil de algodón en Rumanía encontraron que la DQO superaba el VMA (500 ppm) en todos los sectores analizados de la planta textil.

Por lo tanto, para el segundo indicador donde se evalúa la propuesta de la inversión de la planta de tratamiento de las aguas residuales se encontró que con el tratamiento de electrocoagulación (EC) con 65%-70% de reciclado se tiene un 44% menos costo de inversión que la planta de tratamiento biológico. A pesar de tener un costo operativo mayor en energía de 50% y además del costo por la disposición final de los lodos generados. La decisión se basa en la limitación de no contar con un área y volumen para el tratamiento biológico, y de la posibilidad de tener la planta de Electrocoagulación compacta en dos o tres pisos. Esto se justifica debido a que la mayoría de las empresas textiles cuando se construyeron no proyectaron un área libre disponible como la que requiere el sistema de tratamiento biológico.

5.4. Objetivo General

Por los resultados obtenidos con las técnicas, instrumentos usados, indicadores mostrados para cada dimensión y resultados discutidos corroborados con otros estudios realizados y también con el fundamento teórico, se demuestra que la hipótesis de la investigación es válida y por tanto el objetivo general se consigue mediante la propuesta de la estrategia ambiental de las 3 R de reducción, reutilización y reciclaje para la gestión de los efluentes textiles provenientes de los procesos tintóreos.

VI. Conclusiones

- El consumo de agua se reduce con la disminución de la relación de baño en 1 punto sin ninguna inversión y sin afectar la calidad de los textiles teñidos.
- La reutilización directa de baños de tintura previa su reconstrucción es posible, y generan nuevos textiles teñidos con:
 - Valores de diferencia de color DE CMC (2:1) promedio por debajo de la tolerancia comercial máxima de 1,0 aceptada en el control de calidad en la industria textil.
 - El ahorro de agua promedio de 32,4% y 12,1% para tinturas de poliéster y algodón respectivamente.
 - Ahorro promedio en insumos para tinturas de poliéster de 10,64% y para el algodón de 18,39%.
- Se comprobó que los efluentes textiles tienen alta carga contaminante y es necesario invertir en una planta de tratamiento con la que inicialmente se alcance los valores máximos admisibles de descarga de la normativa peruana y posteriormente una segunda inversión para reciclar el 65% - 70 % del agua tratada.
- Por lo tanto, el uso de una estrategia ambiental 3R aplicada a los efluentes textiles provenientes de los procesos tintóreos es viable disminuirá el consumo de agua, la carga contaminante y permitirá ahorros económicos significativos.
- El presente trabajo permite ofrecer una alternativa a las empresas para ser más responsables ambientalmente en el rubro agua y ser competitivas sobre todo para los exportadores ya que las marcas internacionales eligen a las plantas de producción que tengan la capacidad de gestionar de mejor manera los efluentes textiles.

VII. Recomendaciones

- Aplicar la estrategia ambiental 3R en plantas de tintorerías empezando con la primera R de reducción conociendo su consumo de agua y aplicando disminución de la relación de baño. Continuar con reutilización de los baños de tintura empezando por máquinas de menor carga para adecuar el procedimiento. Por último, para reciclar invertir en una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Tomar de base este estudio de la segunda R para identificar y segregar otros los flujos o baños que puedan reutilizarse directamente ya que según Hasan *et al.* (2016) en la Figura 2 expone que el mayor consumo de agua en los procesos tintóreos radica en varias operaciones de lavados con un 73% del total.
- Profundizar el estudio en el reúso cruzado y directo de los baños de enjuagues en los diversos procesos tintóreos ya que se hicieron algunas pruebas en el presente trabajo que mostraron resultados satisfactorios con el uso de baños de enjuague.
- Abordar en nuevas investigaciones la cuarta R, reemplazar, con una correcta evaluación de los productos auxiliares usados y se pueda implementar el uso de alternativas más limpias.

VIII. Referencias

- Agudelo García, C. A., Lis Arias, M. J., Valdeperas Morell, J., & Navarro Viciana, J. A. (2006). Tintura en baños de reutilización directa: microfibras de poliéster con colorantes dispersos. (I. d. Industrial, Ed.) *Boletín INTERTEX (UPC)*, 129, 13-20. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099/4753>
- Alvarado, K. (2018). *Influencia del uso de Lemna Minor en el tratamiento de la contaminación orgánica de los efluentes industriales de COTEXSUR, Lurín, 2017*. [Tesis de Maestría], Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería, Huánuco. Obtenido de <http://200.37.135.58/handle/123456789/1499>
- Ammayappan, A., Jose, S., & Arputha Raj, A. (2016). Sustainable Production Processes in Textile Dyeing. En G. M. Muthu S. (Ed.), *Green Fashion: Vol. 2 (Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes)* (1 ed., Vol. 2, págs. 185-216). Singapore: Springer Science+Business Media Singapore. doi:10.1007/978-981-10-0111-6_8
- Broadbent, A. D. (2001). *Basic Principles of Textile Coloration*. (K. Thanet Press Ltd, Ed.) Bradford, West Yorkshire, England: Society of Dyers and Colourists.
- Buscio, V. (2015). *Tratamiento y reutilización de efluentes de la industria textil mediante técnicas de membranas*. [Tesis Doctoral], Universidad Politécnica de Cataluña, Ingeniería Textil y Papelera, Terrassa. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/96008>
- Cahueñas, D. (2008). *Aplicación de Producción Más Limpia en una Industria Textil*. [Tesis de pregrado], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1698>

- Calderon, F., & Olortico, S. (2019). *Proceso Foto-Fenton para la degradación de color del efluente de la industria textil*. [Tesis de pregrado], Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química, Huancayo. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5344>
- Castells, X. E. (2012). Impactos Ambientales y Energía. En *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Cegarra, J. (1997). *Fundamentos y Tecnología del Blanqueo de Materias Textiles*. (U. P. Catalunya, Ed.) Barcelona, Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Cegarra, J., Puente, P., & Valldeperas, J. (1981). *Fundamentos Científicos y Aplicados de la Tintura de Materias Textiles*. Terrassa, Cataluña: Universidad Politécnica de Barcelona.
- Choque Huisa , M. (2019). *Tratamiento de Aguas Residuales en la Industria Textil por el Método de Electrocoagulación*. [Tesis de pregrado], Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10499>
- De Anda, L. (13 de marzo de 2017). *Las 3R's (y el plus) de las aguas residuales: Gestionando un proyecto a futuro*. Obtenido de www.iagua.es : <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/3r-aguas-residuales-nueva-opportunidad-futuro>
- Díaz, N. (2018). *Diagnóstico y Propuestas de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa textil ubicada en el Distrito Metropolitano de Quito*. [Tesis de Maestría], Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Quito. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2889>

- Dyes and Pigments. (2010). *Textile Dyes*. Kolorjet Chemicals Pvt Ltd.
- Espejo, C. E., & Gomez, C. J. (2017). *Mejora del proceso de teñido mediante la reutilización de los baños de agua en el área de tintorería en la empresa textil la merced s.a. en el marco de la producción mas limpia*. [Tesis de pregrado], Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Lima. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12457>
- Ghaly, A., Ananthashankar, R., Alhattab , M., & Ram, V. V. (2014). Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. *Chemical Engineering & Process Technology*, 5(1), 18. doi:<http://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000182>
- Gilpavas, E., Arbeláez, P., Medina, J., & Gómez, C. (2018). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos Fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.*, 34(1), 157-167. doi:DOI: 10.20937/RICA.2018.34.01.14
- Gosavi , V., & Sharma, S. (2013). A General Review on Various Treatment Methods for Textile Wastewater. *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*, 3(1), 029-039. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/259695038>
- Guamán, A. (2014). *Gestión ambiental en la empresa Lavandería y Tintorería de jeans "Mundo Color y su incidencia en el recurso agua*. [Tesis de Maestría], Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización, Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6983>

- Hasan, K., Mia, S., Jahid, A., Ashaduzzaman, Mueeid, A., & Xu, W. (2016). Implementation & Performance analysis of Effluent treatment plant for waste watertreatment in the dyeing textile industries. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(6), 449-461. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/306396432_Implementation_Performance_analysis_of_Effluent_treatment_plant_for_waste_water_treatment_in_the_dyeing_textile_industries
- Hasanbeigi, A., & Price, L. (2012). A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3648-3665. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.029>
- Hinojosa, B. F. (2018). *Estudio Técnico y Económico de un Proceso de Tintura, Respetuoso con el Medio Ambiente ECOFINISH, sobre Productos Textiles Confeccionados*. [Tesis de maestría], Universidad Politecnica de Valencia, Departamento de ingeniería Textil y Papelera, Valencia. Recuperado el 16 de agosto de 2020, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94895/HINOJOSA%20-%20Estudio%20t%c3%a9cnico%20y%20econ%c3%b3mico%20de%20un%20proceso%20de%20tintura%2c%20respetuoso%20con%20el%20medioambiente%20...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Karim, M., Islam, T., Dutta, S., Hossain, A., & Bain, S. (2020). Reuse of dye effluents into the fresh batch dyeing with the variation of chemicals and dye percentages. *Indian Journal of Science and Technology*, 13(16), 1693-1701. doi:<https://doi.org/10.17485/IJST/v13i16.254>
- Kehinde, F., & Aziz, H. (2014). Textile Waste Water and the advanced Oxidative Treatment Process, an Overview. *International Journal of Innovative Research in Science*,

Engineering and Technology, 3(8), 15310-15317.

doi:10.15680/IJIRSET.2014.0308034

Lopez-Grimau, V., & Crespi Rosell, M. (2015). *Gestión de los efluentes de la industria textil*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI.

Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/87574>

Lopez-Grimau, V., Amante, B., & Gutierrez, M. (2010). Estudio de viabilidad de la reutilización de baños de tinte textil. *Afinidad*, 547, 182-186. Obtenido de

<https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/269140>

Melgarejo, J. (2019). Agua y la Economía Circular. *Congreso Nacional Agua 2019: Innovación y Sostenibilidad* (págs. 27-52). Orihuela: Instituto del Agua y de las

Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante. Recuperado el 31 de Marzo de 2019, de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/88467>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (20 de Noviembre de 2009). Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. *Normas Legales*. Lima, Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (10 de Enero de 2015). Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA. *Normas Legales*. Lima, Lima, Perú. Obtenido

de <http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/documentos/DS-001-2015-VIVIENDA.pdf>

Ministerio del Ambiente de Japón. (04 de 2005). *The 3R Initiative*. Recuperado el 31 de 03 de 2019, de <http://www.env.go.jp/recycle/3r/en/outline.html>

Morrison, R., & Boyd, R. (1998). *Química Orgánica* (5ta ed.). México: Addison Wesley Longman de México.

- Naciones Unidas. (1992). Programa 21. *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Recuperado el 14 de abril de 2019, de <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo*. Resolución, Nueva York. Recuperado el 10 de 08 de 2020, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Nawaz, M. S., & Ashan, M. (2014). Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. (A. Faculty of Engineering, Ed.) *Alexandria Engineering Journal*, 53(03), 717–722. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.06.007>
- Nourmoradi , H., Rahmati , Z., Javaheri , M., & Moradnejadi , K. (2016). Effect of Praestol as a coagulant-aid to improve coagulation-flocculation in dye containing wastewaters. *Global NEST Journal*, 18(1), 38-46. Obtenido de http://journal.gnest.org/sites/default/files/Submissions/gnest_01738/gnest_01738_proof.pdf
- OEFA, O. d. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Recuperado el 14 de abril de 2019, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Pardavé Livia, W. (2007). *Estrategias ambientales de las 3R a las 10R*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
- Pelaez, M., & Hernández, S. (8,9 y 10 de mayo de 2019). Accionando las 3R. Propuesta de educación ambiental. *V Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación*. Obtenido de <http://jornadasceyn.fahce.unlp.edu.ar>

Pey, J. (2008). *Aplicación de procesos de oxidación avanzada (Fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles*. [Tesis Doctoral], Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Valencia. doi:doi:10.4995/Thesis/10251/2241.

Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2014). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2014: Agua y Energía*. París: UNESCO.

Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2017). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2017: Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. ONU. París: UNESCO.

Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2018). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París: UNESCO.

Raheel, M., & Edgcomb, P. (1997). Recomposición y reutilización de baños de tintura en la tintura de algodón con colorantes reactivos y directos. *Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*(112), 21-30. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/6431>

Raju, M., Pramila, J., Kavitha , E., Nithya , D., Hema Mala , G., & Tarun , M. (2014). Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: A state of the art review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*(4), 296-299. Obtenido de <https://pdfslide.net/documents/remediation-of-textile-effluents-by-membrane-based-treatment-issue4jchps-101.html>

- Romero López, T., Rodríguez Fiallo, H., & Masó Mosqueda, A. (2016). Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(03), 46-58. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000300004&lng=es&tlng=es.
- Rosi, O. L., Casarci, M., Mattioli, D., & De Florio, L. (2007). Best available technique for water reuse in textile SMEs (BATTLE LIFE Project). *Desalination*, 206, 614-619. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.06.010>
- Saini, R. (2017). Textile Organic Dyes: Polluting effects and Elimination Methods from Textile Waste Water. *International Journal of Chemical Engineering Research*, 9(1), 121-136. Obtenido de <http://www.ripublication.com/>
- Salem, V. (2010). *Tingimento Textil: Fibras, conceitos e tecnologias*. (E. B. Ltda, Ed.) Sao Paulo, Brasil: Golden Tecnologia.
- Savin, I. I., & Butnaru, R. (2008). Wastewater characteristics in textile finishing mills. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(6), 859-864. Obtenido de http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol7/no6/42_Irina%20Savin.pdf
- Selcuk, H. (2005). Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. *Dyes and Pigments*, 64(3), 217-222. doi:DOI: 10.1016/j.dyepig.2004.03.020
- Tinoco, O., Medina, A., & Zapata, H. (2011). Tratamiento de efluentes texties con luz ultravioleta solar. *Industrial Data*, vol. 14(núm. 2), pp. 9-15. Recuperado el 24 de marzo de 2019, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81622585002>
- Torres, M. A. (2010). *Electroquímica, UV i altres tècniques aplicades a la decoloració i reutilització d'efluents de tintura amb colorants reactius*. [Tesis Doctoral],

- Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Textil y Papel, Terrassa. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94431>
- Valdeperas Morell, J., Lis Arias, M., & Navarro Viciana, J. (2013). *España Patente n° ES 2 424 902*.
- Valdeperas, J., & Sánchez, J. (2005). *Problemas de tintorería*. Sao Paulo, Brasil: Golden Química de Brasil.
- Verma, A., Dash, R., & Bhunia, P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal Environmental Management*, 93(1), 154-168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.012>
- Vilaseca, M. (2015). *Eliminación del color de las aguas residuales procedentes de la tintura con colorantes reactivos*. [Tesis Doctoral], Universidad Politécnica de Catalunya, Departamento de Ingeniería Textil y Papel, Terrassa. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/95783>
- Zahrim, A., Tizaoui, C., & Hilal, N. (2011). Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. *Desalination*, 266(1-3), 1-16. doi:DOI: 10.1016/j.desal.2010.08.012

IX. Anexos

ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores
¿Cómo se puede establecer una gestión de los efluentes textiles generados por los procesos tintóreos?	Proponer una estrategia ambiental para la gestión los efluentes textiles generados por los procesos tintóreos que disminuya la carga contaminante y permita ahorros económicos.	Es posible una estrategia ambiental con las 3 R para la gestión de los efluentes textiles provenientes de los procesos tintóreos que permita la disminución del consumo de agua, carga contaminante y ahorros económicos significativos	Vi: Gestión de los efluentes textiles Vd: Procesos Tintóreos	Caracterización Físicoquímica.	Temperatura pH Volumen
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Nula		Dimensiones	Indicadores
¿De qué manera es posible la reducción del consumo de agua y de insumos contaminantes usados en los procesos tintóreos?	Proponer y calcular la reducción del consumo de agua y de insumos usados en los procesos tintóreos.	No es posible una estrategia ambiental con las 3 R para la gestión de los efluentes textiles provenientes de los procesos tintóreos que permita la disminución del consumo de agua, carga contaminante y ahorros económicos significativos		Reducción	-Consumo de agua -Ahorro de agua
¿De qué manera se puede establecer la reutilización de las aguas provenientes de los procesos tintóreos?	Analizar los baños efluentes de los procesos tintóreos, caracterizarlos, reconstruirlos y proponer la reutilización en los mismos.			Reutilización	-Calidad de los tejidos teñidos -Ahorro en agua -Ahorro en insumos
¿De qué manera es posible el reciclaje los efluentes textiles de los procesos tintóreos?	Proponer un sistema de tratamiento de los efluentes textiles que permita el reciclar el agua de los procesos tintóreos.			Reciclaje	-Carga Contaminante -Inversión

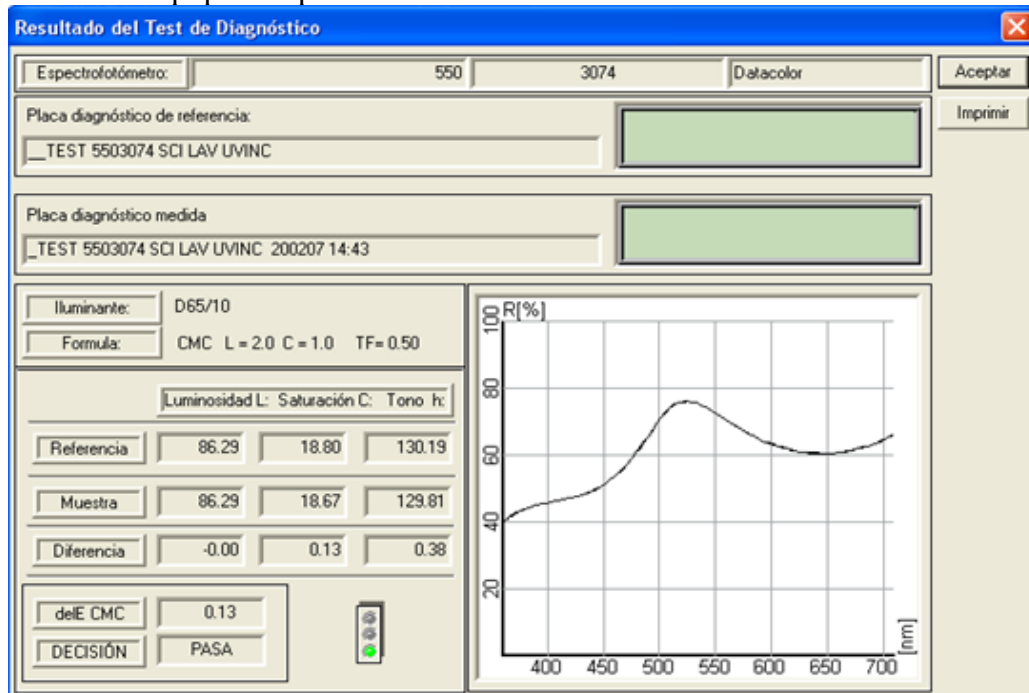
ANEXO II: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

1. Espectrofotómetro SF 550- Marca Datacolor- Número de serie 3074

Fecha: 07 de febrero 2020

Calibración del Espectro con placa blanca y negra:

Diagnóstico del equipo con placa verde:



Espectrofotómetro SF 550- Marca Datacolor- Número de serie 3074

Fecha: 18 de febrero 2020

Calibración del Espectro con placa blanca y negra:

Espectrofotómetro SF 550- Marca Datacolor- Número de serie 3074

Fecha: 18 de febrero 2020

Calibración del Espectro con placa blanca y negra:

Calibración

Especularidad

- Incluida
- Excluida
- Brillo

Apertura

- Grande
- Pequeña
- Ultra Pequeña
- Extra Ultra Pequeña

Filtro UV

- OFF (UV incluido)
- Filtro FL40 (0% UV)
- Filtro FL42
- Filtro FL46
- UV D65/10 (Ganz-Griesser) 68.00
- UV D65/10 (Blancura CIE)
- UV C (Brillantez ISO)
- Calibrador 0.00

% de UV restante

Transmisión

Intervalo de tiempo entre calibraciones (horas): 8

Condiciones de LAV SAV

Hora de Calibración: 11:38 am 10:43 am

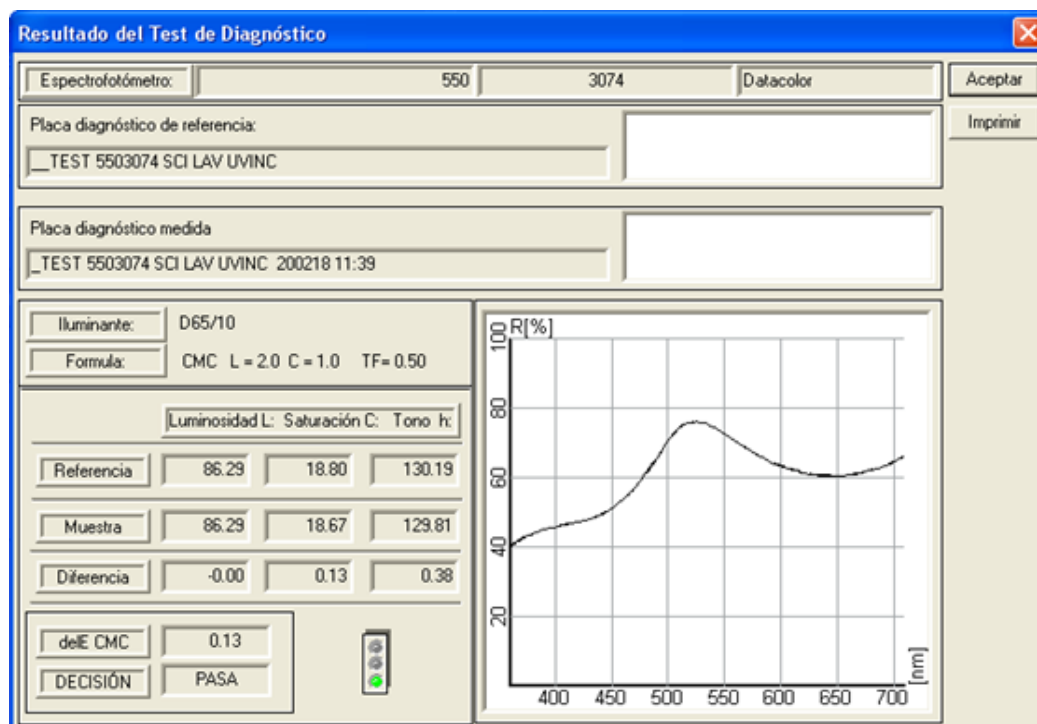
Calibrar

Cancelar


Blanco Abs.

Tabla de brillo...

Diagnóstico del equipo con placa verde:



2. pHmetro digital- Marca Hanna- Modelo HI98103-Número de serie H04140840



Instrument: HI98103
 S/N: H04140840
 Software version: v1.00
 Description: Checker - pH tester
 Made in: ROMANIA

Hanna Instruments certifies that this instrument has been produced, calibrated and tested to meet all applicable Hanna procedures, using standards and reference instruments, the accuracy of which is traceable to the National Institute of Standards (NIST) in the USA or to internationally acceptable national physical standards. The standards and reference instruments used in calibration and testing are supported by a calibration system which meets requirements of ISO9001.


The results are listed below: *


Calibration Points	Results
pH 7.01	Passed
pH 4.01	Passed

Testing Points	Reading Values [pH]
pH 4.01	4.0
pH 7.01	7.0
pH 10.01	10.0

* All the above measurements were done at 25°C with the current configuration.

Calibration, functionality test, aesthetic control and packing have been met.

Date: 2019-06-14 Inspector: Corina Pop
 Title: Engineer
 Signature: 



QC_HI98103_rev.0.1. / 22 page 1 of 1

Hanna Instruments Inc. 584 Park East Drive
 Woonsocket, RI 02895
www.hannainst.com



Soluciones buffer 4: para calibración del pHmetro digital



Soluciones buffer 7: para calibración del pHmetro digital



3. Balanza Analítica- Marca Sartorius- Modelo Entris 2241-15- Número de Serie 0038103551

 el mejor EQUIPO para su laboratorio					
<h2>CERTIFICADO DE GARANTÍA</h2>					
Fecha de emisión:		24/10/2019			
<p>KOSSODO SAC garantiza la calidad de este producto y repara en forma gratuita cualquier desperfecto de fabricación dentro del periodo de garantía bajo las condiciones descritas. El producto está garantizado a partir de la emisión del presente documento.</p>					
Datos del cliente					
Razón Social	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	RUC	20169004359		
Datos del producto					
Descripción	Marca	Modelo	Código	N° Serie	Historial N°
BALANZA ANALIT. 4DEC. 220G-0.1MG; CALIB. INTERNA	SARTORIUS	ENTRIS	ENTRIS2241-15	0038103551	SA02027
PERIODO:		12	MESES		
CONDICIONES BAJO LAS CUALES LA GARANTIA NO SE HARÁ EFECTIVA					
<ul style="list-style-type: none"> Sello de garantía y/o número de serie dañado, retirado o alterado. Desarme, reparación, revisión o alteración realizada por personal técnico no autorizado. Daños causados por negligencia y/o mal uso del equipo, o dar uso distinto a lo indicado en el manual de instrucciones. Conectar el equipo a una fuente de suministro con voltaje incorrecta, o fallas en la fuente de suministro eléctrico. Desgaste normal de componentes y piezas por efecto del uso. Daños ocasionados durante el almacenamiento, transporte o por manipulación inadecuada. Accesorios con tiempo de vida limitado, cuyas partes están expuestas a solventes, reactivos o muestras (electrodos, lámparas, resistencias, etc.). Instalar sin autorización de KOSSODO SAC (Aplicable a equipos que requieren personal técnico para su instalación). Mover o reinstalar los equipos de la ubicación inicial sin Autorización del área de servicio técnico de KOSSODO SAC (No aplicable a equipos a batería portátiles de bolsillo o de mesa). 					
RECOMENDACIONES PARA CUIDAR SU EQUIPO					
<ul style="list-style-type: none"> Realice mantenimientos preventivos con frecuencia. Los mantenimientos preventivos están en función del uso, tipo de muestras, condiciones ambientales, entre otros. Consulte a personal de servicio técnico de KOSSODO SAC para la asesoría correspondiente. Cumplir con las recomendaciones señaladas en el manual de instrucciones del fabricante respecto al almacenaje, uso y cuidados. Para cualquier consulta o desperfecto en su equipo comuníquese al teléfono: 6198400 anexos 1301, 1302 o vía correo electrónico a: servtec@kossodo.com. 					
F-ST-04 Versión 00 Aprobado el 2017-01-17				Página 1 de 1	



Balanza Analítica- Marca Sartorius- Modelo Entris 2241-15- Número de Serie 0038103551

F-ST-12
"INFORME DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO"

Kossodo
 el mejor EQUIPO para su laboratorio

FECHA DE EMISIÓN: 22/10/2019 REFERENCIA: 0010012112-01

INFORMAMOS QUE EL SIGUIENTE PRODUCTO HA SIDO REVISADO POR EL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD DE KOSSODO SAC:

1.- DATOS DEL PRODUCTO

DESCRIPCIÓN: BALANZA ANALIT. 4DEC. 220G-0.1MG; CALIB. INTERNA CÓDIGO: ENTRIS2241-1S
 MARCA: SARTORIUS N° SERIE: 0038103551
 MODELO: ENTRIS HISTORIAL: SA02027

2.- RESULTADOS DE LA REVISIÓN

	CONFORME	NO CONFORME	NO APLICA
1. INSPECCIÓN FÍSICA			
1.1 INTEGRIDAD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 INTEGRIDAD DE ACCESORIOS, DOCUMENTOS Y EMBALAJE.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 ACCESORIOS Y DOCUMENTOS COMPLETOS DE ACUERDO AL MANUAL DE USUA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			
2.1 ENCENDIDO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 "TEST DE INICIO"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN Y PROGRAMACIÓN SEGÚN EL MANUAL DE USUARIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4 REVISIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PARÁMETRO	RESULTADO
PESA PATRON: 200 grs	CONFORME

3.- OBSERVACIONES

NINGUNO-----

4.- CONCLUSIONES



SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA REVISIÓN, SE DECLARA AL PRODUCTO:

CONFORME **NO CONFORME**

Franz Cornejo
 RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD
 NOMBRE: FRANZ CORNEJO CHINCHAY

Scanned with CamScanner
 Versión: 01 Aprobado el 2017-04-26 Página 1 de

4. Agitador Magnético- Marca Velp- Modelo AREC.X. Pt100-Número de serie 492327

 el mejor EQUIPO para su laboratorio					
CERTIFICADO DE GARANTÍA					
Fecha de emisión:		04/12/2019			
KOSSODO SAC garantiza la calidad de este producto y repara en forma gratuita cualquier desperfecto de fabricación dentro del periodo de garantía bajo las condiciones descritas. El producto está garantizado a partir de la emisión del presente documento.					
Datos del cliente					
Razón Social	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	RUC	20169004359		
Datos del producto					
Descripción	Marca	Modelo	Código	N° Serie	Historial N°
AGITADOR MAGNET. C/CALENT. 1500 RPM, 550°C; CERÁMICA + PT 100	VELP	AREC.X.Pt100	SA20500061	492327	VE03444
PERIODO: 12 MESES					
CONDICIONES BAJO LAS CUALES LA GARANTIA NO SE HARÁ EFECTIVA					
<ul style="list-style-type: none"> Sello de garantía y/o número de serie dañado, retirado o alterado. Desarme, reparación, revisión o alteración realizada por personal técnico no autorizado. Daños causados por negligencia y/o mal uso del equipo, o dar uso distinto a lo indicado en el manual de instrucciones. Conectar el equipo a una fuente de suministro con voltaje incorrecta, o fallas en la fuente de suministro eléctrico. Desgaste normal de componentes y piezas por efecto del uso. Daños ocasionados durante el almacenamiento, transporte o por manipulación inadecuada. Accesorios con tiempo de vida limitado, cuyas partes están expuestas a solventes, reactivos o muestras (electrodos, lámparas, resistencias, etc.). Instalar sin autorización de KOSSODO SAC (Aplicable a equipos que requieren personal técnico para su instalación). Mover o reinstalar los equipos de la ubicación inicial sin Autorización del área de servicio técnico de KOSSODO SAC (No aplicable a equipos a batería portátiles de bolsillo o de mesa). 					
RECOMENDACIONES PARA CUIDAR SU EQUIPO					
<ul style="list-style-type: none"> Realice mantenimientos preventivos con frecuencia. Los mantenimientos preventivos están en función del uso, tipo de muestras, condiciones ambientales, entre otros. Consulte a personal de servicio técnico de KOSSODO SAC para la asesoría correspondiente. Cumplir con las recomendaciones señaladas en el manual de instrucciones del fabricante respecto al almacenaje, uso y cuidados. Para cualquier consulta o desperfecto en su equipo comuníquese al teléfono: 6198400 anexos 1301, 1302 o vía correo electrónico a: servtec@kossodo.com. 					
F-ST-04 Versión 00 Aprobado el 2017-01-17				Página 1 de 1	

Agitador Magnético- Marca Velp- Modelo AREC.X. Pt100-Número de serie 492327

F-ST-12

"INFORME DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTO"

Kossodo 
el mejor EQUIPO para su laboratorio

FECHA DE EMISIÓN: 03/12/2019

REFERENCIA: 0010012396-02

INFORMAMOS QUE EL SIGUIENTE PRODUCTO HA SIDO REVISADO POR EL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD DE KOSSODO SAC:

1.- DATOS DEL PRODUCTO

DESCRIPCIÓN:	AGITADOR MAGNET. C/CALENT. 1500 RPM, 550°C. CERÁMICA + PT 100	CÓDIGO:	SA2050061
MARCA:	VELP	N° SERIE:	492327
MODELO:	AREC.X.Pt100	HISTORIAL:	VE03444

2.- RESULTADOS DE LA REVISIÓN

	CONFORME	NO CONFORME	NO APLICA
1. INSPECCIÓN FÍSICA			
1.1 INTEGRIDAD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 INTEGRIDAD DE ACCESORIOS, DOCUMENTOS Y EMBALAJE.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 ACCESORIOS Y DOCUMENTOS COMPLETOS DE ACUERDO AL MANUAL DE USUA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO			
2.1 ENCENDIDO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 "TEST DE INICIO"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3 PRUEBAS DE OPERACIÓN Y PROGRAMACIÓN SEGÚN EL MANUAL DE USUARIO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4 REVISIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5 PRUEBAS DE VERIFICACIÓN:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PARÁMETRO	RESULTADO
RPM	CONFORME
TEMPERATURA	CONFORME

3.- OBSERVACIONES

NINGUNO-----

4.- CONCLUSIONES

SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA REVISIÓN, SE DECLARA AL PRODUCTO:

 CONFORME
 NO CONFORME

RESPONSABLE DEL CONTROL DE CALIDAD

NOMBRE: FRANZ CORNEJO CHINCHAY

5. Máquina de teñido- Marca XIAMEN RAPID- Modelo ECODYER- Número de serie F698


厦门瑞比精密机械有限公司
XIAMEN RAPID PRECION MACHINERY CO., LTD.
 地址:厦门市美溪道同安工业园19号二楼 电话:0592-5804550 5804551 传真:0592-5809651
 No.19 TONGANGONGYEYUAN, MEIXI DAO, XIAMEN FUJIAN CHINA TEL:0592-5804550 5804551 FAX:0592-5809651

ECO DYER 品管检查表
ECO DYER QC checking list

机型 model	机号 S/N	日期 Date	试机人 Name		
			良 Pass	否 Fail	备注 Remark
检查要项 Checking items					
1. 机台外观检查, 是否是无生锈, 无刮伤。 No any scratch and rust on the appearance of the machine.					
2. 所有开关动作一次是否正常。 All button and switches function well.					
3. 马达转动是否顺畅。 Is motor running smooth.					
4. 马达开, 是否可调速, 速率表显示正常。 Motor on, the speed can be controlled and the speed meter display normally.					
5. 运转中门打开, 马达是否停止。 The motor will stop when the door is opened.					
6. 升温测试, 工作温度的偏差, 常温是介于 (97±1.5) °C 和高温为 (130±1.5) °C。 Temperature rising test, the work temperature's bias, normal temperature is (97±1.5) °C, hot temperature is (130±1.5) °C.					
7. 转盘升温运转十分钟后, 是否有漏沙。 Whether the machine will leak sand when the rotating wheel temperature rising run ten minutes later.					
8. 温控器程序可编程, 可存储程序。 The temperature controller's program can be write, and the program can be storage.					
9. 漏电检验机壳对地电压小于36V。 Leakage test the case, which relatively to ground is less than 36V.					
10. 全机噪声不大于60 db。 The noise is no more than 60db.					
11. 各风扇检查是否正常。 Cooling fan test.					
12. 电源线是否有松动现象。 Power cable is fixed well.					
13. 测试完毕后最后确认。 Final check.					
14. 确认使用电压。 Electric connection					
380V * 3PH * 50/60HZ					
220V * 1PH * 50/60HZ					
220V * 3PH * 50/60HZ					

表单编号: R-MP-010-02A.ECO DYER VER 1.0 保存期限: 1年
 2012-06-13修订. Updated on 2012/06/13

品检人员(Person in charge of QC):



Máquina de teñido- Marca XIAMEN RAPID- Modelo ECODYER- Número de serie F698



厦门瑞比精密机械有限公司 XIAMEN RAPID PRECISION MACHINERY CO.,LTD.
 NO.19 TONGANYUAN MEIXIDAO XIAMEN FUJIAN CHINA. POSTCODE:361100
 地址: 厦门市环东海域美溪道同安工业园 19 号 2 楼 TEL: 0592-5802920、5811927 FAX: 0592-5809651

发 货 单

日期: 2015 年 05 月 08 日 编号: XM150423118

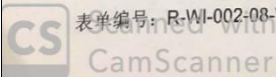
收货单位	SOCIEDAD QUINCA MERCANTIL S.A			联系人	Gloria Suarez R
地 址	AV REPUBLICA DE COLOMBIA 791 OF 701 SAN BORDO LIMA07-PERU			电 话	440-4847 Anexo 10
品 名	规格/型号	数 量	单 价	金 额	备 注
1500C 染色机	ECO dyer (24F) XC-F6	1			Lab ECO DYER
1500C 零件盒	TEEG-3794	24			Lid of 150cc normal pot
1500C 零件盒	TEEG-3825	24			Body of 150cc pot
零件盒	XL18-0070	24			Packing seal (Jarney)
零件盒	XL18-1178	24			Part tray for 150cc pot
零件盒	XL18-3373	1			Hot Potanti... cover
零件盒	DMF 08-ENV10 DMF 08-ENV17	1			Operator manual
零件盒	X81-S3	1			Wooden case
补充说明:					
收货单位签章		承运单位			
收货人签名		运输车号			
收货日期		司机签名			
运费承担		运输方式			

第一联: 存根(白)
 第二联: 仓库(红)
 第三联: 客户(黄)

批准: _____ 审核: _____ 经办: _____

表单编号: R-WI-002-08-V1.0

保存期限: 1年



ANEXO III: FOTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Foto 1. *Colorante Disperso en agitador magnético antes del pipeteo*

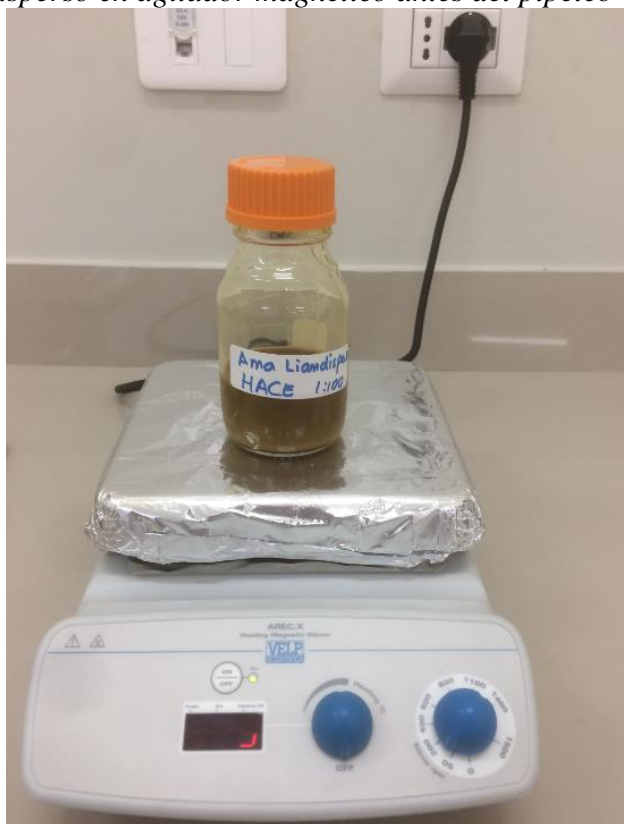


Foto 2. *Carga en máquina de Teñido Eco Dyer*



Foto 3. Efluentes textiles generados en la investigación

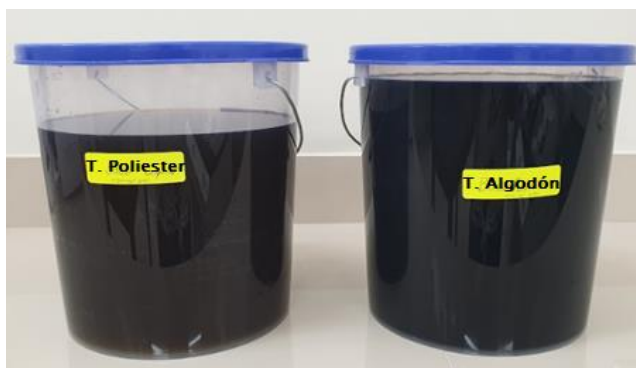


Foto 4. Baños inicial y agotado de la tintura del color blanco óptico en poliéster

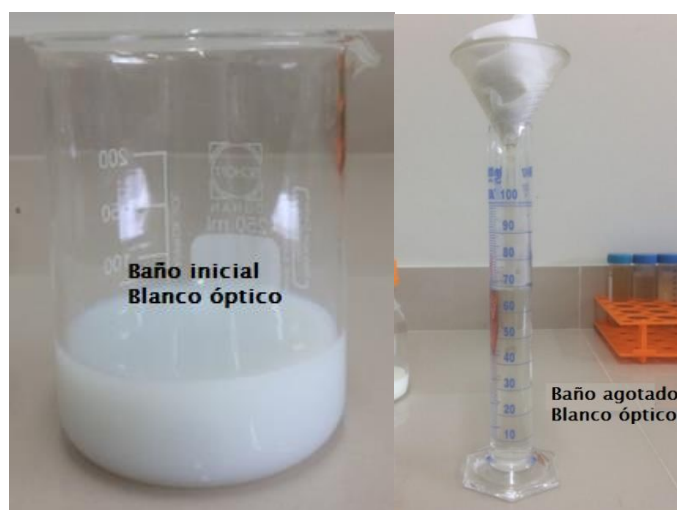


Foto 5. Baños inicial y agotado del color plomo en algodón



Foto 6. Baños inicial y agotado del color gris en algodón

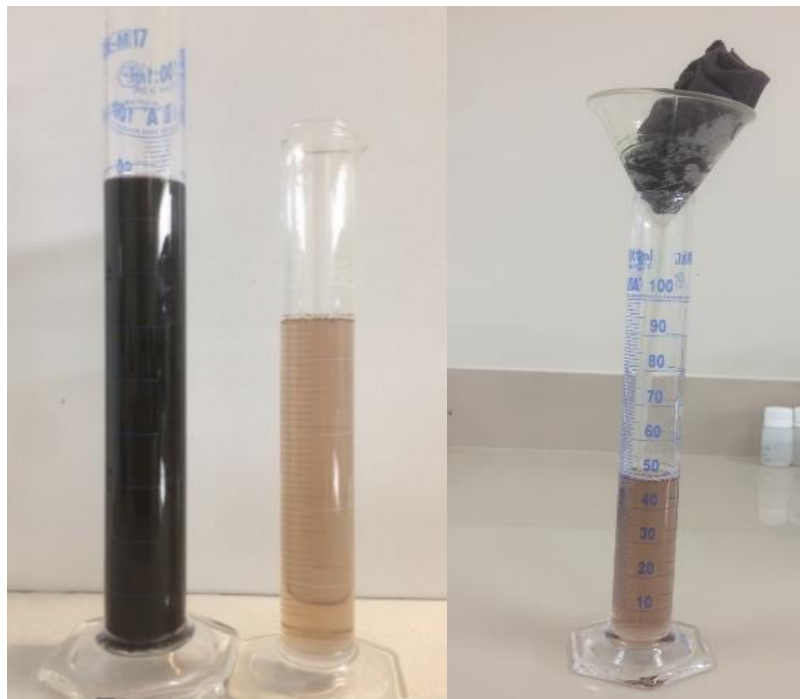


Foto 7. Baños inicial y agotado del color negro en algodón

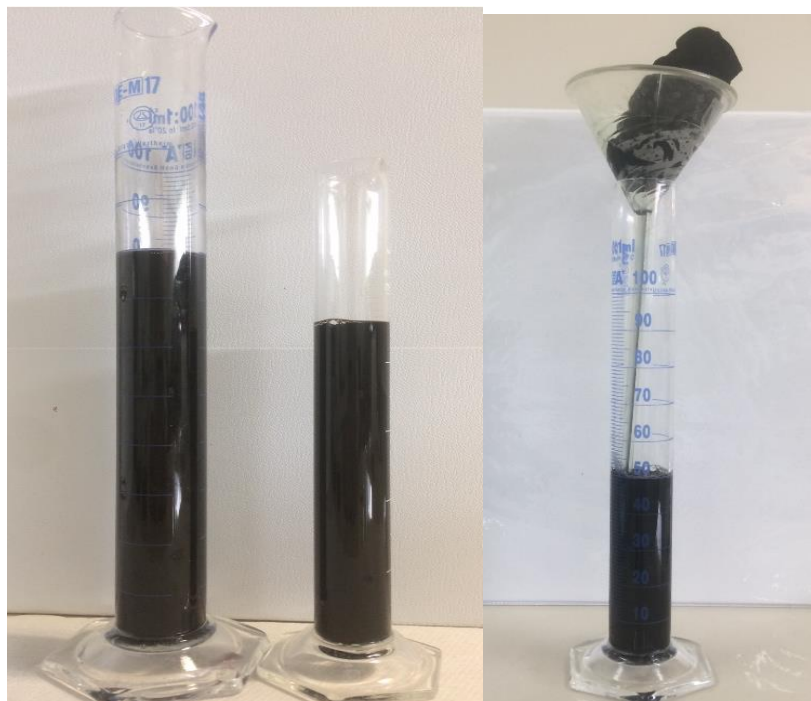


Foto 8. *Espectrómetro SF 500- Datacolor*

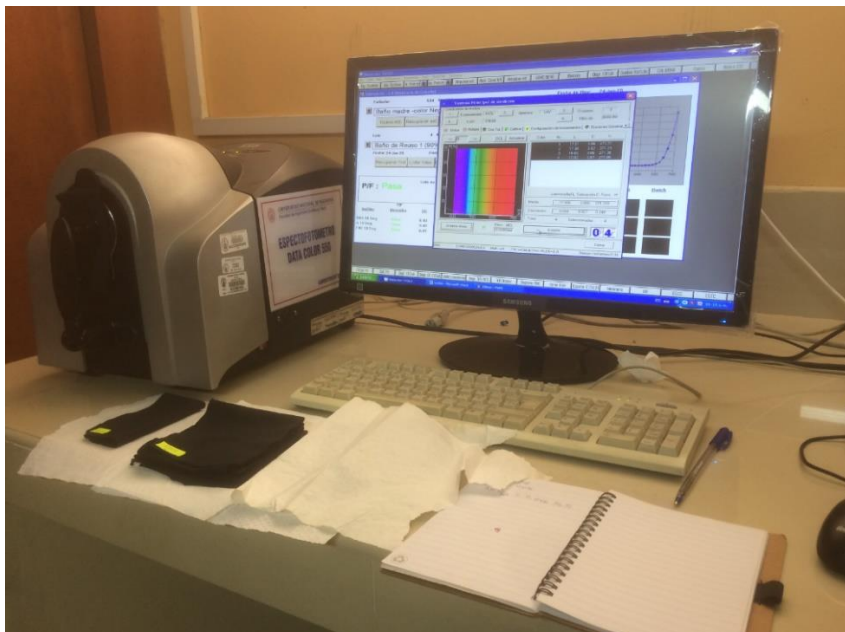


Foto 9. *Baños residuales generados*



Foto 10. *Equipo de Electrocoagulación*

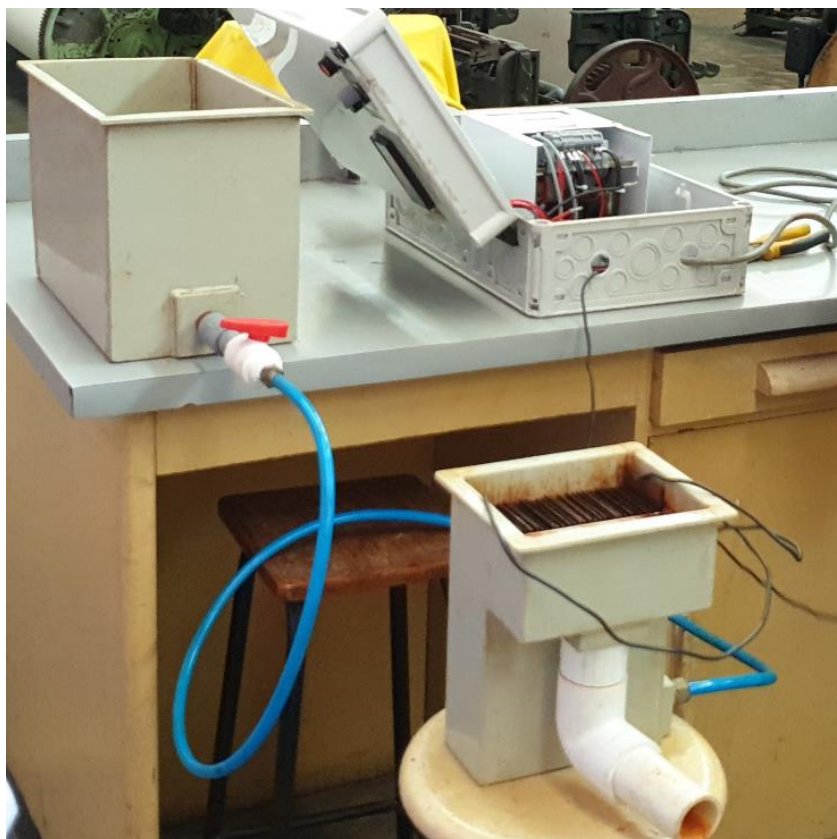


Foto 11. *Baños sin tratar y tratado*



Foto 12. *Muestras Teñidas en Tejido de Poliéster*



Foto 13. *Muestras Teñidas en Tejido de Algodón*



Foto 14. *Muestras Teñidas en Tejido de Algodón: Blanqueo y Blanco Óptico*

