



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Trabajo de fin de Carrera Titulado:

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE
LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS
TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES
NATURALES Y SINTÉTICOS”**

Realizado por:

DARWIN JOSÉ ESPARZA ENCALADA

Director del proyecto:

Ing. KATTY CORAL C. Msc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 3 de agosto de 2016

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, DARWIN JOSÉ ESPARZA ENCALADA, con cédula de identidad # 1001584570, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNASIONAL SEK, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Darwin José Esparza Encalada

c.c.: 1001584570

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS.”

Realizado por:

DARWIN JOSÉ ESPARZA ENCALADA

Como requisito para la obtención del título de:

MASTER EN GESTION AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

Ha sido dirigido por la profesora

KATTY CORAL C.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Katty Coral C.

DIRECTOR

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA,
UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

LOS PROFESORES INFORMANTES

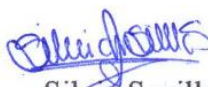
Los profesores informantes:

MIGUEL MARTÍNEZ

SILVIA SEVILLA

Después de haber revisado el trabajo presentado,
Lo han calificado como apto para su defensa oral ante
El tribunal examinador


Miguel Martínez


Silvia Sevilla

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi esposa e hijos, por todo el apoyo incondicional que me han
brindado en esta etapa importante de mi vida.

“El planeta puede vivir sin nosotros. Pero nosotros no podemos vivir sin planeta”

Anónimo.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional SEK, por darme la oportunidad de prepararme en la Gestión del Ambiente; a todos los profesores que supieron transmitir sus conocimientos, en especial a Katty Coral por su profesionalismo y valores transmitidos.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

INDICE DEL CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL TEMA A DESARROLLAR	1
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	6
1.4 OBJETIVOS	7
1.5 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO	8
CAPITULO II	10
2. MARCO TEORICO	10
2.1 ESTUDIOS PREVIOS.....	10
2.2 MARCO LEGAL	17
2.2.1 Normas ambientales	17
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.3.1 Proceso de tintura	22
2.3.2 Mordentado de la lana	23

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

2.3.3 Colorantes.....	23
2.3.4 Aguas residuales	24
2.3.5 Caracterización de aguas residuales	24
CAPITULO III	27
3. METODOLOGIA	27
3.1 MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	29
3.2 DISEÑO MUESTRAL	30
3.2.1 Selección de las muestras	30
3.3 METODOLOGÍA DE CAMPO.....	31
3.3.1 Proceso de extracción de los colorantes naturales.....	32
3.3.1.1 Recolección	33
3.3.2 Mordentado de la lana y caracterización del agua residual	34
3.3.3 Tinturas.....	35
3.3.4 Obtención de muestras de aguas residuales.....	37
3.3.5 Caracterización de las aguas residuales.....	38
3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS UTILIZADOS	38
3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS	39
CAPITULO IV	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.1 RESULTADOS.....	40
4.1.1 Colorantes naturales obtenidos	40
4.1.1.1 Peso de partes de las plantas recolectadas	40
4.1.1.2 Secado.....	41
4.1.1.3 Extracción.....	42
4.1.1.4 Filtración.....	42
4.1.2 Pruebas de mordentado y tintura y caracterización de las aguas residuales.....	43
4.1.2.1 Mordentado de lana	43
4.1.2.2 Parámetros de calidad de las aguas residuales del proceso de mordentado	43
4.1.2.3 Tintura de lana con colorantes naturales	44
4.1.2.4 Parámetros de calidad de las aguas residuales procedentes de las tinturas con colorantes naturales	45
4.1.2.5 Tintura de lana con colorantes sintéticos.....	46
4.1.2.6. Caracterización de las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos	48
4.2 ANÁLISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS	48
4.2.1 Análisis de resultados mediante estadística descriptiva	49
4.2.3 Análisis comparativo entre los parámetros de calidad de las aguas residuales con la norma ambiental	55
4.2.3.1 Análisis comparativo del DQO.....	55
4.2.3.2 Análisis comparativo del DBO ₅	57
4.2.3.3 Análisis comparativo de los sólidos suspendidos totales	59

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.2.3.4 Análisis comparativo de los sólidos totales	61
4.2.3.5 Análisis comparativo del pH	63
4.2.3.6 Análisis del color aparente y verdadero.	65
4.3 INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN	65
4.3.1 Índice de calidad.....	66
4.3.2 Índice de contaminación.....	67
CAPITULO V	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
5.1 CONCLUSIONES	70
5.2 RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS.....	80

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perfil de agua residual de procesos textiles.....	5
Tabla 2. Clasificación de los contaminantes en las aguas residuales textiles	12
Tabla 3. Característica de las aguas residuales procedentes de tinturas de lana	16
Tabla 4. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales para industrias manufactureras	20
Tabla 5. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	20
Tabla 6. Límites máximos permisibles para el sub sector lanero (Tintorería de lana).....	21
Tabla 7. Métodos utilizados en la caracterización de las aguas residuales. Laboratorio UISEK	38
Tabla 8. Partes y peso de plantas utilizadas en la extracción del colorante natural	41
Tabla 9. Pesos muestras utilizadas en la extracción del colorante.	41
Tabla 10. Pesos de plantas secas, solventes utilizados y colorante extraído.....	42
Tabla 11. Resultados obtenidos en el filtrado del colorante	42
Tabla 12. Hoja patrón de pruebas de mordentado de lana	43
Tabla 13. Valores obtenidos en la caracterización del agua residual del proceso de mordentado.....	44
Tabla 14. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes naturales.....	44
Tabla 15. Valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales	46
Tabla 16. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes sintéticos	47
Tabla 17. Valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de tinturas con	

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

colorantes sintéticos	48
Tabla 18. Media y coeficiente de variación, de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales.....	49
Tabla 19. La media y el coeficiente de variación, de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes sintéticos.....	50
Tabla 20. La media y coeficiente de variación de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales y sintéticos.	50
Tabla 24. Parámetros de calidad de las aguas residuales, que están sobre y bajo los límites de descargas al alcantarillado, en porcentajes.....	52
Tabla 21. Normalidad de los valores en los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales	53
Tabla 22. Normalidad de los valores en los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes sintéticos.....	54
Tabla 23. Límites máximos permisibles para descargas al sistema de alcantarillado.....	55
Tabla 25. Índice de calidad de las aguas residuales de tintura con colorantes naturales y colorantes sintéticos	66

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de proceso de tintura de lana con colorantes sintéticos. (IMBATEX, 2016).	14
Figura 2. Curva de proceso de mordentado de lana. (Paredes, 2002)	15
Figura 3. Parámetros que se evalúan en las aguas residuales. (Freire,2012)	16
Figura 4. Etapas de la investigación.....	29
Figura 5. Estructura del proceso de tintura y caracterización aguas.	32
Figura 6. Proceso seguido para la obtención del colorante natural	32
Figura 7. Curva del proceso de mordentado de lana	35
Figura 8. Proceso de tintura y lugar de recolección de muestras de aguas residuales	36
Figura 9. Curva de tintura seguido en las pruebas	37
Figura 10. Muestras de lana, tinturadas con colorantes naturales	45
Figura 11. Muestras de lana, tinturadas con colorantes sintéticos	47
Figura 12. Valores comparativos de los parámetros de calidad de las aguas, mediante la media	51
Figura 13. Valores comparativos de los parámetros de calidad de las aguas,.....	52
Figura 14. DQO en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales.....	56
Figura 15. DQO en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos.	56
Figura 16. DQO en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintético.,	57
Figura 17. DBO ₅ en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales.....	58
Figura 18. DBO ₅ en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos.	58
Figura 19. DBO ₅ en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintético.	59

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Figura 20. SST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales.	59
Figura 21. SST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos,.....	60
Figura 22. SST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos, .	60
Figura 23. ST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales,.....	61
Figura 24. ST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos,	62
Figura 25. ST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos,....	62
Figura 26. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales,	63
Figura 27. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos,.....	64
Figura 28. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos, ...	64
Figura 29. Comparación del color entre los dos casos de aguas residuales	65
Figura 30. Índice de Calidad de las aguas residuales de los procesos de mordentado,.....	67
Figura 31. Índice de contaminación de las aguas residuales de los procesos de tintura	69

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

INDICE DE ANEXOS

Anexo A Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	80
Anexo B. Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico-químico	81
Anexo C. Equipos y máquinas utilizadas en la investigación	82
Anexo D. Obtención de materias primas para la extracción de los colorantes naturales	83

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

RESUMEN

En este trabajo de investigación se hace un estudio comparativo entre el nivel de contaminación de las aguas residuales procedentes de las tinturas con colorantes naturales con el nivel de contaminación de las aguas residuales procedentes de las tinturas con colorantes sintéticos; el objetivo es determinar cuál de los colorantes utilizados en las tinturas de lana presenta mayor contaminación de efluentes.

Para el desarrollo del trabajo se logró obtener el colorante natural a partir del guarango (*Caesalpinia spinosa*), nogal (*Juglans regia*), manzanilla (*Anthemis tinctoria*), shanshi (*Coriaria thymifolia*) y chilca (*Baccharis latifolia*). Se realizó un proceso de mordentado previo, cinco pruebas de tintura con colorantes naturales y cinco con colorantes sintéticos; las aguas residuales obtenidas fueron caracterizadas para hacer la evaluación mediante un estudio comparativo. Para la comparación se utilizó los valores medios obtenidos en los parámetros DQO, DBO₅, SST, ST y pH; estos valores se compararon con los límites permisibles para descargas al alcantarillado público, límites indicados en la norma ambiental, Acuerdo Ministerial 097-A, de noviembre 2015. Se determinó también, el tipo de agua residual que presenta valores más elevados de contaminación en el color aparente y color verdadero, en unidades cobalto platino. Por último, se calcularon los índices de calidad del agua (IC) y contaminación (IQ).

La comparación de los parámetros de calidad de las aguas residuales con la norma ambiental y la determinación del índice de contaminación del agua (IQ), permitió establecer que, los colorantes naturales utilizados en el proceso de tintura de lana, generan aguas residuales con mayor nivel de contaminación, que los colorantes sintéticos utilizados en estas tinturas.

Palabras clave: Agua residual, caracterización, colorante, límite permisible, índice de contaminación.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

ABSTRACT

In this research is a comparative study between the level of contamination of wastewater from the dyeing with natural dyes with the level of contamination of wastewater from dyes synthetic dyes are made , in order to determine which of the dyes used in dyeing wool is more polluting.

In development work it was possible to obtain the natural dye from guarango (*Caesalpinia spinosa*), walnut (*Juglans regia*), chamomile (*Anthemis tinctoria*), Shanshi (*Coriaria thymifolia*) and ragwort (*Baccharis latifolia*). Prior etching process, five tests dyeing with natural dyes five with synthetic dyes was performed; wastewater obtained were characterized for evaluation through a comparative study. Average values obtained in COD, BOD₅, TSS, TS and pH parameters were used for comparison; these values were compared with the permissible limits for discharges into public sewerage, as indicated in the environmental standard, Ministerial Agreement 097 of November 2015. It was also determined, the type of wastewater having higher values of pollution in the apparent color and true color, platinum cobalt units. Finally, rates of water quality (QI) and pollution (PI) were calculated.

Comparison of the quality parameters of wastewater with the environmental standard and determining the water pollution index (PI); It established that, natural dyes used in the dyeing process of wool, generate wastewater with higher levels of pollution, that synthetic dyes used in these dyes

Key words: residual water, characterization, dye, permissible limit and pollution index.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL TEMA A DESARROLLAR

El desarrollo de las actividades textiles, específicamente aquellas que se realizan en las etapas húmedas, generan grandes volúmenes de agua residual contaminada; ante lo cual, es importante y necesario actuar con algunas opciones tecnológicas, tratando de mitigar y mejorar el uso de este recurso tan valioso. Uno de los procesos húmedos es la tintura, en la cual se da color a las fibras, hilos, tejidos, prendas o cualquier otro artículo textil. “En los procesos de tintura la materia textil entra en contacto con una disolución o dispersión de colorante, absorbiéndolo y reteniéndolo en mayor o menor medida” (Huerga, 2015). Resultando de este nivel de absorción, el grado de contaminación de las aguas residuales.

En los procesos de tintura, Obando (2010) indica que, para obtener buena calidad en los colores trabajados, se requiere de una adecuada relación de los parámetros tiempos, temperatura, relación de baño, potencial de hidrógeno (pH), entre otros más; además, es necesario disponer de las materias primas, el agua, colorantes y auxiliares que se colocan en el baño de tintura. Al finalizar el proceso se descarga el baño, en forma de aguas residuales, estas aguas contienen restos de colorantes y otras sustancias químicas utilizadas en el proceso, que son las que contaminan el agua descargada en el alcantarillado o cualquier otro cuerpo receptor.

“Para dar color a los hilos se puede utilizar colorantes naturales y colorantes artificiales; sin embargo, los serios problemas generados por el efecto de los tintes sintéticos al medio ambiente y la salud humana, parece que está llevando de nuevo al colorante natural al centro de la atención del mundo” (Kohima, s.f.).

Por una parte, se dice que: “los colorantes textiles artificiales tienen gran persistencia en

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

el ambiente” (Mansilla, Lisama, Gutarra, & Rodriguez, s.f.) . Y, por otra, se dice que los colorantes naturales son más amigables con el ambiente; así, la empresa Ecotintes (2016), que trabaja coloreando textiles con colorantes naturales manifiesta que, los colorantes vegetales representan una fuente sustentable respecto a su contraparte sintética, pues son un recurso renovable, en cambio los colorantes sintéticos no, ellos provienen del petróleo.

Son los colorantes naturales, utilizados en los procesos de tintura de lana, menos contaminantes a las aguas residuales, ¿que los colorantes sintéticos? Según la empresa Ecotintes (2016), quien realiza procesos de tintura con colorantes naturales y aplicados a algunas fibras naturales, indica que la comparación entre tintes sintéticos con tintes naturales se puede dividir en cuatro fases, estas son: La fabricación del colorante, el proceso de teñido, el uso de los productos por los consumidores y por último su disposición final o reciclaje, en cada fase es necesario analizar los materiales que entran y que salen. Sin embargo, de acuerdo a lo indicado, el desarrollo de este trabajo se enfocó únicamente a la fase del proceso de teñido, en donde se analizó el efluente líquido descargado, mediante un estudio comparativo entre las aguas residuales generadas en las pruebas de tintura de lana con colorantes naturales y con colorantes sintéticos.

La investigación se inició con la selección de los colorantes, se eligió cinco colorantes naturales extraídos de las plantas, estos son: guarango (*Caesalpinia spinosa*), nogal (*Juglans regia*), manzanilla (*Anthemis tinctoria*), shanshi (*Coriaria thymifolia*) y chilca (*Baccharis latifolia*); y cinco colorantes sintéticos de diferentes marcas. Con los colorantes seleccionados se procedió a realizar las pruebas de tintura sobre la fibra de lana previamente tratada y lavada, se hicieron cinco tinturas con colorantes sintéticos y cinco tinturas con colorantes naturales. Para las tinturas con los colorantes naturales fue necesario preparar a la lana con un tratamiento previo de mordentado, con el cual se le da la propiedad de fijar al colorante natural a la fibra. Con las aguas residuales obtenidas en las diferentes pruebas de tintura y también de la prueba de mordentado, se procedió a la caracterización de cada una de estas y con los resultados obtenidos se realizó la evaluación de la calidad de las aguas residuales, haciendo una comparación entre las obtenidas de los procesos de tintura utilizando colorantes naturales con las que se obtuvo de los procesos utilizando colorantes sintéticos; se comparó también cada una de estas aguas con los límites permitidos por las normas ambientales vigentes y se determinó también, el índice de calidad y el índice de contaminación.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

La investigación desarrollada es exploratoria, no se basó en ningún estudio ni modelo anteriormente realizado y se utiliza el método experimental para obtener las aguas residuales y el método comparativo para determinar cuál de los dos tipos de aguas residuales es más contaminante y sobrepasa en mayor nivel la norma ambiental.

La información generada en este estudio, permitirá proveer de información válida al sector textil lanero, sobre la utilización de colorantes y sintéticos en de tintura de lana, para que se pueda elegir el tipo de colorante más apropiado en relación al cuidado del ambiente, en este caso a la contaminación de las aguas.

1.2 ANTECEDENTES

“La industria textil procesa diferentes fibras. La naturaleza diversa de las mismas, motiva que las industrias sean muy variadas (...). Cada una de las actividades que se realizan genera agua residual de características muy variables. Sin embargo, esta diferencia es más cuantitativa que cualitativa.” (Crespi & Huertas, 1987). Dentro de los sectores productivos, la industria textil está entre las más contaminantes, especialmente es muy contaminadora el área de tintorería, en donde el teñido de las fibras textiles se realiza en una disolución acuosa denominada baño de tintura, cuyas aguas residuales generalmente son descargadas al ambiente con la presencia de contaminantes; también, “en la industria textil los vertidos irán acompañados de cantidades importantes de tintes” (Huerga, 2005). “El teñido es el proceso que puede generar más contaminación debido a que requiere el uso no solamente de colorantes y químicos, sino también de varios productos especiales conocidos como auxiliares de teñido” (Patarroyo, s; f.). Hoy en día, se vive en un mundo en donde la ecología y la protección del ambiente están cambiando muchos patrones de comportamiento, es por ello que existe un gran interés en volver a utilizar los colorantes naturales; sin embargo, según manifiestan Parra (2004), la solubilidad de los colorantes naturales es muy limitada, contrariamente a lo que ocurre con los colorantes artificiales, los cuales se diluyen fácilmente, aspecto muy importante en el proceso de tintura y en el grado de contaminación de las aguas residuales generadas. Además, es importante indicar que, “El índigo es quizá el tinte natural destacado más antiguo utilizado por el hombre (...). Desde el descubrimiento de la síntesis del índigo, la fuente industrial desplazó a la natural afectando gravemente la agricultura de muchos países como la India.” (Ecotintes, 2016)

Los colorantes son elementos químicos que se les coloca a las fibras textiles, con la

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

finalidad de que estas puedan reflejar longitudes de onda predeterminadas. Los colorantes dentro de la industria textil son cualquier sustancia capaz de teñir o colorear un material. Según Obando (2013), el colorante está constituido por dos partes importantes, denominados grupo cromóforo y grupo auxocromo; el grupo cromóforo es el responsable de absorber y reflejar la luz, es la parte que da el color.

Sobre el uso de los colorantes naturales, Rojas, Maldonado y Pérez (s. f.) manifiestan, que la importancia de los colorantes naturales en la industria textil desapareció con el uso ahora ya extendido de los colorantes sintéticos empleados en distintas fibras; también indican que durante los últimos 10 años, el uso de los colorantes naturales en el ámbito mundial se ha incrementado en forma casi explosiva; recientemente, al encontrarnos en la era ecológica, el uso de colorantes naturales en las industrias de cuero y textil ha iniciado ya su aplicación.

En los procesos de tintura, los factores importantes que influyen en las tinturas según Paredes (2002) son: La fibra, colorante, tiempo de tintura, pH, relación de baño (agua), agitación, auxiliares y equipos o máquinas de tintura. Entre estos factores, el agua, los auxiliares y los colorantes utilizados son los que influyen directamente en la calidad de las aguas residuales; asimismo, López, Amante, y Gutierrez (2010) indican que, la industria textil consume elevados volúmenes de agua en sus procesos de preparación, tintura y acabados.

Los aspectos enunciados anteriormente, relacionan al agua como uno de los elementos más importantes utilizados en las tinturas de textiles y que con la utilización de los otros elementos en los procesos, puede llegar a contaminarse afectando al ambiente.

“Los vertidos líquidos de una industria textil poseen una fuerte variabilidad horaria en función de los procesos productivos, que se alternan con teñido, enjuague.” (Salas, 2003). Un perfil de agua bruta, de vertidos textiles se observa en la tabla 1, en la que se indica los parámetros de contaminación de las aguas residuales más importantes que genera la industria textil.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 1. Perfil de agua residual de procesos textiles

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
pH	pH	5-10
DQO	mg/L	1100
DBO5	mg/L	1270
SST	mg/L	1500
Aceites y grasas	mg/L	100

Fuente: (Salas, 2003)

El control de la calidad de las aguas descargadas está sujeta a la normativa legal vigente. Es importante indicar que la rectoría y atribuciones de la Calidad Ambiental, en el Título II, Art. 4 del acuerdo no. 061, de la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, se indica que quien ejerce la potestad de Autoridad Ambiental Nacional es el Ministerio del Ambiente y que como tal, ejerce la rectoría del Sistema Nacional Descentralizado de gestión Ambiental.

En el mismo acuerdo, referente a la Gestión integral de los residuos sólidos y/o desechos sólidos no peligrosos, en el Art. 56 Normas técnicas, indica que la Autoridad Ambiental Nacional establecerá la norma técnica para la gestión integral de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos, en todas sus fases; sin embargo, en el Art. 57 del mismo acuerdo, se asignan responsabilidades a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, en donde se establece que estos garantizarán el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia, ya sea por administración o mediante contratos con empresas públicas o privadas.

En concordancia con el enunciado anterior, en la Norma Técnica que regula los

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

contaminantes asociados a descargas líquidas industriales, comerciales y de servicios, del Distrito Metropolitano de Quito, en la parte de disposiciones generales sobre descargas líquidas, se indica que toda descarga líquida proveniente de actividades desarrolladas en plantas o bodegas industriales, entre otras actividades más, deberá ser vertida en la red pública de alcantarillado o cauce de agua, cuando se haya verificado el cumplimiento de los valores máximos permisibles.

En la misma norma, se indica los límites máximos permisibles por sectores productivos específicos, se indica los parámetros que se deben controlar para descargas a cauces de agua o alcantarillado, siendo estos: La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos (SS) y Caudal (Q). No obstante, de acuerdo lo que manifiesta López (2010), la característica común de las aguas residuales textiles es su elevada coloración; por lo que es importante también, considerar este parámetro en la caracterización de las aguas residuales de este tipo de procesos.

Sobre la caracterización de las aguas residuales de estas industrias, es muy importante también considerar las afirmaciones realizadas por Patarroyo (s; f.) en el estudio sobre procesos de estabilización de residuos generados en la industria textil, en este se indica que las aguas residuales textiles se caracterizan por tener pH que varía de acuerdo al proceso, altos valores de DQO, DBO, altos niveles de color, turbiedad, una alta concentración de sólidos suspendidos y descargas a altas temperaturas; afirmación que tiene una relación afín con la norma técnica emitida por el Distrito Metropolitano de Quito y que son los parámetros que se considerarán en el estudio, a más de lo indicado en la Norma de Calidad Ambiental , en el Acuerdo Ministerial 097-A.

1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

El agua es un recurso fundamental para la industria textil, su utilización ha variado a lo largo del tiempo, dependiendo de las materias primas a tratar y la tecnología aplicada a sus procesos. Siendo el agua uno de los recursos más preciados de la naturaleza, es muy importante contribuir con el mejor uso posible en la industria.

Una de las alternativas que se tiene para producir menos contaminación a las aguas residuales generadas en los procesos de tintura de lana, es el uso de los colorantes naturales. Sobre este tema se conoce bastante cómo se tintura con colorantes naturales, se sabe que el

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

costo es aproximadamente unas tres veces más que tinturar con colorantes sintéticos, que existe una tendencia cada vez mayor al consumo de textiles coloreados con colorantes naturales; en cambio, no se conoce el nivel de contaminación de las aguas residuales utilizando colorantes naturales y su relación comparativa con las aguas residuales provenientes de la tintura con colorantes sintéticos.

Con el desarrollo de este trabajo, se logrará evidenciar si los colorantes naturales son menos contaminantes a las aguas residuales que los colorantes sintéticos. Además, se espera que el sector textil, involucrado en el tema de estudio, disponga de información válida sobre el grado de contaminación de las aguas residuales que se producen cuando se utilizan los dos tipos de colorantes, pudiendo así disponer de opciones de procesos para elegir el más adecuado en relación al que causa menor impacto ambiental.

Por estas razones, son muy importantes los estudios y aplicaciones tecnológicas que se realicen, con el fin de reducir la contaminación de las aguas residuales, en los tratamientos húmedos de la industria textil.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general:

Realizar un estudio comparativo sobre el nivel de contaminación de las aguas residuales generadas por los procesos textiles de tintura de lana, utilizando colorantes naturales y colorantes sintéticos para determinar los niveles de contaminación de las aguas residuales.

1.4.2 Objetivos específicos:

Obtener una base teórica relacionada con el agua, la fibra de lana, los colorantes naturales y sintéticos, los procesos, parámetros de tintura y sobre la calidad de las aguas residuales; mediante la recopilación de información en fuentes bibliográficas válidas, para poder así desarrollar un estudio comparativo;

Caracterizar las aguas residuales generadas en las pruebas de tintura, a través del análisis de calidad de los parámetros DQO, DBO, SST, ST, pH y COLOR; para, mediante los resultados obtenidos hacer la evaluación del grado de contaminación de las aguas producidas por los dos tipos de colorantes.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Determinar el nivel de contaminación de las aguas residuales generadas por los procesos de tintura utilizando colorantes naturales y sintéticos; mediante un análisis comparativo de los parámetros de calidad de las aguas, para conocer cuál de los dos tipos de colorantes produce mayor contaminación y cual sobrepasa la norma ambiental

1.5 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

La investigación se realiza en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, y es originada por la necesidad que tiene la empresa IMBATEX, de hacer tinturas con colorantes naturales en fibras de lana. La investigación se complementó con las pruebas de tintura realizadas en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Textil de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra y de la Universidad Internacional SEK, en donde se hicieron los análisis de las aguas residuales obtenidas en las pruebas de tintura.

Muy importante para el desarrollo de las pruebas de tintura es la disponibilidad de las plantas para extraer los colorantes naturales. De las cinco plantas utilizadas en la investigación, las cinco se obtuvieron en la provincia de Imbabura.

El Guarango (*Caesalpinia espinosa*), es un árbol que se puede observar en gran cantidad alrededor de la Laguna de Yahuarcocha. “Este árbol crece en lugares secos de los Andes entre los 1400 y 3100 msnm. Crece en forma natural en lugares semiáridos, con 300 mm de lluvia anual” (Ortega, 2007).

El Nogal (*Junqlans Neotrópica Diels*), “se desarrolla en los lugares secos de los valles interandinos, a veces junto a otras especies como la tara y el guarango, formando parte de las cercas vivas, como árbol de sombra, en las laderas, riveras de los ríos, cerca de las viviendas y en las ciudades ornamentando parques y avenidas.” (Ponce & Morales, 2011). Además, “En el Ecuador se planta hasta los 3000 msnm, cerca de las casas campesinas en lugares con lluvia anual sobre 600 mm. (Echeverría, 1997).

La manzanilla (*Anthemis tinctoria*), de acuerdo a Obando (2010), es una hierba erecta, poco ramificada, con tallos erguidos de alrededor de 50 cm de altura, sus hojas son finamente divididas y sus flores situadas en los extremos de las ramas son muy aromáticas, con un color amarillo intenso y los pétalos de las lígulas en la periferia de color blanco y con sus semillas apenas notables.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

El shanshi (*Coriaria thymifolia*), una planta considerada como arbusto que crece en forma silvestre, según Obando (2010), es un arbusto de tallo largos, con ramificaciones que nacen desde el lugar cercano a la raíz, los ramillos con sus hojas tienen una disposición semejante a la que presentan las frondes de helechos, las flores son de color verde con rosado esparcido un poco antes de la madurez del fruto. El fruto, de donde se extrae el colorante es una núcula, especie de racimo, es de color rojo oscuro.

Sobre la Chilca (*Baccharis latifolia*), Paredes (2002) menciona en su trabajo de investigación que es un arbusto de abundante follaje que alcanza de 3 a 4 metros de altura, crece en altitudes de hasta 3700msnm. Sobre sus usos también indica que provee de alimento para cuyes, conejos, ovejas y sirve para obtener leña en lugares cercanos a las viviendas y para usos medicinales.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 ESTUDIOS PREVIOS

Hoy en día, las actividades humanas e industriales, deben desarrollarse con respeto a lo denominado desarrollo sostenible, entendiéndose a este como “el mejoramiento de la calidad de la vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas; implica la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.” (Ley de Gestión Ambiental, 2004).

2.1.1 El Agua

“El agua, esencial para la existencia de cualquier tipo de vida, juega un papel destacado en muchas actividades propias de los seres humanos, de la agricultura a la industria, del abastecimiento de agua potable a los usos recreativos.” (Llamas, Hernandez, & Martínez, 2000). El acceso al agua es fundamental para el bienestar de las personas y la vida de todos los seres que habitan este planeta; la contaminación de las aguas es un problema a nivel global; es así que “El estado actual de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo es generalmente malo.” (Huerga, 2005). Son estas entre otras razones, por las cuales se debe tratar de prevenir su contaminación.

Aunque el agua es el elemento que más fácilmente es observado en el planeta, no es debidamente cuidada. Según el Informe de las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, se indica que, del agua existente en el planeta, únicamente el 2,53% del total es agua dulce, el resto es agua salada; sin embargo, su uso es no es el adecuado.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

En la industria textil, de acuerdo a la empresa Ecotintes (2016), el agua se utiliza en la en el teñido propiamente y en el enjuague del exceso de colorante no fijado en las fibras. En los procesos de tintura el agua es el elemento principal, con esta se prepara el baño de tintura en donde se coloca el colorante y sumerge el material a ser coloreado.

2.1.2 Aguas residuales en la industria textil

En su trabajo sobre las aguas residuales de la industria textil, Garcés y Peñuela (2007) indican que: El sector textil puede ser considerado generador de alto impacto ambiental, siendo el impacto más negativo el de los efluentes líquidos. La industria textil es un sector productivo que tiene en sus procesos el área de tintorería, en estos se da color a los géneros textiles. Para realizar el proceso de tintura, se requiere de elementos como el agua, colorantes, auxiliares y energía. Al finalizar el proceso se bota el baño, en forma de agua residual, que contiene restos de colorantes y productos químicos, los cuales no han reaccionado con la fibra.

Según el proceso textil, se genera agua residual con contaminantes que pueden contener materiales en suspensión, flotantes e impurezas disueltas; en la tabla 2 se puede distinguir los diferentes residuos que son los que más influyen en la contaminación de las aguas en la industria textil. “Constituye con mucho el grupo más importante de contaminantes presentes en las aguas residuales textiles, en las que se puede encontrar: ácidos, álcalis, reductores, oxidantes, colorantes y un sinnúmero de productos auxiliares todos ellos solubles.” (Crespi & Huertas, 1987). Sobre el mismo tema, Salas (2003) en su artículo sobre los tratamientos físico-químicos de aguas residuales, menciona que las aguas residuales de la industria textil han llegado a ser en muchos lugares un problema que iguala o supera al de las aguas negras domésticas. También, “Con los procesos de las tintorerías se generan impactos sobre los recursos aire, suelo y agua; uno de ellos es el uso excesivo de agua vertiendo directamente al alcantarillado municipal.” (Ospina, Montoya, & García, 2007). La calidad del agua eliminada por lo general tiene parámetros de contaminación fuera de los límites permisibles para ser arrojadas a ríos o alcantarillado.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 2. Clasificación de los contaminantes en las aguas residuales textiles

MATERIALES EN SUSPENSION	MATERIAS FLOTANTES	IMPUREZAS DISUELTAS
Fibras, trapos, tierras, otros	Grasas y aceites tensioactivos	DBO, DQO, conductividad, toxicidad, metales pesados, N, P, pH

Fuente: Crespi, M., & Huertas, J. (1987).

2.1.3 Colorantes sintéticos y naturales

“Los colorantes son las sustancias químicas que tienen la propiedad de absorber ciertas longitudes de onda y reflejar otras.” (Cazares Ramirez, 2008). En los procesos de tintura, en donde se da color a los géneros textiles, el uso de los colorantes sintéticos es lo más común. “Debido a estos procesos la industria textil genera agua residual conteniendo fenoles, sulfuros, cromo y colorantes. Estos últimos son uno de los contaminantes que llama la atención, por el color y debido a que algunos son de difícil degradación.” (Garces & Peñuela, 2017). Por otro lado, “Existen dos problemas ambientales graves debido a la presencia de color en el agua como es la interrupción del grado de iluminación en el medio acuático y la liberación de moléculas tóxicas por la descomposición de los colorantes” (Wichmann & Otterphohl, 2009).

“Una de las alternativas, para reducir la contaminación de las aguas descargadas por las tintorerías, es el uso de colorantes naturales en remplazo de los colorantes sintéticos. En este sentido, Obando (2013) manifiesta que, con la utilización de colorantes naturales se está incentivando a la disminución de la contaminación ambiental, que se produce por las tinturas con colorantes artificiales. Sobre este mismo aspecto, se dice que “Los colorantes vegetales representan una fuente sustentable respecto a su contraparte sintética, pues son un recurso renovable; los colorantes sintéticos no, ellos provienen del petróleo” (Ecotintes, 2016). Se menciona también que por su naturaleza los colorantes naturales son más amigables con el

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

ambiente; el uso de los colorantes naturales como un aspecto estratégico global de primer nivel, sobre todo para el desarrollo socio-económico de países emergentes, y en vistas de estimular el crecimiento económico sostenible a escala global.

“Los tintes naturales fueron los únicos usados desde la antigüedad hasta que se descubrieron los sintéticos a mediados del siglo XIX” (Martínez, 2009). “Los tintes naturales son sustancias obtenidas de diferentes partes de plantas con cualidades de colorear o teñir, mediante diferentes procesos” (Morales, 2002). Entre los muchos colorantes vegetales naturales que se pueden utilizar para tinturar lana están el guarango (*Caesalpinia Spinosa*) y el nogal (*Junglans Neotrópica*). Por el contrario, sobre los colorantes sintéticos se dice que: “son peligrosos para los consumidores y muy peligrosos para los trabajadores de la industria.” (Ecotintes, 2016). Los colorantes sintéticos son actualmente los más utilizados en la industria textil, debido a su disponibilidad, bajo precio y relativa facilidad de procesar. También porque, “los colorantes artificiales poseen mejores características funcionales y tecnológicas que los naturales, lo que les hace más apropiados para usar” (Parra, 2004).

2.1.4 Comparación entre colorantes sintéticos y colorantes naturales

Existen muchos trabajos de investigación sobre la tintura con colorantes naturales y sintéticos; estos se han realizado para dar color a diferentes fibras, se han utilizado diferentes colorantes naturales y sintéticos, para obtener diferentes colores. Así, por ejemplo, Obando (2003) en su trabajo de investigación sobre tintura de lana con colorantes naturales manifiesta que los colores obtenidos en las pruebas de tintura son: del guarango un color café, de la manzanilla un color crema, del shanshi un color gris, del nogal un color habano; la mayoría son tonos bajos, además concluye que los usos de estos colorantes influyen de mejor manera en el ambiente. Sin embargo, en este y otros trabajos no se indica porque los colorantes naturales son beneficiosos al ambiente, no se basan en datos debidamente validados para hacer estas afirmaciones, más bien se han enfocado al análisis de la influencia de los parámetros en el proceso de tintura, obteniendo conclusiones sobre la calidad de tinturas y sus costos, pero no se han dirigido a establecer como la utilización de estos colorantes contribuye a la disminución de la contaminación de las aguas residuales.

De acuerdo a la empresa Ecotintes (2016), la comparación entre tintes sintéticos con tintes naturales se puede dividir en cuatro fases, estas son: La fabricación del colorante, el proceso de teñido, el uso de los productos por los consumidores y por último su disposición

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

final o reciclaje. En cada fase es necesario analizar los materiales que entran y que salen.

El desarrollo de este trabajo, se enfoca a la fase del proceso de teñido, del cual se analizará el efluente líquido generado.

2.1.5 Proceso de tintura de lana

“El proceso de teñido no solo consiste en aplicar color sobre una fibra, sino en distribuirlo uniformemente a través de la misma y fijarlo lo más permanente posible.” (Cazares Ramirez, 2008). El proceso de tintura de lana puede ser realizado por agotamiento o por impregnación. El más utilizado es el de agotamiento, en este interviene el agua, en la cual se disuelven los colorantes y auxiliares de tintura, y se sumerge la materia prima que se va a procesar.

El proceso de tintura de lana con colorantes artificiales se realiza en un solo baño de tintura y los colorantes ácidos son los más utilizados. El proceso de tintura con colorantes ácidos se representa en la figura 1, en esta se relaciona el tiempo con la temperatura que debe tener el baño de tintura durante todo el proceso y se indica también cuando adicionar los colorantes, auxiliares y el momento en el que se debe botar el baño de tintura.

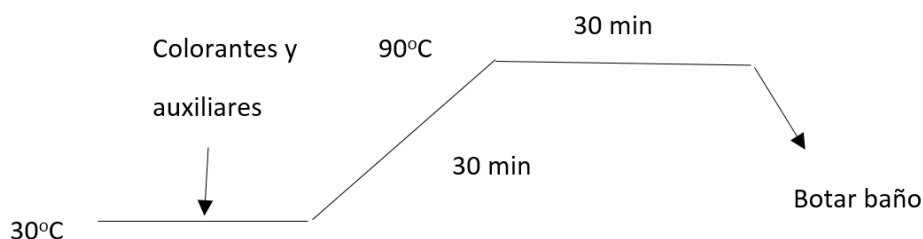


Figura 1. Curva de proceso de tintura de lana con colorantes sintéticos. (IMBATEX, 2016)

El proceso de tintura de lana con colorantes naturales, requiere de dos fases, la primera en donde se realiza el proceso de mordentado, necesaria para fijar el colorante, y la segunda, la tintura. Obando (2013) en su trabajo sobre la tintura con colorantes naturales, indica que el mordentado de la lana es esencial para el fijado del color, de ello depende que el color perdure o no en el tiempo.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Se puede hacer básicamente tres tipos de mordentado: Antes, durante o después del teñido. El más utilizado es el que se realiza antes del teñido y es cuando se prepara la lana con anterioridad a sumergirla en el baño de tintura, este proceso se representa en la figura 2.

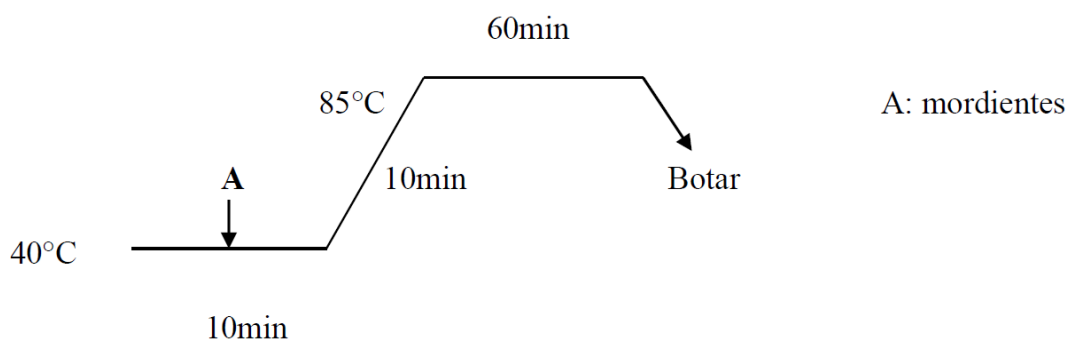


Figura 2. Curva de proceso de mordentado de lana. (Paredes, 2002)

Con la finalidad de obtener tinturas de buena calidad en relación a la uniformidad, resistencia a la luz, al lavado y al frote; así como para que los elementos colocados en el baño de tintura, como los colorantes y auxiliares, se agoten o transfieran a la fibra en su mayor parte; es necesario que los parámetros que intervienen en el proceso estén en condiciones adecuadas. Según Obando (2013), estos parámetros son: Dureza del agua, pH, relación de baño, temperatura, tiempo, cantidad de colorante y auxiliares.

2.1.6 Características de las aguas residuales de las tinturas

La composición química de las aguas descargadas va a depender en gran medida de la formulación de los colorantes y auxiliares utilizados en función del color y la intensidad de esté, esperada en el producto final. En general, en las aguas provenientes de los procesos de tinturas textiles se pueden encontrar sustancias como sales, metales y restos de colorantes, los cuales contaminan el agua. En la figura 3 según Freire (2012), se hace referencia a los parámetros que se evalúan en las aguas residuales y la forma en que estos pueden clasificarse.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

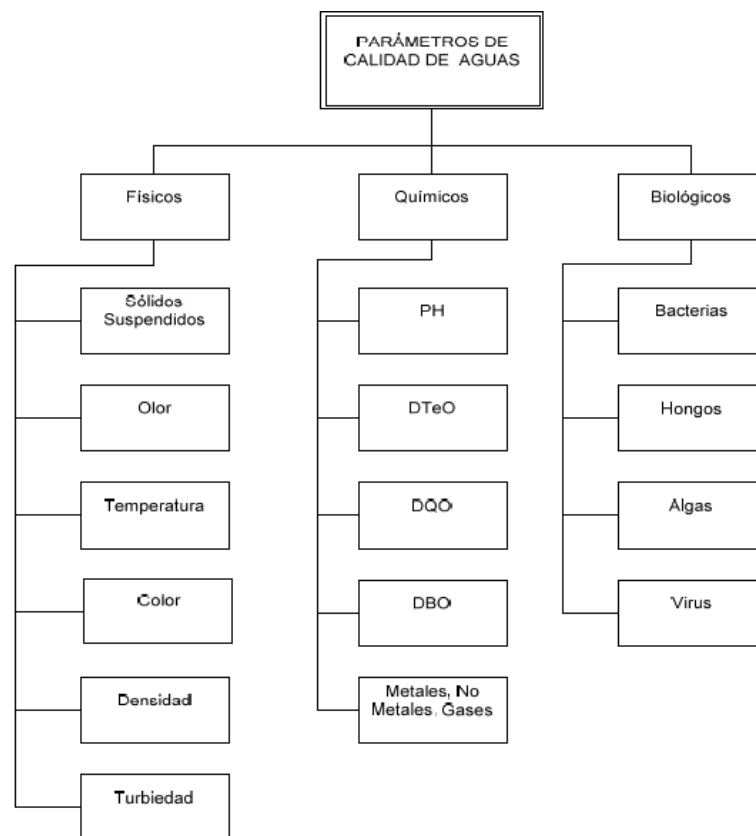


Figura 3. Parámetros que se evalúan en las aguas residuales. (Freire,2012)

En su investigación sobre los colores removidos en los textiles, Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G., & Orhon, D. (1996), indican las características de las aguas residuales procedentes de las tinturas de lana, cuyos valores representativos a este tipo de tinturas, se indican en la tabla 3.

Tabla 3. Característica de las aguas residuales procedentes de tinturas de lana

Parameter	Unit	Acid Dye Composite I	Acid Dyeing Bath
COD	mg ⁻¹	2500	7920
BOD ₅	mg ⁻¹	1400	-
Color	APHA Pt-Co	890	2225
SO ₄ ²⁻	mg ⁻¹	645	1800
TSS	mg ⁻¹	15	-
pH	-	4.6	4.6

Fuente: Color removido de aguas residuales textiles; Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G., & Orhon, D. (1996)

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

2.1.7 Caracterización de las aguas residuales de los procesos de tintura

De acuerdo a la Norma Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, Ordenanza Municipal 404, los parámetros que se deben ser analizados para la caracterización de las aguas residuales procedentes de las tintorerías de lana son: DQO, DBO₅, sólidos suspendidos y caudal; parámetros que se consideran para el control de las aguas provenientes de las tintorerías de lana, Tabla 6. Límites máximos permisibles para el sub sector lanero (Tintorería de lana) en donde se tiene los parámetros específicos para las tintorerías del sector lanero. También, estos parámetros pueden observarse en la Norma de Calidad Ambiental, Acuerdo Ministerial 097-A de noviembre 2015. Tabla 5. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

2.2 MARCO LEGAL

Con relación al agua, como un recurso natural muy importante para la vida de los seres humanos y ecosistemas, es muy importante considerar que la calidad de aguas descargas al alcantarillado o causes, provenientes de procesos industriales, en este caso de tinturas textiles, estén con valores de los parámetros de calidad dentro del intervalo que marca la legislación vigente. A continuación, se hace mención la normativa legal pertinente al tema de investigación.

2.2.1 Normas ambientales

En la norma suprema de la república del Ecuador, la **CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**, publicada en el Registro Oficial NO 449 del 20 de octubre de 2008. última modificación 3 de julio 2011, se hace referencia al agua; así, en el Capítulo II – Sección primera: Agua y alimentación, Art 12, se indica que el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. También, en la Sección Segunda: Ambiente sano Art. 14. Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

En el **CODIGO CIVIL LIBRO II**, última modificación 3 de diciembre 2012, Art. 612, se indica que: “Los ríos y todas las aguas que corren por cauces naturales, así como los lagos naturales, son bienes nacionales de uso público”. Sin embargo, en el Art. 874 se dice que: “El dueño de un predio puede hacer uso de las lluvias y de cualesquiera otras que corran ocasionalmente por caminos públicos o quebradas secas, inclusive cambiando su curso con

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

arreglo a la Ley de Aguas.” En consecuencia, es factible que las empresas textiles pueden hacer uso de estas aguas, especialmente para utilizarse en los procesos húmedos, como los de tintorería.

Con respecto a las obligaciones y responsabilidades, así como a las competencias de los organismos de control, en la **LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL REGISTRO OFICIAL SUPLEMENTO 418 DE 10 DE SEPTIEMBRE DE 2004, TITULO I AMBITO Y PRINCIPIOS DE LA GESTION AMBIENTAL, Art. 1**, se establece los principios y directrices de política ambiental, referente a las obligaciones y responsabilidades sobre los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia. En esta ley, se establece que: “(...) las políticas generales sobre el desarrollo sustentable para la conservación del patrimonio natural y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales establecerán el Presidente de la República al aprobar el Plan Ambiental Ecuatoriano (...)” (Art. 7). Y sobre la competencia de los organismos de control, en esta ley, en el **Art. 10** se establece que: “Las instituciones del Estado con competencia ambiental forman parte del **Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental** y se someterán obligatoriamente a las directrices establecidas por el **Consejo Nacional de Desarrollo Sustentable**.”

Sobre la Evaluación de Impacto Ambiental y del Control Ambiental, aspectos relacionados con la investigación desarrollada, se determina que:

“Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.” (Art.19).

Aspectos que se relacionan con las normativas, multas sobre efluentes e incentivos a la producción, se mencionan también en esta ley ambiental; así, en el **Art. 33** se establece como instrumentos de aplicación entre algunas normas ambientales, las normas de efluentes que serán regulados en el respectivo reglamento; también, en el **Art. 34** se menciona sobre la aplicación de normas ambientales, las contribuciones y multas destinadas a la protección ambiental y uso sustentable de los recursos naturales; y, por el contrario, en el **Art. 35** se habla sobre incentivos a las actividades productivas, en este sentido, se indica que: “El Estado establecerá incentivos económicos para las actividades productivas que se

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

enmarquen en la protección del medio ambiente y el manejo sustentable de los recursos naturales.” (Art. 35).

Una de las normas más utilizadas en lo referente al control de efluentes de aguas residuales, es la que está en el **ACUERDO MINISTERIAL 097-A**. Para el cumplimiento de la norma referente a la prevención y control, es necesario citar las definiciones que constan en esta normativa jurídica y que tienen relación con el tema de investigación; estas son:

“(…) Agua residual: es el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

Agua residual industrial: agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales.

Carga máxima permisible: Es el límite de carga de un parámetro que puede ser aceptado en la descarga a un cuerpo receptor o a un sistema de alcantarillado.

Caracterización de aguas residuales: proceso destinado al conocimiento integral y estadísticamente confiable de las características del agua residual (doméstica e industrial) e integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos.

Contaminación del agua: cualquier alteración de las características físicas, químicas o biológicas, en concentraciones tales que la hacen no apta para el uso deseado, o que causa un efecto adverso al ecosistema acuático, seres humanos o al ambiente en general.

Criterio de la calidad del agua: concentración numérica o enunciado descriptivo recomendado sobre parámetros físicos químicos y biológicos para mantener determinado uso benéfico del agua (...).

Cuerpo receptor: río, cuenca, cauce o cuerpo de agua que sea susceptible de recibir directa o indirectamente el vertido de aguas residuales.

Descarga de aguas residuales: Acción de verter aguas residuales a un sistema de alcantarillado o cuerpo receptor.

Descarga Puntual: cualquier fuente definida de la cual se descargan o pueden descargarse contaminantes.

Efluente: Descarga o vertido líquido proveniente de un proceso productivo o de una actividad determinada.” (p. 8,9)

Según el Anexo I, libro VI del TULAS, dentro de las industrias manufactureras, se indica los parámetros más importantes que se deben controlar en las diferentes áreas productivas de la industria textil. En la tabla 4 se indica los parámetros y contaminantes que se debe monitorear antes de hacer las descargas de las aguas residuales.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 4. Parámetros de monitoreo de las descargas industriales para industrias manufactureras

CIU	ACTIVIDAD INDUSTRIAL	PARAMETROS DE MONITOREO
D. INDUSTRIAS MANUFACTURERAS		caudal, DBO, DQO, SST, SAAM, Grasas y aceites, Sulfatos (SO ₄), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Selenio (Se), Cinc (Zn), Color, Sulfuros, Sólidos totales.
1710	Preparación e hilatura de fibras textiles	
1720	Tejedura de productos textiles	
1730	Acabado de productos textiles producidos en otra unidad	
1742	Fabricación de tapices y alfombras para pisos	
1743	Fabricación de cuerdas, cordeles, cables, bramantes y redes	
1749	Fabricación de otros artículos textiles	

Fuente: Anexo I, Libro VI TULAS. Tabla 12. Adaptado.

Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en el **Acuerdo Ministerial 097-A**, ver **Anexo A Límites de descarga al sistema de alcantarillado público** en la cual se hace referencia a descargas de agua puntual al sistema de alcantarillado de todo tipo de actividades; sin embargo, en la tabla 5, se indica los valores de los parámetros más importantes que se deben controlar en los procesos de tinturas, parámetros que además son los que se analizaron en esta investigación.

Tabla 5. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	220,0
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600,0

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A. Tabla 8. Adaptado

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Los límites para el color verdadero o real mencionados en el mismo acuerdo 097-A, pero en la tabla correspondiente a descargas de aguas a un cuerpo receptor, se lo hace con la referencia de que, en una dilución de uno a veinte, el color sea inapreciable.

Con referencia a las normas generales para descargas de efluentes al sistema de alcantarillado, cuerpo receptor sobre el cual está enfocado esta investigación, en el numeral 5.2.3.1 se indica que se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado y que las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos por esta norma.

Y en el numeral 5.2.3.5, de la misma norma, se advierte que las descargas al sistema de alcantarillado de actividades sujetas a control, deberán cumplir al menos los valores máximos permitidos, en el cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Sin embargo, que en el Acuerdo Ministerial 097-A se indican todos los parámetros con los límites máximos permitidos para descargas. En la Norma Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, en donde la actividad textil es muy significativa, se tiene una norma ambiental específica para las descargas de aguas residuales procedentes de tintorerías de lana, esta normativa se denomina, ***NORMAS TÉCNICAS PARA LA APLICACIÓN DE LA CODIFICACIÓN DEL TÍTULO V, “DEL MEDIO AMBIENTE”, LIBRO SEGUNDO, DEL CÓDIGO MUNICIPAL PARA EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO,*** en esta se tiene normados los parámetros para las descargas, en alcantarillado y causes de río, estos parámetros permitidos se puede observar en la tabla 6 siguiente:

Tabla 6. Límites máximos permisibles para el sub sector lanero (Tintorería de lana)

Parámetros	Expresado como	Unidad	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE			
			Junio 2004 a Mayo 2006	Junio 2006 a Mayo 2008	Junio 2008 a Mayo 2010	Junio 2010
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	198(A) 178 (C)	172(A) 142 (C)	146(A) 106 (C)	120(A) 70 (C)
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	564(A) 512 (C)	456(A) 382 (C)	348(A) 253 (C)	240(A) 123 (C)
Sólidos suspendidos	SS	mg/l	158(A) 141 (C)	137(A) 112 (C)	116(A) 82 (C)	95(A) 53 (C)
Caudal	Q	l/kg. de producción	378	378	378	378

Nota: (A) Alcantarillado y (C) Cause de agua.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Fuente: Norma Técnica, (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2005)

2.2.2 Normas procedimentales

Para la obtención de muestras es importante seguir la norma técnica respectiva, en este caso, en el país se tiene este tipo de normas en el Acuerdo Ministerial 097-A e INEN.

En el Acuerdo Ministerial 097-A, se indica que el muestreo es: “es el proceso de tomar una porción, lo más representativa, de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas.” (p. 10).

Por otro lado, “Las aguas, particularmente las aguas superficiales y sobre todo las aguas residuales, son susceptibles a cambios en diferente grado como resultado de las reacciones físicas, químicas o biológicas, las cuales tienen lugar desde el momento del muestreo y durante el análisis.” (INEN, 1998).

De acuerdo a lo expuesto y para tomar precauciones antes y durante el transporte, es importante seguir una norma para la conservación de las muestras, esta norma puede ser la NTE INEN 2 169:98, Art. 4, que trata sobre el manejo y conservación, uso de recipientes apropiados, preparación de recipientes, llenado del recipiente, refrigeración y conservación de las muestras, identificación de las muestras, transporte de las muestras y recepción de las muestras en el laboratorio.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Proceso de tintura

“El proceso de teñido no solo consiste en aplicar color sobre una fibra, sino en distribuirlo uniformemente a través de la misma y fijarlo lo más permanente posible” (Cazares Ramirez, 2008). En general, existen dos formas de tinturar las fibras, la una es mediante la afinidad del colorante con la fibra y la segunda, mediante impregnación. Según Obando (2010), en el caso del proceso por afinidad, método de tintura llamado por agotamiento, en este el colorante del baño pasa progresivamente a la fibra hasta saturarla y quedar fijada en él. En este proceso, el colorante y auxiliares colocados en el baño de tintura reacciona con la fibra progresivamente mientras sube la temperatura, al final del proceso, se bota el baño en el cual quedan restos de los colorantes y auxiliares adicionados.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

2.3.2 Mordentado de la lana

“El pre tratamiento de mordentado se hace para mejorar la solidez del colorante en la lana. El mordiente se fija en la fibra y sobre éste se fija el colorante.” (Martinez, 2009). Este proceso es muy importante, puede ser realizado antes, durante o después del proceso de tintura; el más utilizado es el que se lo hace antes del proceso de tintura.

2.3.3 Colorantes

“El colorante se define como: “cualquier sustancia de los productos químicos pertenecientes a un extenso grupo de sustancias para colorear tejidos, (...). Productos alimenticios y otras sustancias” (MICROSOFT, 2003). Así también:

“El colorante es una sustancia que se aplica a cualquier cuerpo para efectuar una modificación persistente del color original y que, en varias formas de su aplicación, puede ser disuelto o dispersado en un fluido, difundiéndose de este modo dentro del cuerpo a colorear.” (Paredes, 2002).

En la industria textil, a los colorantes se les denomina como todas aquellas sustancias capaces de teñir o dar color a una materia textil; la materia colorante adicionada a una fibra textil, altera la capacidad de reflejar la luz, alterando las longitudes de onda reflejados por su superficie, cuyas ondas son captadas por el ojo humano.

2.3.3.1 Colorantes sintéticos

Los colorantes sintéticos son colorantes obtenidos por síntesis química, se tienen generalmente en polvo y para utilizarlos se disuelven previamente. Paredes (2002) indica que, entre estos colorantes se tienen a los colorantes ácidos, los cuales pueden teñir directamente las fibras proteicas y el Nylon en baño ácido y algunas de las celulósicas en baño neutro.

2.3.3.2 Colorantes naturales

Los colorantes naturales son aquellos que se obtienen de la naturaleza, son de origen animal, vegetal y mineral. Los colorantes de origen vegetal son los más utilizados en colorear a los textiles.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

“Para teñir se puede utilizar diversas partes de las plantas: cortezas de los árboles, las raíces, las hojas, las flores, los frutos o vainas. Hay una gran variedad de plantas que sirven para teñir, principalmente las silvestres. Por ejemplo: la nuez, el achiote, la chilca, el guarango, la manzanilla y mucho más.” (Paredes, 2002).

Según el Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, IIA, Facultad de Agronomía (2007), los tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, cumplen con las especificaciones de calidad exigidas por el mercado. En el continente americano se tienen muchas especies de plantas que pueden ser utilizadas para tintes y colorantes. Shams-Nateri (2011) indica que a pesar que la mayoría de las plantas tienen un material de color, pero dado que la cantidad de color y su solidez no es idéntica entre sí, no pueden todas las plantas ser utilizadas en el teñido de textiles. Además, “La reproducción exacta es un punto casi imposible por el origen natural de la materia prima que provee el color,” (Martinez, 2009). Por otra parte, “Este tipo de colorantes no tienen por si mismos el poder de entintar, solo con un tratamiento especial de sales metálicas solubles que reaccionan sobre la fibra.” (Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, IIA, Facultad de Agronomía, 2007). Tratamiento especial que se denomina mordentado y que es necesario hacerlo siempre que se usa un colorante natural, con el propósito de fijar el colorante a la fibra.

2.3.4 Aguas residuales

El agua residual de acuerdo a lo indicado en el Acuerdo Ministerial 097-A, “es el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.” (p. 8). También se define al agua residual industrial como: “agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales” (p. 8).

2.3.5 Caracterización de aguas residuales

La caracterización es un procedimiento normado para la determinación de las propiedades químicas del agua, con la finalidad de establecer el grado de calidad del agua, en función de su contaminación. Es un “proceso destinado al conocimiento integral y estadísticamente confiable de las características del agua residual (doméstica e industrial) e integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos.” (Ministerio del Ambiente, 2015). La caracterización es un procedimiento normado para la determinación de las propiedades químicas del agua, con la

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

finalidad de establecer el grado de calidad del agua, en función de su contaminación. La caracterización del agua puede ser realizada mediante algunos parámetros, en el caso de las aguas residuales textiles se utilizan aquellos que resulten de un balance de masa, considerando lo que entra y lo que sale, tanto en el producto obtenido; así como, en los residuos.

2.3.5.1 pH

Coefficiente que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. “La palabra pH es la abreviatura de "pondus Hydrogenium". Esto significa literalmente el peso del hidrógeno. El pH es un indicador del número de iones de hidrógeno.” (LENNTECH, 2016). El pH está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia, el pH no tiene unidades; se expresa simplemente por un número, así pH 7 es neutro y cuando una solución es neutra, el número de protones iguala al número de iones hidroxilo

2.3.5.2 DQO

La demanda química de oxígeno (DQO), es un parámetro analítico de contaminación del agua, mide el material orgánico que contiene la muestra líquida mediante oxidación química. “La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2016). DQO se expresa en mg/L de O_2 , puede considerarse como una medida aproximada de la demanda de oxígeno consumido para oxidar la materia orgánica y transformarle en inorgánica.

2.3.5.3. DBO₅

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia, disuelta o en suspensión, susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida. Según Santambrosio, E., Ortega, M., & Garibaldi, P. (s.f.), definen al DBO como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. También puede definirse como “es una medida de la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aerobias, en un período de 5 días y a 20 °C”. (Amilcar, 2008)

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

2.3.5.4 Sólidos suspendidos y sólidos totales

Los sólidos son considerados en forma general como la materia en suspensión o disuelta en el agua de cualquier tipo; según Metcalf y Eddy (1995), los sólidos totales son todo el materia orgánico e inorgánico que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Además, indican que los sólidos totales se clasifican en filtrables (sedimentables) y o no filtrables (sólidos en suspensión).

Los sólidos suspendidos son todas las sustancias que no pueden pasar por un filtro de dos micrones y se diferencian de los sólidos disueltos ya que este si puede pasar por el filtro. García, M., Doria, C., & Pitre, L. (2013), menciona que los sólidos suspendidos son partículas sólidas pequeñas, inmersas en un fluido, en flujo turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias, que contrarrestan la fuerza de la gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo.

2.3.5.5 Color

De acuerdo a Freire (2012), el color en aguas residuales es el resultado de la presencia de los sólidos suspendidos, materia coloidal y sustancias en solución. Se debe considerar que la expresión de color define al color aparente y al color verdadero o real; en este sentido, Ceveriche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013), mencionan en su libro sobre manual para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en el agua, que el término color aparente engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla y el color verdadero es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad, esto luego de filtrarla.

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación que evaluó el grado de contaminación de las aguas residuales provenientes de los procesos de tintura con colorantes naturales y con colorantes sintéticos es exploratoria, por cuanto no utilizó ningún modelo anterior como base de estudio, la razón por la que no se basó en ningún estudio es porque no existe un estudio que analice comparativamente el nivel de contaminación entre estos dos tipos de aguas residuales. En el desarrollo de la investigación se utilizaron los métodos experimental y comparativo. Mediante el método experimental se procedió a realizar las pruebas de tintura, para obtener las aguas residuales y con el método comparativo, se evaluó los resultados obtenidos a través de la caracterización de las aguas residuales. El estudio comparativo se desarrolló en base al análisis de los parámetros de calidad de dos tipos de aguas residuales, dos casos a analizarse. En el primer caso se analizó los parámetros que caracterizan las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y en el segundo caso se analizó los parámetros que caracterizan las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos; y al final, se realizó una evaluación comparativa entre los dos casos de aguas.

Los parámetros de calidad de las aguas residuales que se analizan en esta investigación, fueron considerados en base a la Norma de Calidad Ambiental actual, **Acuerdo Ministerial 097-A**, sobre las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, en el que se indica que deberán cumplir al menos, con los Tabla 24. Límites máximos permisibles para descargas al sistema de alcantarillado en las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

La investigación se realizó en dos fases: en la primera se seleccionó y determinó el número de muestras de los colorantes, tanto de los colorantes naturales como de los colorantes sintéticos; seleccionados los colorantes naturales se procedió a extraer el colorante a partir de las cinco plantas, posteriormente se hicieron las pruebas de tintura, utilizando los cinco colorantes naturales y los cinco colorantes sintéticos. En la segunda fase se analizó las aguas residuales procedentes de todas las pruebas de tintura y luego con los resultados obtenidos, se evaluó la contaminación de los dos tipos de aguas investigadas, mediante la comparación con los límites permisibles de la norma ambiental vigente y con los índices de calidad y contaminación del agua. Todas estas actividades realizadas en la investigación, se indican en la figura 4.

La obtención de los colorantes naturales se hizo siguiendo el procedimiento de extracción por maceración. Este proceso comprende la obtención de la materia vegetal, clasificación y limpieza de las partes a utilizarse, el secado de las partes seleccionadas, la trituration para hacer las partes más pequeñas, la extracción del colorante se realizó por maceración con agua y alcohol etílico al 96% y finalmente la filtración para eliminar las impurezas y residuos sólidos del líquido que contiene el colorante.

Las pruebas de tintura se hicieron en el laboratorio de la Planta Académica Textil de la Universidad Técnica del Norte, para lo cual se utilizó lana 100% previamente lavada proveniente de la empresa IMBATEX, a esta materia prima se le tinturó con cinco colorantes naturales y cinco colorantes sintéticos, de cuyos procesos se obtuvieron las aguas residuales para el análisis. Antes de las pruebas de tintura con colorantes naturales, se realizó un proceso de mordentado a la lana, con la finalidad de ayudar a fijar el colorante a la fibra, el agua residual de este proceso también será analizada.

La caracterización de las aguas residuales, se realizó en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK, de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, se analizó los parámetros DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, pH, color aparente y color verdadero.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

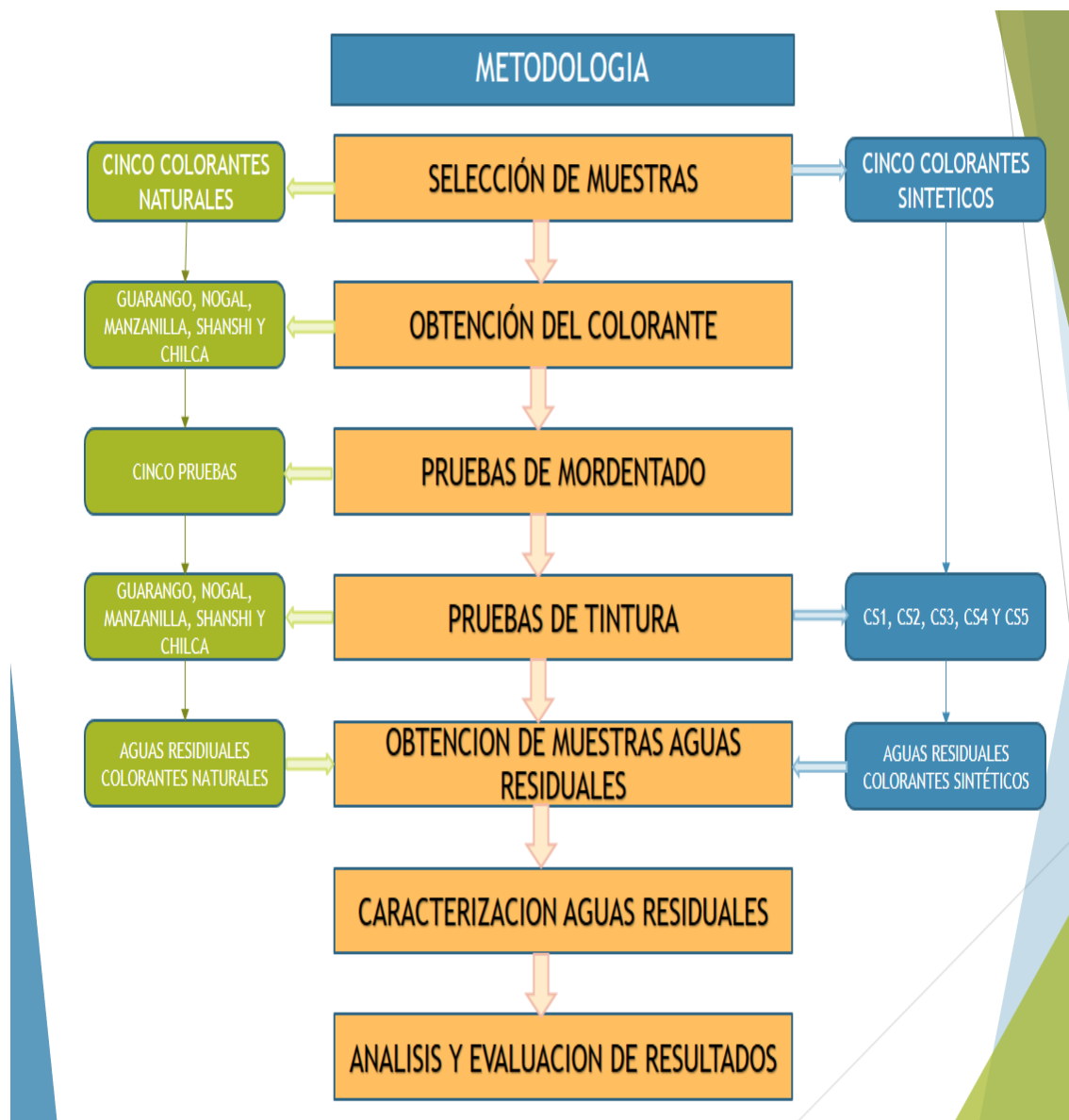


Figura 4. Etapas de la investigación

3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información requerida para el desarrollo de este trabajo se obtuvo de fuentes secundarias a través de estudios realizados sobre tinturas de la lana, colorantes, análisis de aguas residuales, estudios de tratamiento de aguas, evaluación de aguas residuales en la industria textil, métodos de análisis de aguas, normativas ambientales y más temas relacionados a la investigación. De fuentes primarias, se obtuvo información de empresas textiles, específicamente de empresas que tienen los procesos de tintura como es de la empresa IMBATEX.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

3.2 DISEÑO MUESTRAL

“La comparación entre tintes sintéticos con tintes naturales se puede dividir en cuatro fases, estas son: La fabricación del colorante, el proceso de teñido, el uso de los productos por los consumidores y por último su disposición final o reciclaje. En cada fase es necesario analizar los materiales que entran y que salen.” (Ecotintes 2016).

Esta investigación se enfocó a la fase del proceso de teñido, específicamente en la evaluación de las aguas residuales mediante el análisis comparativo de dos tipos de casos, aguas residuales procedentes de las tinturas con colorantes naturales y aguas residuales procedentes de las tinturas con colorantes sintéticos. Para cada uno de los casos de tinturas se seleccionaron cinco tipos de colorantes; en el caso de los colorantes naturales se seleccionó los que se obtienen de plantas, porque son de los que se pueden obtener en mayor número y en el caso de los colorantes sintéticos se seleccionó a los colorantes ácidos, porque son los más utilizados.

3.2.1 Selección de las muestras

La selección del número de muestras de tintura, se realizó en base al número de colorantes utilizados. Para el caso de los colorantes naturales se consideró a las plantas, porque existe un gran número de especies de plantas de donde se puede extraer; la inexistencia de un número específico de colorantes existentes; la variación de especies de plantas de un lugar o región a otra; la existencia de especies de plantas en el lugar de ejecución del proyecto y la existencia de trabajos previamente realizados sobre obtención y tinturas realizadas con estos colorantes la inexistencia de un número exacto de plantas de las cuales se puede extraer el colorante. Así, en uno de los pocos estudios que trata sobre la identificación del número de colorantes naturales, Trillo, Demaio, Colantonio, & Galeto (2007), manifiestan en el estudio realizado sobre plantas tintóreas existentes en la provincia de Córdoba, en Argentina, se llegó a determinar la existencia de 36 especies tintóreas; es importante también indicar que la disponibilidad de plantas, de las que puedan extraerse colorantes, varían de una región a otra o de un país a otro.

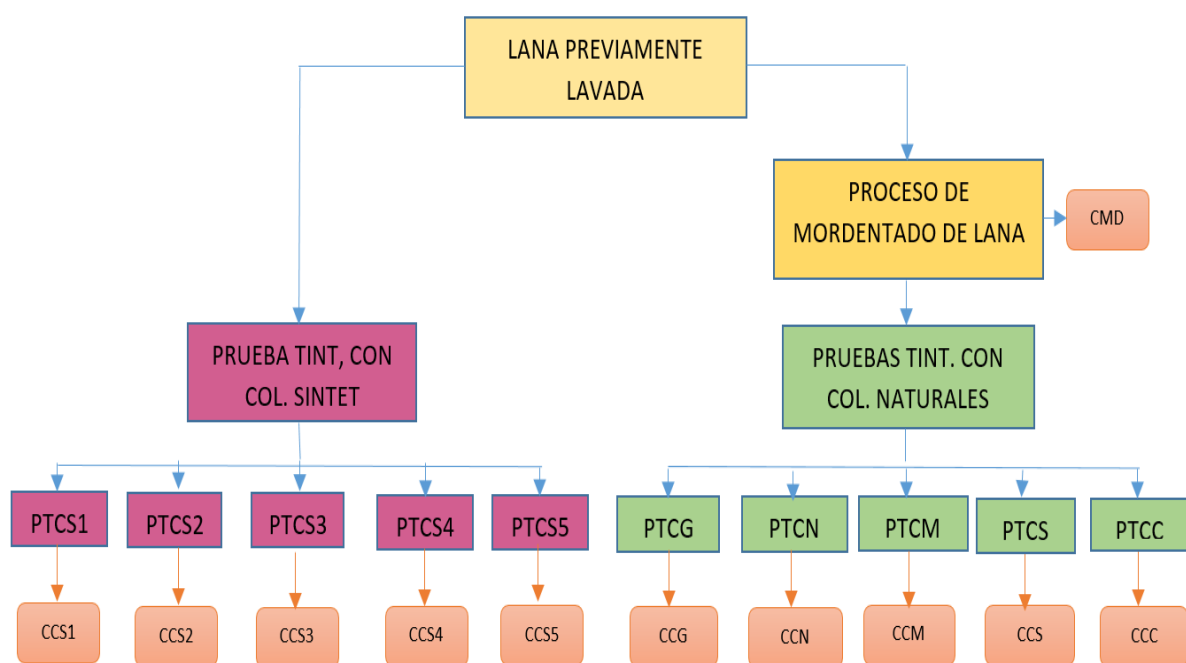
Considerando lo indicado anteriormente se seleccionó para este estudio a cinco colorantes extraídos de plantas como representativos del grupo de colorantes naturales, estos son: dos procedentes de árboles, el guarango (*Caesalpinia spinosa*) y nogal (*Juglans regia*); dos de arbustos, el shanshi (*Coriaria thymifolia*) y chilca (*Baccharis latifolia*); y uno de hierba, la manzanilla (*Anthemis tinctoria*).

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Los colorantes sintéticos utilizados para dar color a la lana, existen de algunas marcas y clases, entre todos estos se eligió a los colorantes ácidos por cuanto estos son los más utilizados en la industria textil lanera, tienen gran afinidad por la lana y su uso en el proceso es relativamente fácil. Al igual que el número seleccionado de colorantes naturales, se seleccionó también a cinco de estos colorantes ácidos para el estudio.

3.3 METODOLOGÍA DE CAMPO

A partir de la lana previamente lavada, la cual se utilizó en todas las pruebas de tintura, se procedió primeramente a realizar el proceso de mordentado a la lana destinada a las tinturas con colorantes naturales; luego, se hicieron las pruebas de tintura, utilizando los cinco colorantes naturales y cinco colorantes sintéticos. Las aguas residuales procedentes de cada una de las pruebas de tintura fueron recolectadas y posteriormente caracterizadas. En la figura 5 se ilustra el procedimiento seguido en la investigación de campo, se observa que las pruebas de tintura se hicieron con la misma materia prima, previamente tratada y lavada; en los dos casos de tinturas se realizaron cinco ensayos y de cada ensayo se hizo el respectivo análisis de aguas.



ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

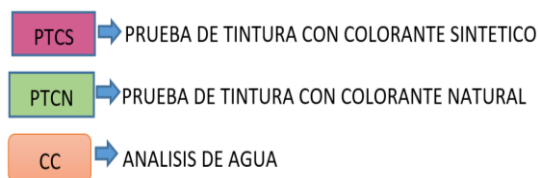


Figura 5. Estructura del proceso de tintura y caracterización aguas.

En total se realizaron un proceso de mordentado y diez pruebas de tintura, de cuyos procesos se obtuvieron las aguas residuales para el análisis de los parámetros de calidad respectivos.

3.3.1 Proceso de extracción de los colorantes naturales

Los colorantes naturales se obtuvieron a partir de las cinco plantas seleccionadas para el estudio. El proceso se inició con la recolección de las partes de las plantas, en los sitios en donde se desarrollan estas; luego se clasificó y limpió los vegetales recolectados; se procedió a secar durante diez días para facilitar el proceso de triturado; una vez que se obtuvo pedazos pequeños, se procedió a macerar en agua o en alcohol metílico para extraer el colorante; finalmente se hizo el filtrado con la finalidad de eliminar las impurezas y partes sólidas que contiene el líquido macerado. Este proceso se resume en la figura 6.

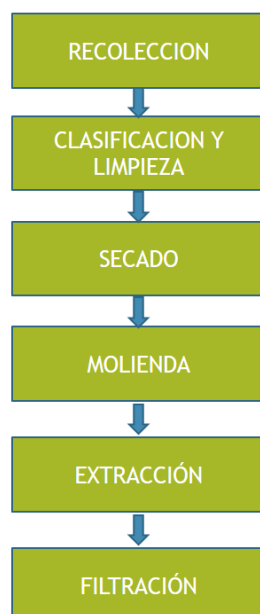


Figura 6. Proceso seguido para la obtención del colorante natural

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

El procedimiento seguido para la extracción del colorante fue el mismo para los cinco colorantes naturales obtenidos. La extracción de los colorantes naturales desde las plantas se hizo siguiendo el procedimiento de extracción por maceración

3.3.1.1 Recolección

Siguiendo las indicaciones de Paredes (2002), se recolectó el material de las diferentes partes de las plantas, evitando contaminar las muestras con otras plantas y materiales extraños. Posteriormente se procedió a eliminar manualmente hongos, líquenes y otras plantas que crecen asociadas o cercanas y que pueden incidir en la extracción del colorante.

3.3.1.2 Clasificación y limpieza

Al material recolectado, se le limpió y separó materiales. Este procedimiento se lo realizó en forma manual,

3.3.1.3 Secado

Con la finalidad de eliminar la humedad de la planta para evitar que se produzcan cambios importantes en su estructura, se procedió a secar las muestras recolectadas a la sombra. Las muestras se colocaron en recipientes de cartón, en un lugar donde no recibían los rayos solares y no se contaminaban con polvo u otros materiales extraños. El tiempo de secado fue de 10 días, tiempo en el cual, una vez al día se dio la vuelta las muestras, para que el secado sea uniforme. Las vainas del guarango fueron recolectadas secas, por lo que a este material no se lo realizó el proceso de secado.

3.3.1.4 Molienda

En este proceso, al material seco se lo trituró en un molino manual, se trató de obtener las partes lo más pequeñas posibles para facilitar el proceso de maceración. En este proceso, el material triturado no cambió de peso, pero sí cambió su forma y tamaño. En el caso de la manzanilla, los tallos utilizados no se pudieron triturar, por lo que se procedió hacer un corte con tijeras, tratando de hacer trozos con el menor tamaño posible.

3.3.1.5 Extracción

Según el informe final del proyecto sobre estudio tecnológico de la extracción de tintes

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

naturales, del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Universidad de San Carlos en Guatemala (2007), cada uno de los solventes utilizados para extraer el colorante, tienen diferentes poderes extractivos en función de la especie y existe diferencia significativa de la interacción entre especies y solventes. Razón por la cual se procedió extraer el colorante utilizando como Tabla 10. Pesos de plantas secas, solventes utilizados y colorante extraído el agua y alcohol etílico al 96%. Para conseguir un macerado uniforme, se cubrió completamente al vegetal triturado seco con el solvente

3.3.1.6 Filtración

Con la finalidad de separar el material sólido del líquido obtenido en el proceso de maceración, se procedió a filtrar utilizando un material a base de un no tejido de lana.

En la obtención de los colorantes naturales es importante la purificación del colorante, que se hace evaporando todo el solvente utilizado; sin embargo, por ser un proceso complejo, en esta investigación, no se procedió a purificar el colorante natural. En las pruebas de tintura se trabajó solamente con el extracto de colorante obtenido luego de la filtración.

El filtrado se hizo con un Anexo C. Equipos y máquinas utilizadas en la investigación el líquido separado del sólido contiene el colorante que se utilizó en las pruebas de tintura.

3.3.2 Mordentado de la lana y caracterización del agua residual

Para ayudar a la reacción química entre la lana y el colorante natural utilizado, se utilizó como mordiente el sulfato de aluminio. Se utilizó este mordiente porque según indica Martínez (2009), el sulfato de aluminio es un mordiente que tiene la propiedad de no alterar el color original de las plantas. Se aplicó en una proporción de 2,5 g/L. El proceso de mordentado se realizó en la máquina de laboratorio, SHR-24, de fabricación alemana, utilizada para tinturas tipo laboratorio, **Anexo C. Equipos y máquinas utilizadas en la investigación** La máquina tiene la característica de calentar el baño mediante rayos infrarrojos; además esta máquina dispone de un controlador automático en el que se le programó la curva de proceso de mordentado, esta curva de proceso se representa en la figura 7.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

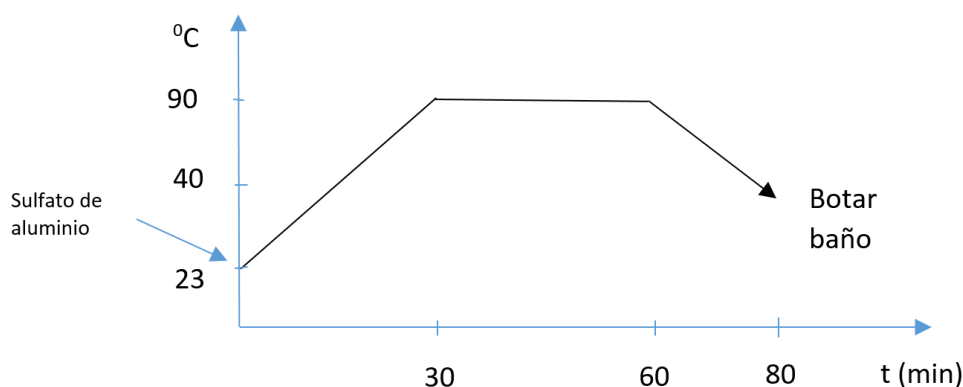


Figura 7. Curva del proceso de mordentado de lana

La cantidad total de lana mordentada fue de 1,02 kg, misma que se dividió para cinco procesos, 204 gr cada uno, lana que fue utilizada posteriormente en cada una de las pruebas de tintura con cada uno de los colorantes naturales.

3.3.3 Tinturas

Para las pruebas de tintura se utilizó la fibra de lana de oveja en forma de cinta, todas las pruebas se realizaron con la misma materia prima previamente lavada. Las tinturas se realizaron en la misma maquina utilizada en el proceso de mordentado, en la SHR-24. Se hicieron diez pruebas de tintura, de las cuales, cinco fueron con colorantes naturales y cinco con colorantes sintéticos. Los colorantes líquidos naturales utilizados fueron extraídos del guarango, nogal, manzanilla, shanshi y chilca; y los colorantes sintéticos en polvo utilizados fueron procedentes de diferentes casas comerciales.

En todas las pruebas de tintura se utilizó 204 gr de lana, distribuidas en 24 posiciones de trabajo, 8,5 gr por cada posición. La relación de baño utilizada fue de 1:20, relación con la que se obtiene mejores resultados en tinturas de lana, es decir se utilizó 170 ml de agua en cada posición de trabajo, dando un total de 4080 ml de agua para cada prueba de tintura. En el volumen total del baño está incluido el volumen del colorante líquido. Con la finalidad de mantener las mismas condiciones de proceso en todas las pruebas de tintura, se siguió la misma curva de tintura; aunque, el pH inicial tuvo una variación entre los dos tipos de tinturas.

En la figura 8, se indica la secuencia de los procesos seguidos en las pruebas de tintura.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Todas las pruebas de tintura se realizaron con la misma materia prima, previamente tratada, con esto se trató de mantener las mismas condiciones iniciales en todas las pruebas realizadas.

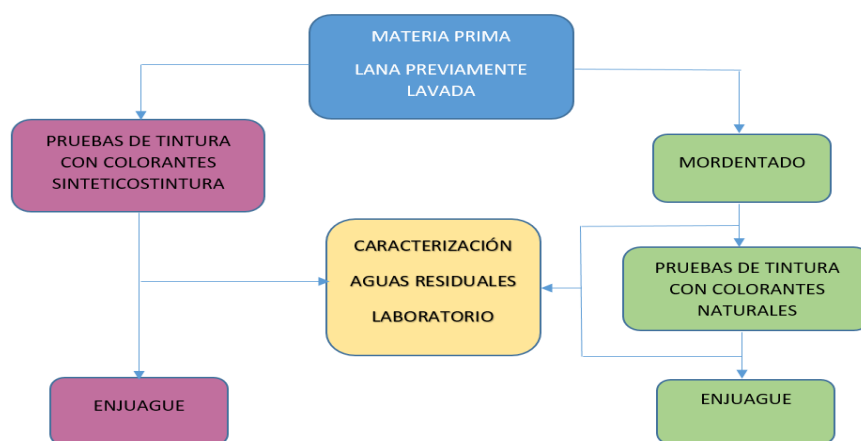


Figura 8. Proceso de tintura y lugar de recolección de muestras de aguas residuales

En las diez pruebas de tintura realizadas, tanto con colorantes naturales como con colorantes sintéticos, se utilizó la misma curva de tintura, curva que se puede apreciar en la figura 9.

El parámetro de proceso pH, no se mantuvo en igualdad de condiciones; en los colorantes naturales se trató de mantener la acidez que confirió al baño de tintura el mismo colorante natural añadido; en el caso de los colorantes manzanilla y chilca, que se extrajeron con el alcohol etílico se reguló el pH con el vinagre; en el caso de las tinturas con colorantes sintéticos se inició el proceso con pH 4,8 mismo que se tomó como referencia de las tinturas de la empresa IMBATEX. Los datos específicos de los parámetros de tintura se pueden observar en la Tabla 14. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes naturales Tabla 14. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes naturales; y en la Tabla 16. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes sintéticos.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

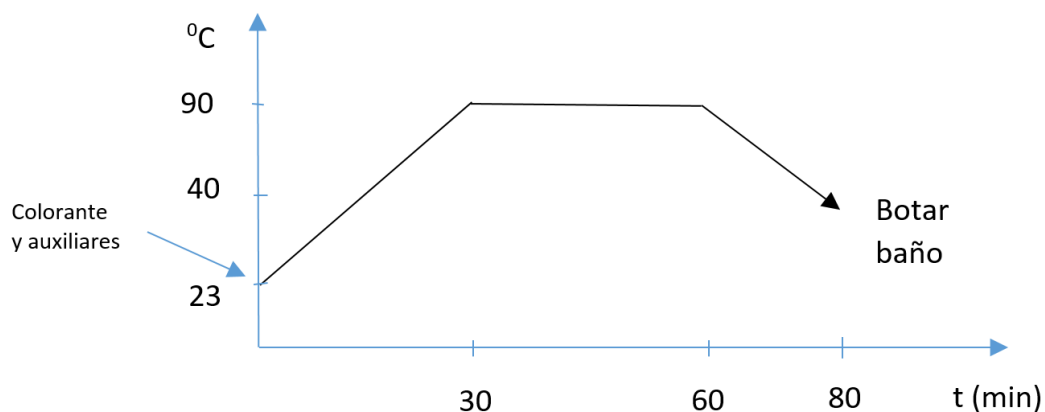


Figura 9. Curva de tinte seguido en las pruebas

En la curva de tinte se observa que el colorante y el ácido fórmico se colocan al inicio del proceso, a los 23 °C. Luego se procede a elevar la temperatura durante 30 minutos hasta llegar a los 90 °C, a esta temperatura se mantiene durante otros 30 minutos y luego se baja la temperatura hasta 40 °C. en un lapso de 20 minutos, finalmente se botó el baño de tinte. El baño descargado se recolectó para el análisis de aguas respectivo.

El equipo utilizado al ser digital y automático, permitió ingresar y seguir los parámetros del proceso conjuntamente con la curva de tinte en condiciones similares para cada una de las pruebas, esto permitió también asegurar la igualdad de condiciones en todos los ensayos realizados.

3.3.4 Obtención de muestras de aguas residuales

Las muestras de aguas residuales se toman inmediatamente luego de las descargas de los procesos de tinte, estas muestras puntuales, se las recoge en su totalidad del baño de tinte de la máquina de laboratorio, en donde se colocó 4,08 litros de baño de tinte.

Las muestras obtenidas fueron las siguientes: una del agua residual de las pruebas de mordentado, cinco de las tinturas con colorantes naturales y cinco de las tinturas con colorantes sintéticos; dando un total de 11 muestras de aguas para ser analizadas.

El manejo y conservación de las muestras, se siguió las Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico-químico, norma NTE INEN 2 169:98, artículo 4; ver [Anexo B](#). Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico-químico

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

En donde se aplicó los aspectos relacionados al uso de recipientes apropiados, preparación de recipientes, llenado del recipiente, refrigeración y conservación de las muestras, identificación de las muestras, transporte de las muestras y recepción de las muestras en el laboratorio, según la norma indicada.

3.3.5 Caracterización de las aguas residuales

Las muestras debidamente obtenidas, conservadas y transportadas, fueron analizadas en el laboratorio de aguas de la Universidad Internacional SEK, de la ciudad de Quito. En la tabla 7 se puede observar los métodos utilizados en el análisis de los parámetros que caracterizan las aguas residuales de cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 7. Métodos utilizados en la caracterización de las aguas residuales. Laboratorio UISEK

PARAMETRO	METODO
DQO	Hach. Reactor Digestión Method 8000
DBO ₅	Hach. Dilución Method 8043
Sólidos suspendidos totales	Standard Method, 2540D
Sólidos totales	Standard Methods, 2540D
pH	Hach. Standard Methods, 8156
Color aparente (Sin filtrar)	Hach 1660. Espectrofotómetro 4000, 2120D
Color verdadero (filtrado)	Hach 1660. Espectrofotómetro 4000, 2120D

Los parámetros analizados fueron DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, pH, color aparente y color verdadero

3.4 MÉTODOS Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS UTILIZADOS

La evaluación de los resultados obtenidos se realizó con el método comparativo, utilizando dos estilos, el descriptivo y el normativo. Con la comparación descriptiva se logró describir y explicar el nivel y diferencia de contaminación entre los dos casos estudiados a través de medidas de posición central como la media; y con medidas de dispersión, para determinar cuan dispersos están los datos, con la desviación típica, la varianza, valores mínimos y máximos y desviación estándar. Se comparó también las medias obtenidas con la normativa ambiental, con los límites permisibles. También se evaluó las aguas residuales

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

con los índices de calidad y contaminación de los dos tipos de aguas analizadas.

3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

La información obtenida se procesó con el paquete informático Microsoft, con los programas Word, Excel y también con el Past 3. Con estas herramientas informáticas se procedió a redactar la información obtenida, se realizaron tablas para registro y cálculo de datos, se sacaron las medidas estadísticas y se realizaron gráficos, con la finalidad de mejorar la visualización y comprensión de los resultados y evaluaciones realizadas.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se detalla el procedimiento y los resultados obtenidos de las diferentes etapas de la investigación realizadas. Se presentan los resultados de la extracción de los colorantes naturales líquidos obtenidos, de la caracterización de las aguas residuales de la prueba de mordentado y de todas las pruebas de tinturas realizadas. Posteriormente, en la segunda fase se describe el análisis estadístico realizado, las comparaciones con los límites permitidos en la norma ambiental y los cálculos de los índices de calidad y contaminación de las aguas residuales.

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Colorantes naturales obtenidos

En el proceso seguido para obtener los colorantes naturales a partir del guarango, nogal, manzanilla, shanshi y chilca, se obtuvieron los resultados que se indican a continuación.

4.1.1.1 Peso de partes de las plantas recolectadas

En la tabla 8 se indica el peso de las partes de las plantas utilizadas en la extracción de los colorantes naturales, este peso es el que se obtuvo directamente del material recolectado.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 8. Partes y peso de plantas utilizadas en la extracción del colorante natural

PLANTA	TIPO DE VEGETAL	PLANTA	
		PARTE UTILIZADA	PESO DE MATERIAL RECOLECTADO (g)
GUARANGO	Árbol	Vainas	380
NOGAL	Árbol	Cascara del fruto	800
MANZANILLA	Hierba	Tallo, hojas y flores	500
SHANSHI	Arbusto	Fruto	700
CHILCA	Arbusto	Hojas	700

Las diferentes partes de las plantas se recolectaron en base a la información obtenida de estudios previos realizados sobre el tema; así, del guarango se recolectó las vainas y en el caso de la chilca las hojas, partes que son más útiles para la obtención del colorante.

4.1.1.2 Secado

En la tabla 9 se indica los pesos de material seco obtenido luego de diez días de secado al ambiente, de las muestras recolectadas. En el caso del guarango no se realizó el secado, por cuanto las vainas recolectadas estuvieron secas.

Tabla 9. Pesos muestras utilizadas en la extracción del colorante.

PLANTA	PESO MATERIA HUMEDA (g)	PESO MATERIA SECA (g)	PORCENTAJE DE PESO PERDIDO (%)
GUARANGO	-	380	-
NOGAL	800	462	57,75
MANZANILLA	500	228	45,60
SHANSHI	700	362	51,71
CHILCA	700	321	45,86

En el sacado de las plantas, se pierde entre el 36% y 51,3% de peso, peso que corresponde a la humedad eliminada.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.1.1.3 Extracción

Del proceso de extracción por maceración en agua y en alcohol metílico, se obtuvo el extracto de colorante en forma líquida. En la tabla 10, se muestra las cantidades del colorante líquido obtenido en los cinco procesos realizados.

Tabla 10. Pesos de plantas secas, solventes utilizados y colorante extraído

COLORANTE	PESO DEL MATERIAL SECO (g)	SOLVENTE UTILIZADO EN EXTRACCION	PESO DEL SOLVENTE (g)	PESO TOTAL MATERIAL MACERADO (g)
GUARANGO	380	Agua	2000	2380
NOGAL	462	Agua	2000	2462
MANZANILLA	228	Alcohol metílico	1000	1228
SHANSHI	362	Agua	2000	2362
CHILCA	321	Alcohol metílico	1000	1321

4.1.1.4 Filtración

El extracto de colorante en forma líquida obtenido luego de los procesos de filtración realizados para cada uno de los colorantes, se indica en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados obtenidos en el filtrado del colorante

COLORANTE	PESO LIQUIDO MACERADO (g)	RESIDUO SOLIDO (g)	EXTRACTO DE COLORANTE LIQUIDO (g)	PORCENTAJE DE EXTRACTO LIQUIDO FILTRADO (%)
Guarango	2380	865,30	1514,70	63,64
Nogal	2462	926,45	1535,55	62,37
Manzanilla	1228	495,87	732,13	59,62
shanshi	2362	942,46	1419,54	60,10
Chilca	1321	628,40	692,60	52,43

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

El porcentaje de líquido filtrado en relación al líquido sin filtrar oscila entre el 52,435% y el 63,64%, el resto de porcentaje corresponde a los residuos sólidos e impurezas que no pasaron el filtro.

4.1.2 Pruebas de mordentado y tintura y caracterización de las aguas residuales

4.1.2.1 Mordentado de lana

Los principales parámetros del proceso de mordentado se pueden apreciar en la tabla 12, denominada hoja patrón, en esta se indica el peso de la lana procesada, la cantidad de agua con colorantes y auxiliares utilizados, la cantidad de sulfato de aluminio utilizado como mordiente y el pH con el cual se inició el proceso.

Tabla 12. Hoja patrón de pruebas de mordentado de lana

PESO MATERIAL:	204 gr			
RELACION BAÑO:	1:20			
TOTAL, BAÑO:	4080 ml			
MORDIENTE	RELACIÓN (g/L)	PESO (g)	pH INICIAL BAÑO	PRODUCTO OBTENIDO (g)
SULFATO DE ALUMINIO	2,5	10,2	3,72	204

Del procedimiento repetido cinco veces, uno para cada muestra, se obtuvo 204 g de lana mordentada que se utilizó posteriormente en las tinturas con colorantes naturales.

4.1.2.2 Parámetros de calidad de las aguas residuales del proceso de mordentado

De las cinco pruebas de mordentado realizadas con 204 gr de lana en cada una y en las mismas condiciones de proceso, se seleccionó una muestra de agua residual para la caracterización, cuyos parámetros de calidad obtenidos se indica en la tabla 13.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 13. Valores obtenidos en la caracterización del agua residual del proceso de mordentado

ENSAYO	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)		pH	COLOR (UPC)	
			SST	ST		APARENTE	VERDADERO
MORDENTADO	308	23,64	47	2432	3,10	325	90

Los datos registrados indican que el DQO y DBO₅ tienen valores normales, están dentro de los **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**; el valor de los sólidos suspendidos también está dentro de la norma; en cambio, los sólidos totales están bastante elevados, este valor indica la presencia de muchos sólidos disueltos en el agua residual; además, el pH está muy bajo y el color es normal.

4.1.2.3 Tintura de lana con colorantes naturales

Las condiciones con las cuales se realizaron las pruebas de tintura con los colorantes obtenidos a partir del guarango, nogal, manzanilla, shanshi y chilca, se registran en la hoja patrón, indicada en la tabla 14; también, se indica los resultados obtenidos con cada uno de los colorantes.

Tabla 14. [Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes naturales](#)

PESO MATERIAL:	204 gr			
RELACION BAÑO:	1:20			
TOTAL, BAÑO:	4080 mL			
COLORANTE	COLORANTE LIQUIDO (mL)	pH INICIAL BAÑO	AUXILIAR	COLOR OBTENIDO
GUARANGO	1000	3,28	—	CAMELLO
NOGAL	1000	3,80	—	CAFÉ
MANZANILLA	500	4,16	Vinagre	AMARILLO BAJO
SHANSHI	1000	4,40	—	GRIS
CHILCA	500	4,22	Vinagre	BLANCO VERDOSO BAJO

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

En el caso del guarango, nogal y shanshi, se observa que no es utilizado el auxiliar, por cuanto el pH requerido para la tintura, se dio con solo la adición de los colorantes líquidos; en cambio, en las tinturas con manzanilla y chilca, se utilizó el vinagre para bajar el pH del baño.

Se utilizó 500 mL de los colorantes manzanilla y chilca, porque de acuerdo a investigaciones realizadas sobre este tema, cuando se extrae el colorante con alcohol metílico, el resultado es mucho mejor en comparación con la cantidad de colorante extraído con agua, como fue el caso de la extracción del guarango, nogal y shanshi.

De las tinturas realizadas se obtuvieron los colores que se observan en la figura 10.



Figura 10. Muestras de lana, tinturadas con colorantes naturales

Los colores de izquierda a derecha son el resultado de las tinturas con guarango, nogal, manzanilla, shanshi y chilca; la muestra colocada en el centro, en la parte inferior corresponde a la materia prima utilizada en las tinturas.

4.1.2.4 Parámetros de calidad de las aguas residuales procedentes de las tinturas con colorantes naturales

La caracterización de las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales se realizó siguiendo la norma técnica NTE INEN 2169 y los Tabla 7. Métodos utilizados en la caracterización de las aguas residuales. Laboratorio UISEK registrados en la tabla 7.

Los valores obtenidos del análisis de las aguas residuales de las pruebas de tintura con los cinco colorantes naturales utilizados se indican en la tabla 7.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 15. Valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales

ENSAYO	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SOLIDOS (mg/L)		pH	COLOR (UPC)	
			SST	ST		APARENTE	VERDERO
GUARANGO	20887,50	8,88	272	27000	2,66	13400	4050
NOGAL	5675,00	21,52	411	6684	3,05	14600	13800
MANZANILLA	10120,00	22,52	44	348	3,40	80	43
SHANSHI	8460,00	21,16	131	4708	3,36	3860	2400
CHILCA	70225,00	22,12	10	1012	2,93	575	470

Los valores registrados revelan que en los cinco ensayos el DQO está bastante elevado, supera grandemente a la norma permitida que es 500 mg/L y el DBO, en cambio es muy bajo, está dentro de la norma, cuyo límite es 220 mg/L. En el caso de los sólidos, los resultados indican que la cantidad de sólidos suspendidos para algunos valores como el caso de las aguas del guarango y el nogal superan la norma de 220 mg/L, en cambio las aguas procedentes de las tinturas con manzanilla, shanshi y chilca están dentro de los límites; sin embargo, son elevados a excepción del agua residual de la tintura con manzanilla y chilca que está de acuerdo a la norma para descargas. En el caso de pH, todos los valores no cumplen con la norma, el agua es muy ácida. Y el color también tiene valores elevados a excepción de las aguas residuales en el caso de la tintura con manzanilla.

4.1.2.5 Tintura de lana con colorantes sintéticos

Estas pruebas de tintura se realizaron siguiendo las mismas condiciones del proceso seguido en las tinturas con colorantes naturales, con la diferencia que el colorante ya no fue líquido, sino en polvo y la regulación del pH se hizo con ácido fórmico en sustitución del vinagre.

En la tabla 16 se indica los valores para los diferentes parámetros utilizados; 204 g de material; 4080 mL de baño; 2,04 g de colorante que representa el 1% de este en relación al peso de la lana; el pH con el que se inicia el proceso y que está alrededor de 4,8. También se indica los colores obtenidos en cada una de las pruebas.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 16. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes sintéticos

PESO MATERIAL:	204 g				
RELACION BAÑO:	1:20				
TOTAL, BAÑO:	4080 mL				
COLORANTE	COLORANTE (%)	COLORANTE (g)	pH INICIAL BAÑO	AUXILIAR	COLOR OBTENIDO
SINTETICO 1	1	2,04	4,81	Acido fórmico	azul eléctrico
SINTETICO 2	1	2,04	4,80	Acido fórmico	fuxia
SINTETICO 3	1	2,04	4,78	Acido fórmico	gris
SINTETICO 4	1	2,04	4,79	Acido fórmico	jean
SINTETICO 5	1	2,04	4,80	Acido fórmico	rojo

Los colores en la lana obtenidos con los colorantes sintéticos que se observan en la figura 11, de izquierda a derecha son el resultado de las tinturas con el colorante sintético uno, hasta el colorante sintético cinco, respectivamente. En el centro se ubica la muestra de lana inicial, sin tinturar.



Figura 11. Muestras de lana, tinturadas con colorantes sintéticos

En las cinco pruebas se utilizó el colorante al 1%, 2,04 gr de cada colorante a un pH

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

aproximado de 4,8 regulado con ácido fórmico y se obtuvieron cinco colores diferentes de acuerdo al color utilizado con cada colorante

4.1.2.6. Caracterización de las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos

Al igual que el proceso seguido en la caracterización de las aguas residuales de colorantes naturales, en la caracterización de las aguas residuales de colorantes sintéticos se siguió exactamente el mismo proceso. Los resultados obtenidos para los parámetros de calidad de las aguas analizadas, se pueden apreciar en la tabla 17, en donde los valores del DQO superan los límites de la norma; los del DBO₅, están dentro de la norma; los sólidos suspendidos totales, los sólidos totales y el pH, tienen valores que cumplen la norma; el color aparente y verdadero, tienen también sus valores elevados.

Tabla 17. Valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de tinturas con colorantes sintéticos

PROCESO TINTURA	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SOLIDOS (mg/L)		pH	COLOR (UPC)	
			SST	ST		APARENTE	VERDERO
SINTETICO 1	873	23,08	16	1200	6,37	5000	1620
SINTETICO 2	708	9,80	210	1200	6,44	140	412
SINTETICO 3	858	20,72	100	1212	6,35	1000	1085
SINTETICO 4	1064	20,48	132	1012	6,32	1000	875
SINTETICO 5	817	20,32	146	1300	6,36	193	685

4.2 ANÁLISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS

El análisis de los valores obtenidos se realizó mediante la estadística descriptiva, con medidas de tendencia central y de dispersión, a través de un análisis comparativo entre los valores de los parámetros DQO, DBO₅, SST, ST, pH, y los límites permitidos para descargas al sistema de alcantarillado público, indicados en la norma ambiental vigente, Acuerdo Ministerial 097-A. Para el caso del color, que no consta en parámetros de control para descargas al sistema de alcantarillado público, se utilizó para la comparación, los límites de los parámetros de descarga a un cuerpo receptor de agua dulce. Al final se calculó los índices de contaminación y calidad de las aguas.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.2.1 Análisis de resultados mediante estadística descriptiva

4.2.1.1 Resumen estadísticos de los parámetros que caracterizan las aguas residuales

La media y el coeficiente de variación expresado en porcentaje, calculados para los parámetros analizados, en las aguas residuales de los dos casos que se analizan, se representan en las dos tablas siguientes. En la tabla 18 se hace referencia a los datos estadísticos de las aguas residuales con colorantes naturales y en la tabla 19, a los datos estadísticos de las aguas residuales con colorantes sintéticos.

Tabla 18. Media y coeficiente de variación, de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales

MEDIDA ESTADISTICA	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SOLIDOS (mg/L)		pH	COLOR (UPC)	
			SST	ST		APARENTE	VERDERO
Media	23073,50	19,24	173,60	7950,40	3,08	6503,00	4152,60
Coeficiente de variación (%)	116,94	30,22	96,14	137,92	10,02	107,78	135,48

De acuerdo al coeficiente de variación de los valores indicados en la tabla 18, se determina que existe una elevada dispersión en los parámetros DQO, SST, ST, color aparente y verdadero; en cambio, la dispersión con respecto a la media en el DBO₅ y pH, es normal y hay homogeneidad en los valores obtenidos.

La tabla 19 muestra el coeficiente de variación de los valores de calidad de las aguas con colorantes sintéticos, se observa que tienen una dispersión normal. En el caso del pH, que tiene un coeficiente de variación de 0,7%, indica que existe homogeneidad en la acidez en todas las aguas residuales. En cambio, en el caso del color aparente, el 137,65% revela que existe una elevada dispersión en los cinco valores obtenidos.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Tabla 19. La media y el coeficiente de variación, de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes sintéticos.

MEDIDA ESTADISTICA	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SOLIDOS (mg/L)		pH	COLOR (UPC)	
			SST	ST		APARENTE	VERDERO
Media	864,00	18,88	120,80	1184,80	6,37	1466,60	935,40
Coeficiente de variación (%)	14,94	27,54	58,73	8,89	0,70	137,65	48,74

Para una mejor distinción entre las medias y coeficientes de variación en los dos casos de aguas residuales caracterizadas, en la tabla 20 se registra estos valores calculados.

Tabla 20. La media y coeficiente de variación de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales y sintéticos.

MEDIDA ESTADISTICA	TIPO DE AGUA RESIDUAL	PARAMETROS						
		DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	pH	COLOR APARENTE (UPC)	COLOR VERDERO (UPC)
Media	Col. Natural	23073,50	19,24	173,60	7950,40	3,08	6503,00	4152,60
	Col. Sintético	864,00	18,88	120,80	1184,80	6,37	1466,60	935,40
Coeficiente de variación (%)	Col. Natural	116,94	30,22	96,14	137,92	10,02	107,78	135,48
	Col. Sintético	14,94	27,54	58,73	8,89	0,70	137,65	48,74

Los valores de la media de los parámetros de calidad de las aguas residuales que corresponden a las tinturas con colorantes naturales, a excepción del pH, son mayores que las aguas residuales correspondientes a los colorantes sintéticos, lo que indica que las aguas residuales de los colorantes naturales son más contaminadas. También, los valores del coeficiente de variación en el caso de las aguas correspondientes a los colorantes naturales son mayores que los valores de las aguas de colorantes sintéticos, lo que sugiere que existe más dispersión de contaminación cuando se utilizó los cinco colorantes naturales; caso contrario, cuando se utilizó los cinco colorantes sintéticos, se obtuvo homogeneidad en los valores de contaminación de las aguas residuales.

En la figura 12, se visualiza de mejor manera la diferencia entre los valores de las medias

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

y coeficientes de variación en los parámetros de calidad de las aguas residuales analizadas. Se distingue claramente que los valores medios de los parámetros de calidad de las aguas residuales de colorantes naturales, color verde, son mayores; en cambio, los valores medios de los parámetros de calidad de las aguas de colorantes sintéticos, color café, son menores. El DQO en el caso de los colorantes naturales es bastante mayor que el DQO de los colorantes sintéticos. Los valores del pH por ser muy bajos, no se aprecia ninguna diferencia significativa, pero, de acuerdo a los valores de la tabla 20, se diferencia que el pH en los naturales es más bajo, lo que indica mayor acidez y alejamiento del límite inferior de la norma.

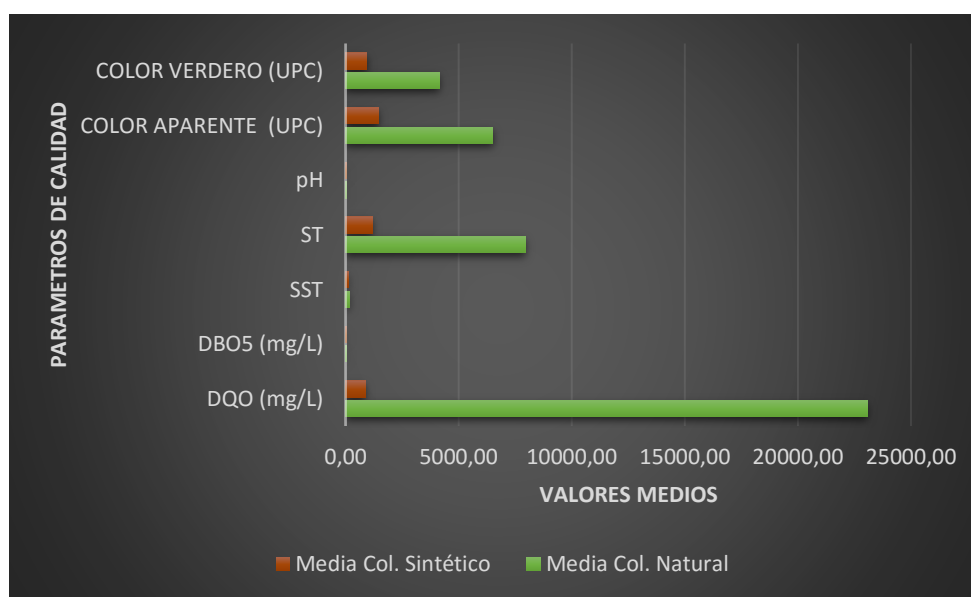


Figura 12. Valores comparativos de los parámetros de calidad de las aguas, mediante la media

En la figura 13, se diferencia fácilmente que los valores del coeficiente de variación en el caso de las aguas con colorantes naturales, son más altos en todos los parámetros, que el otro tipo de aguas estudiado, lo que demuestra que existe mayor dispersión de los valores obtenidos y que sus valores se alejan en mayor proporción del valor medio calculado.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

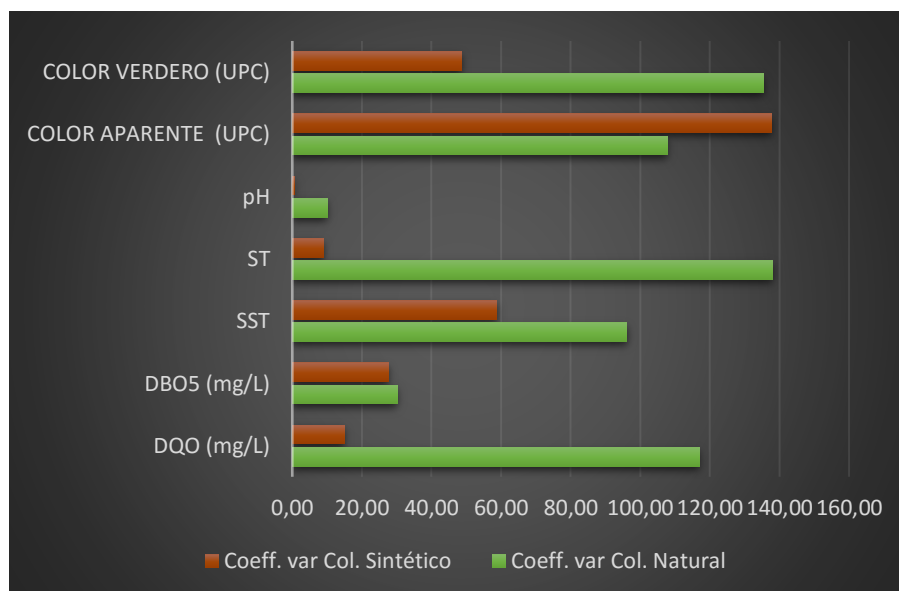


Figura 13. Valores comparativos de los parámetros de calidad de las aguas, mediante el coeficiente de variación

4.2.1.2 Resumen comparativo de los parámetros de calidad con la norma ambiental

Los valores obtenidos en la caracterización de los parámetros DQO, DBO₅, SST, ST y pH, se relacionan con los límites de descargas de efluentes al sistema de alcantarillado público que constan en tabla 8, del Acuerdo Ministerial 097-A, relación que se expresa en porcentajes que están sobre y bajo la norma ambiental. En la tabla 24, se muestra los porcentajes sobre y bajo la norma que presenta cada parámetro analizado según, se indica con signo positivo al porcentaje que está sobre los límites y con signo negativo al porcentaje que está bajo los límites. Se indica también, el porcentaje promedio para las aguas residuales con colorantes naturales y con colorantes sintéticos.

Tabla 21. Parámetros de calidad de las aguas residuales, que están sobre y bajo los límites de descargas al alcantarillado, en porcentajes

AGUA RESIDUAL DE TINTURAS CON COLORANTES	DQO (%)	DBO ₅ (%)	SOLIDOS (%)		pH (%)	PROMEDIO (%)
			SST	ST		
NATURALES	4514,7	-92,30	-21,09	396,90	48,67	969,37
SINTETICOS	72,80	-92,45	-45,09	-25,95	-6,13	-19,36

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

En la tabla 24 se indica también, los parámetros DBO₅ y ST de las aguas residuales de los colorantes naturales que están bajo el límite permisible y los parámetros DQO, ST que están sobre los límites permisibles y el pH en un 48,67 % está fuera del límite. En el caso de las aguas residuales de colorantes sintéticos, se observa que únicamente el DQO, esta sobre el límite de la norma ambiental, los otros parámetros están bajo los límites permisibles.

De acuerdo a los porcentajes promedios calculados, se tiene que, en el caso de las aguas residuales de colorantes naturales, el valor de 969,37% indica que en promedio todos los parámetros sobrepasan los límites y en el caso de las aguas residuales con colorantes sintéticos, el -19,36% indica que todos los parámetros en promedio están bajo los límites permisibles. En consecuencia de los porcentajes indicados, se establece que el agua residual de los colorantes naturales presenta contaminantes sobre los límites permisibles de la norma ambiental y no podrían ser descargados directamente al sistema de alcantarillado público, sin antes hacer un tratamiento de aguas; en cambio, el porcentaje promedio de los contaminantes en las aguas residuales de colorantes sintéticos, indica que esta agua residual si está bajo los límites permisibles de la norma y si podrían ser descargados al alcantarillado público.

4.2.1.3 Normalidad de los datos obtenidos

Con la finalidad de establecer si los valores de los parámetros de calidad de las aguas residuales se distribuyen normalmente, se someten los datos al test de normalidad. Así, en las tablas 21 y 22 se indican los valores de p(normal) obtenidos en las pruebas Shapiro-Wilk W, Anderson-Darling A y Jarque-Bera JB, a la que fueron sometidas todos los valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales.

Tabla 22. Normalidad de los valores en los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales

	DQO	DBO ₅	SST	ST	pH INI	pH FIN	CAPAR	CVERD
N	5	5,00	5	5	5,00	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0.7235	0.8247	0.7591	0.7572	0.9072	0.9188	0.8267	0.791
p(normal)	0.01661	0.1269	0.03603	0.03464	0.451	0.5224	0.1314	0.06836
Anderson-Darling A	0.7236	0.4361	0.6232	0.6382	0.3173	0.2648	0.4502	0.5536
p(normal)	0.02206	0.1653	0.04472	0.04024	0.3756	0.5172	0.1494	0.07307
p (Monte Carlo)	0.0158	0.1799	0.0435	0.0371	0.4378	0.6039	0.1604	0.0763
Jarque-Bera JB	1.499	0.6638	1.191	1.395	0.6205	0.4255	0.7222	1.232

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

p(normal)	0.4726	0.7176	0.5513	0.4977	0.7333	0.8084	0.6969	0.5401
p (Monte Carlo)	0.0179	0.2778	0.0525	0.0297	0.3422	0.6729	0.2113	0.0498

Las pruebas muestran que, de conformidad con la impresión visual de los histogramas DQO, SST y ST, con las pruebas Shapiro-Wilk W y Anderson-Darling A, que son las más exactas, se evidencian que son distribuciones no normales, por lo que deberían ser transformadas para que se ajusten a una distribución normal; sin embargo, con la prueba de Jarque-Bera JB en donde p(normal) es superior a 0,05 esta distribución es normal. Es decir que si se considera la prueba de Jarque-Bera JB, para todos los parámetros, existe normalidad y los datos podrían seguir algún procedimiento estadístico. Según esta prueba de referencia el nivel de confianza de todos los parámetros es superior a 0,05%.

Tabla 23. Normalidad de los valores en los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes sintéticos

	DQO	DBO5	SST	ST	pH INI	pH FIN	CAPAR	CVERD
N	5	5	5	5	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,9385	0,7365	0,9741	0,8517	0,9609	0,9079	0,7195	0,9731
p(normal)	0,6555	0,02224	0,901	0,1999	0,814	0,4552	0,01516	0,8946
Anderson-Darling A	0,2944	0,7493	0,2067	0,5081	0,2318	0,3469	0,7378	0,1861
p(normal)	0,4367	0,01841	0,7239	0,1006	0,6205	0,3077	0,01996	0,8047
p (Monte Carlo)	0,5143	0,0136	0,8197	0,1019	0,7264	0,3552	0,016	0,8894
Jarque-Bera JB	0,2945	1,444	0,2047	0,6376	0,2887	0,5928	1,502	0,3427
p(normal)	0,8631	0,4859	0,9027	0,727	0,8656	0,7435	0,472	0,8425
p (Monte Carlo)	0,8543	0,0263	0,9323	0,3172	0,8574	0,4033	0,0187	0,8126

Las pruebas muestran que, de conformidad con la impresión visual de los histogramas DBO₅ y Color, con las pruebas Shapiro-Wilk W y Anderson-Darling A, que son las más exactas, indican que las distribuciones no son normales, por lo que deberían ser transformadas para que se ajusten a una distribución normal; sin embargo, con la prueba de Jarque-Bera JB en donde p(normal) es superior a 0,05 los datos tienen una distribución normal. Es decir que si se considera la prueba de Jarque-Bera JB, para todos los parámetros, existe normalidad y los datos no deberían ser rechazados y considerados para algún

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

procedimiento estadístico. Según esta prueba de referencia el nivel de confianza de todos los parámetros es superior a 0,05%.

Según la prueba Jarque-Bera JB, existe una distribución normal en todos los parámetros de los dos tipos de casos; por lo que, se puede continuar con el análisis utilizando todos los datos tabulados.

4.2.3 Análisis comparativo entre los parámetros de calidad de las aguas residuales con la norma ambiental

Para este análisis se tomó como referencia el CUERDO Ministerial 097-A, norma ambiental vigente con la cual se comparan los valores medios obtenidos de cada uno de los parámetros analizados, en los dos tipos de aguas residuales. En la tabla 23 se muestra los valores máximos permitidos por la norma ambiental vigente.

Tabla 24. Límites máximos permisibles para descargas al sistema de alcantarillado

PARÁMETRO	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)	pH
VALOR LÍMITE MAX. PERMITIDO	500	250	220	1600	6-9

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A. Tabla 8. Adaptado

4.2.3.1 Análisis comparativo del DQO.

Los valores obtenidos en el análisis de este parámetro, se comparan con los 500 mg/L de la norma ambiental. En la figura 14, se aprecia como los valores de DQO del agua correspondiente al colorante de chilca, supera en gran porcentaje el límite permitido, 4077,5%, siendo este colorante el más contaminante en cuanto al DQO. Se observa también que los valores obtenidos del DQO, en las aguas residuales de los cinco colorantes naturales, no son homogéneos, su coeficiente de variación promedio es de 90,64%.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

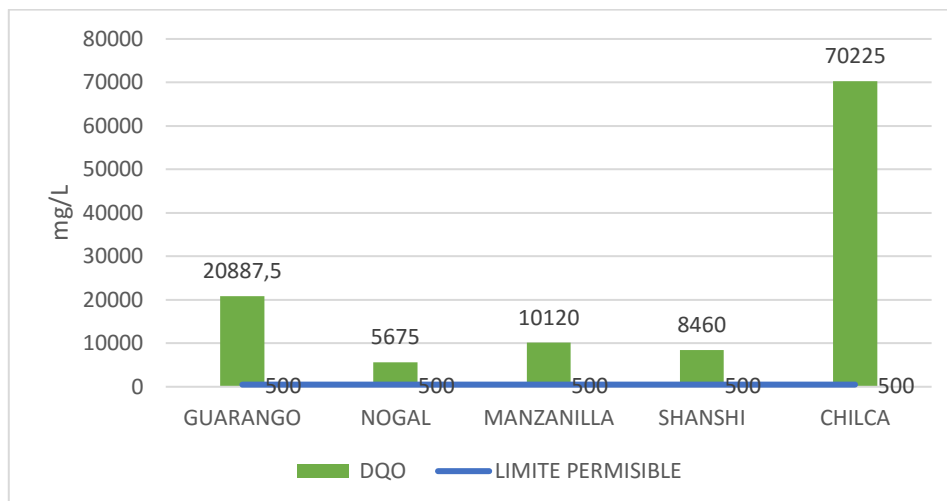


Figura 14. DQO en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales.

En la figura 15, se observa también que el DQO de todas las aguas residuales provenientes de las tinturas con colorantes sintéticos están por encima del límite de la norma ambiental; supera el límite máximo con un valor promedio de 72,80%. Por otra parte, los cinco valores obtenidos de DQO tienen homogeneidad, su coeficiente de variación es 14,94%.

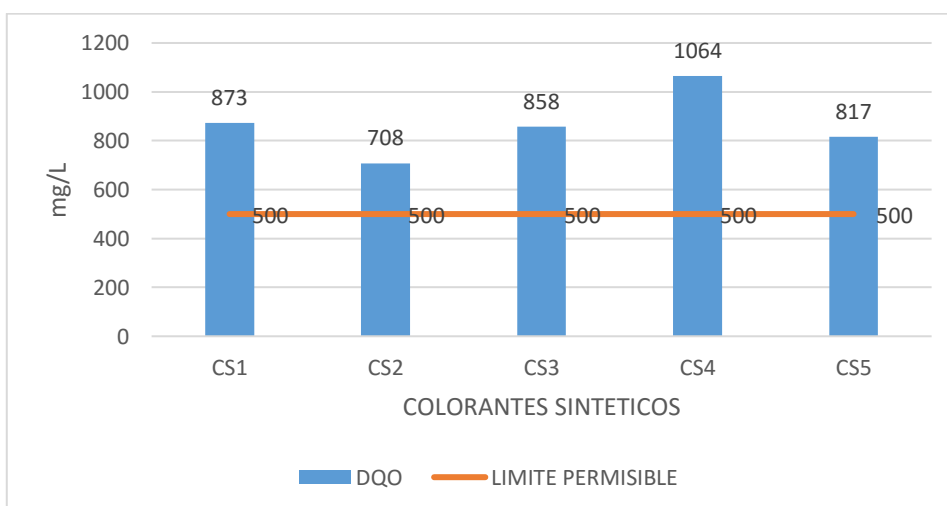


Figura 15. DQO en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos.

Comparando los valores medios DQO obtenidos en la caracterización de los dos tipos de aguas, con el límite permitido por la norma, se tiene que el DQO de las aguas con colorantes

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

naturales es mayor en 26,71 veces que las aguas con colorantes sintéticos, equivalente al 2570,54%. En la figura 16, se diferencia claramente como el DQO, color verde, de las aguas residuales de colorantes naturales es mayor que el DQO, color azul, de las aguas residuales con colorantes sintéticos. La línea del DQO de los colorantes sintéticos, apenas se distingue de la línea amarilla que corresponde al límite permitido, esto revela que el DQO de las aguas residuales con colorantes sintéticos está ligeramente superior al límite máximo permisible.

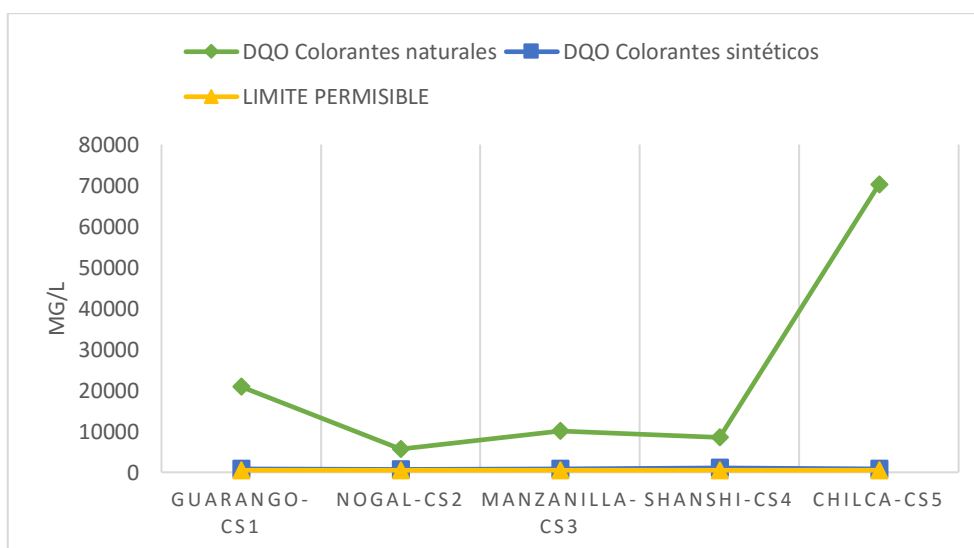


Figura 16. DQO en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintético.,

4.2.3.2 Análisis comparativo del DBO₅

Los valores del DBO₅ obtenidos en los análisis, se comparan con los 250 mg/L de la norma. En la figura 17 se aprecia que el DBO₅ de las aguas residuales con colorantes naturales está dentro del límite máximo permitido. Comparando su valor medio con el límite permitido, se establece que el DBO₅ de las aguas residuales de los colorantes naturales está por debajo del límite máximo en un 92,30%. Además, existe una homogeneidad aceptable de todos sus valores, el coeficiente de variación es de 30,22%.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

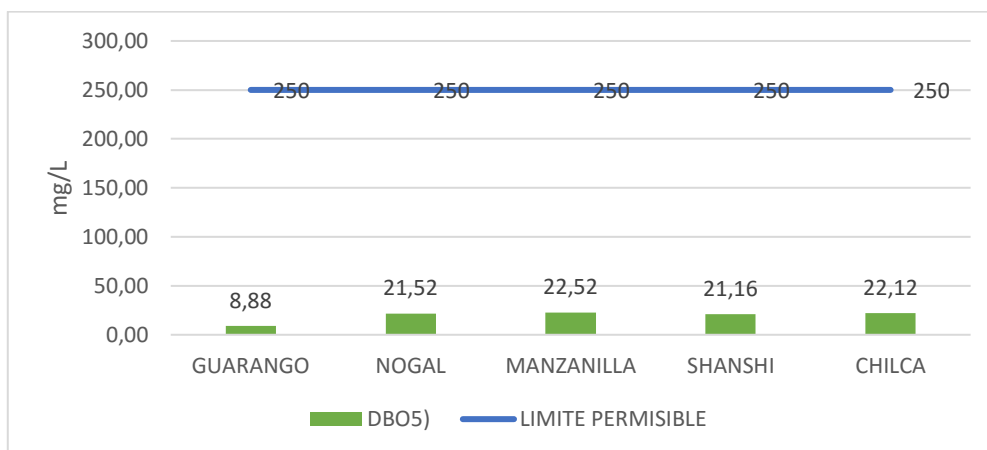


Figura 17. DBO₅ en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales.

En la figura 17 se distingue como el DBO₅ de las aguas residuales con colorantes sintéticos está bastante por debajo del límite permitidos; es decir, estos colorantes, en las tinturas de lana, generan una baja demanda bilógica de oxígeno. El valor medio del DBO₅ está en un 92,30% por debajo de la norma; también sus valores tienen homogeneidad, el coeficiente de variación es 27,54%.

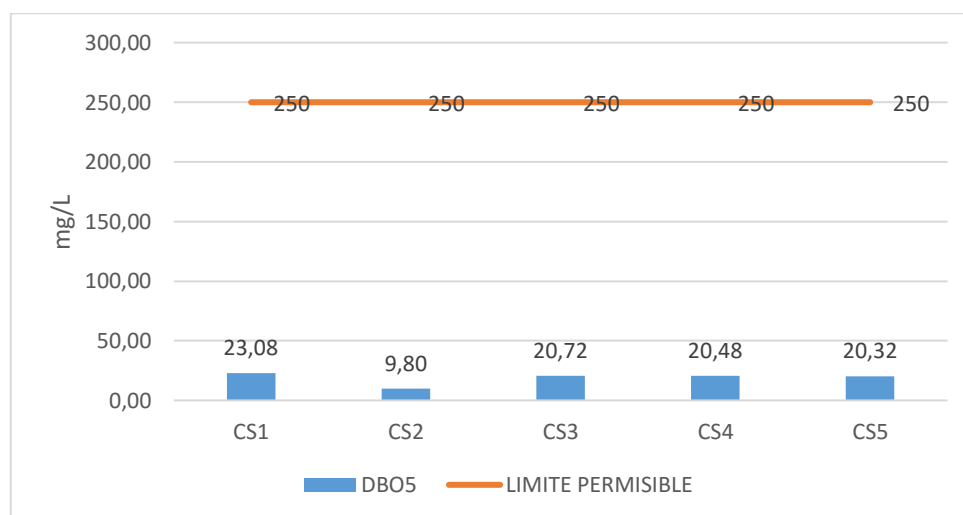


Figura 18. DBO₅ en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos.

Haciendo una comparación entre los valores medios del DBO₅ de las aguas residuales de los colorantes naturales y sintéticos, 19,24 mg/L y 18,88 mg/L, se observa que son relativamente iguales, aunque el DBO₅ de los colorantes naturales es mayor en apenas 1,02 veces.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

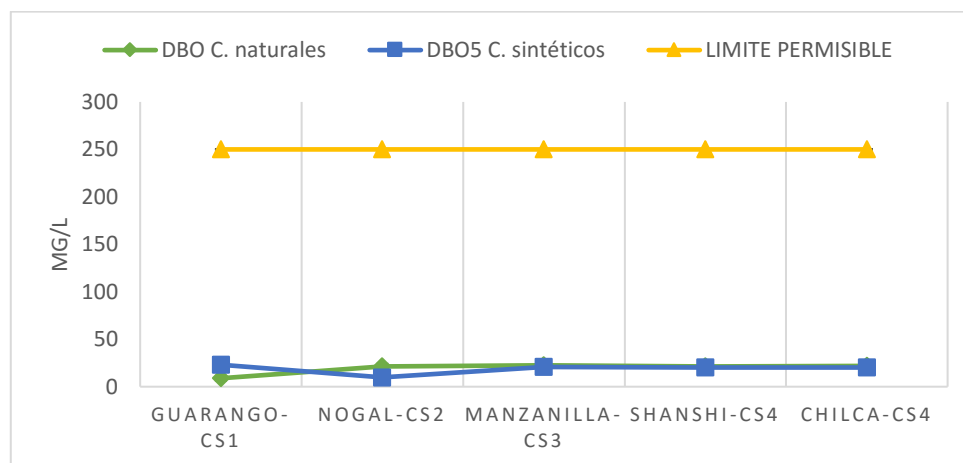


Figura 19. DBO₅ en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintético.

4.2.3.3 Análisis comparativo de los sólidos suspendidos totales

Los SST obtenidos en los análisis, se comparan con los 220 mg/L de la norma. En la figura 20 se observa que el agua residual del guarango y nogal, sobrepasan el límite máximo permitido en 23,64% y 86,82% respectivamente; sin embargo, los SST de la manzanilla, shanshi y chilca están dentro del límite permitido.

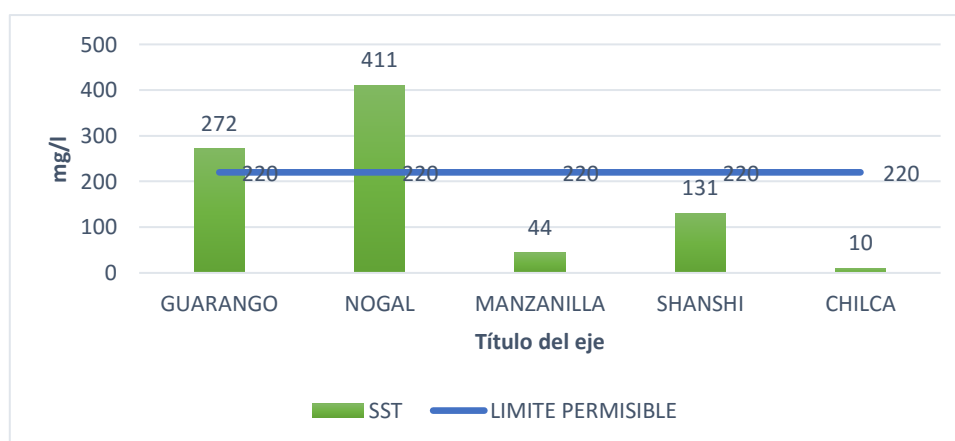


Figura 20. SST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales.

En el caso de los SST, en las aguas residuales de los colorantes sintéticos, la figura 21 muestra como los SST están bajo el límite máximo permisible para este parámetro. En promedio, los SST presentes en el agua residual están 45,09% bajo el límite.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

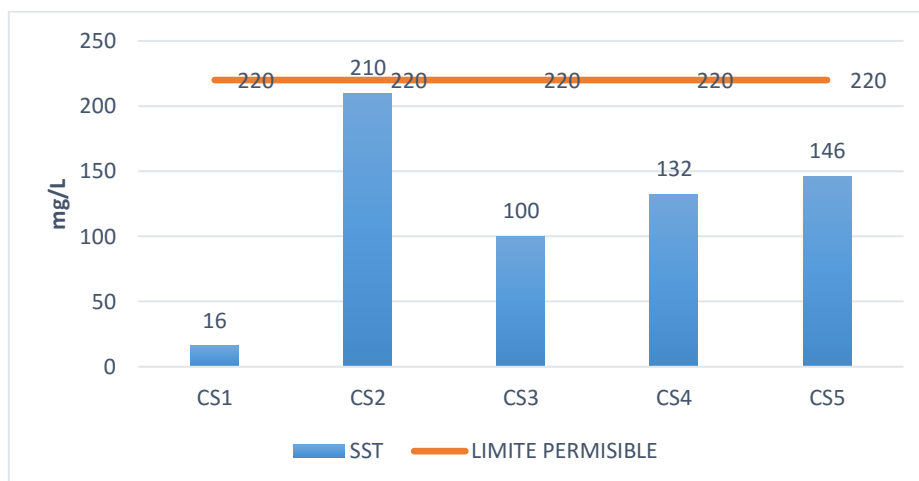


Figura 21. SST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos, comparados con la norma ambiental.

Y en la figura 22, se distingue las curvas de los SST de las aguas residuales con colorantes naturales, color verde y las aguas de los colorantes sintéticos, color azul, en donde las que corresponden al guarango y nogal tienen sus valores están sobre la curva de los colorantes sintéticos. Haciendo una relación entre los valores medios de 173,60 mg/L y 120,80 mg/L, para las aguas de colorantes naturales y sintéticos respectivamente, se tiene que los SST en las aguas residuales de los colorantes naturales es mayor en 1,44 veces, equivalente al 43,71%.

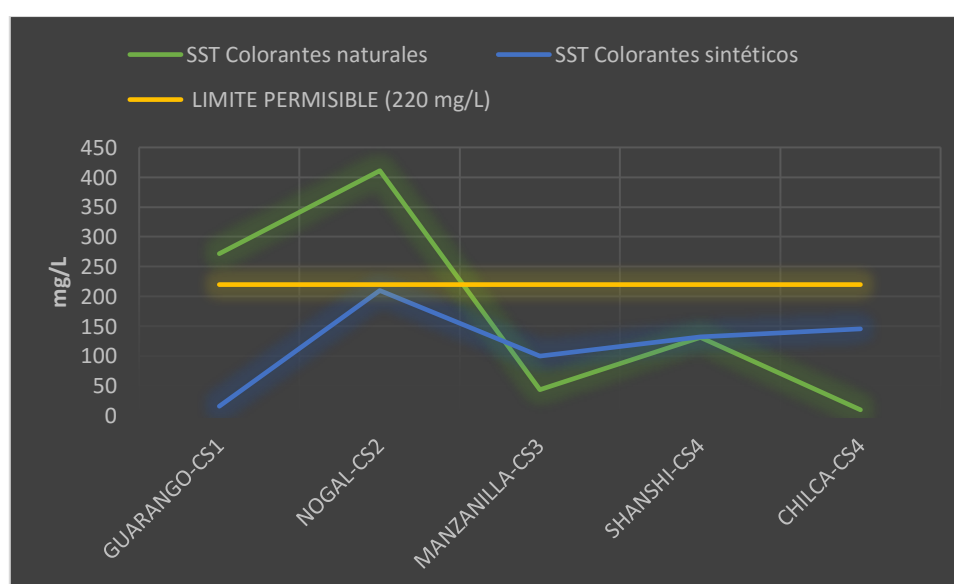


Figura 22. SST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos, comparados con la norma ambiental

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Se observa también que, a excepción de las aguas residuales de los colorantes guarango y nogal, que sobrepasan los límites permisibles de SST, las ocho aguas restantes cumplen con la norma ambiental.

4.2.3.4 Análisis comparativo de los sólidos totales

Los ST obtenidos en los análisis, se comparan con los 1600 mg/L de la norma ambiental. La figura 23 indica que los ST en las aguas residuales de los colorantes guarango, nogal y shanshi, están sobre el límite permitido; en cambio, los ST de las aguas residuales de los colorantes manzanilla y chilca cumplen con el límite para las descargas al alcantarillado. Se observa también que los ST en las aguas del guarango tienen un valor muy elevado, este valor sobrepasa el límite permitido en 1587,50%.

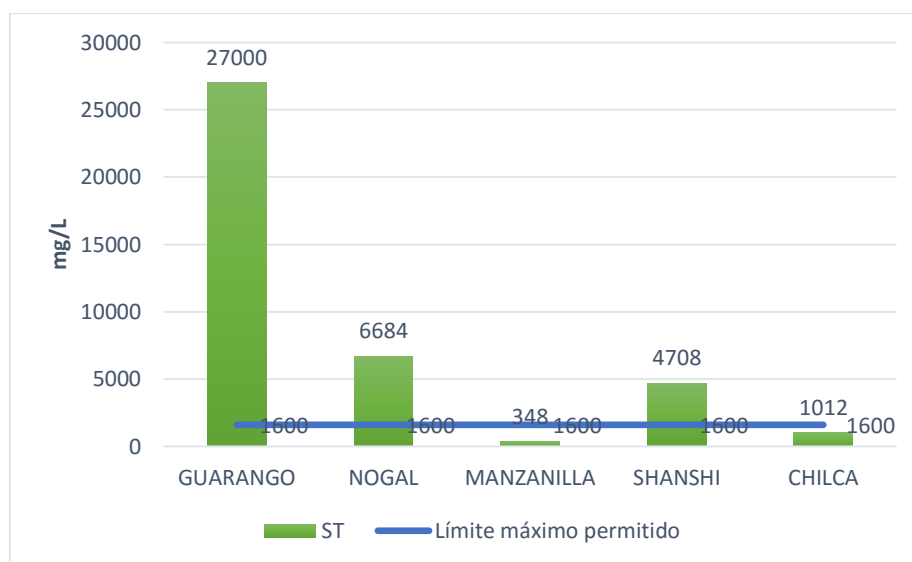


Figura 23. ST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales, comparados con la norma ambiental.

En la figura 24 se aprecia que los ST de todas las aguas residuales de los colorantes sintéticos están dentro del límite para las descargas; su valor promedio está por debajo de la norma en 25,95%.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS



Figura 24. ST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos, comparados con la norma ambiental.

En la figura 25, se compara las curvas que forman los valores de ST de las aguas residuales con los colorantes naturales, color verde, y las aguas residuales de los colorantes sintéticos, color azul, en donde se muestra que los ST son mayores para los colorantes sintéticos en 571,33%.

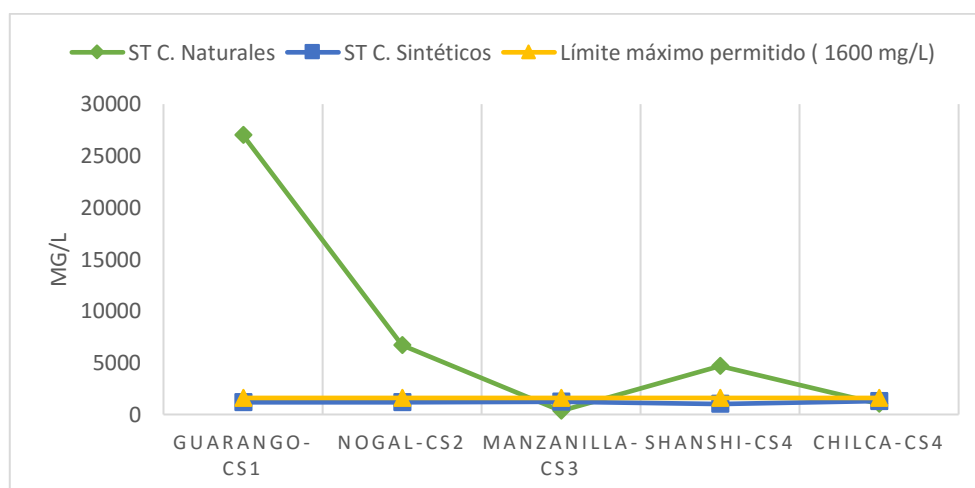


Figura 25. ST en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos, comparados con la norma ambiental.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.2.3.5 Análisis comparativo del pH

El pH con el que son descargadas las aguas residuales en las tinturas realizadas con los dos tipos de colorantes, se comparan con el rango de 6 a 9 que indica la norma.

Los datos representados en la figura 26 revelan que los valores de acidez de las aguas residuales de los colorantes naturales, están bajo el límite inferior de la norma, por lo que para su descarga debería ser neutralizada. En promedio el pH está en 48,67% por debajo del límite inferior del límite permitido.

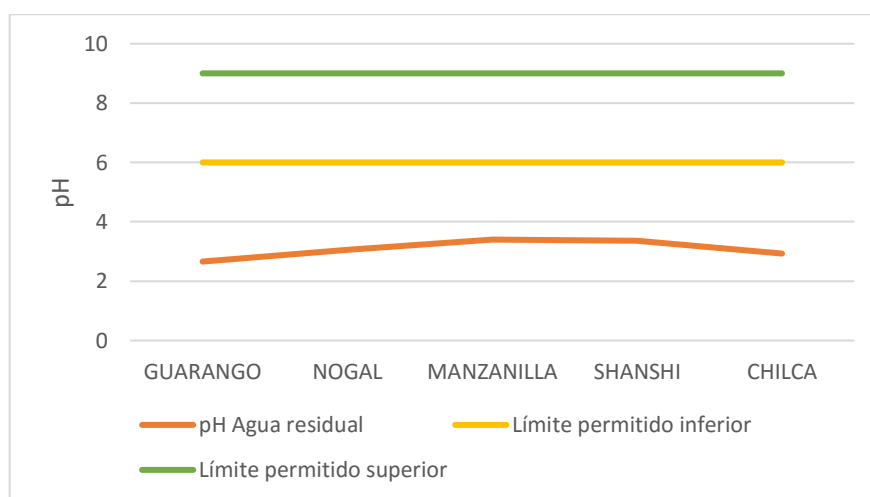


Figura 26. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales, comparados con la norma ambiental.

Los valores de acidez en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos, representados en la figura 27, se ubican dentro del rango indicado por la norma. Cabe indicar que el pH inicial, en el proceso fue de 4,8, regulado con el ácido fórmico. Datos que se observan en la Tabla 16. Hoja Patrón de pruebas de tintura con colorantes sintéticos; sin embargo, el pH al finalizar el proceso subió, en promedio de todas las aguas, a 6,37.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

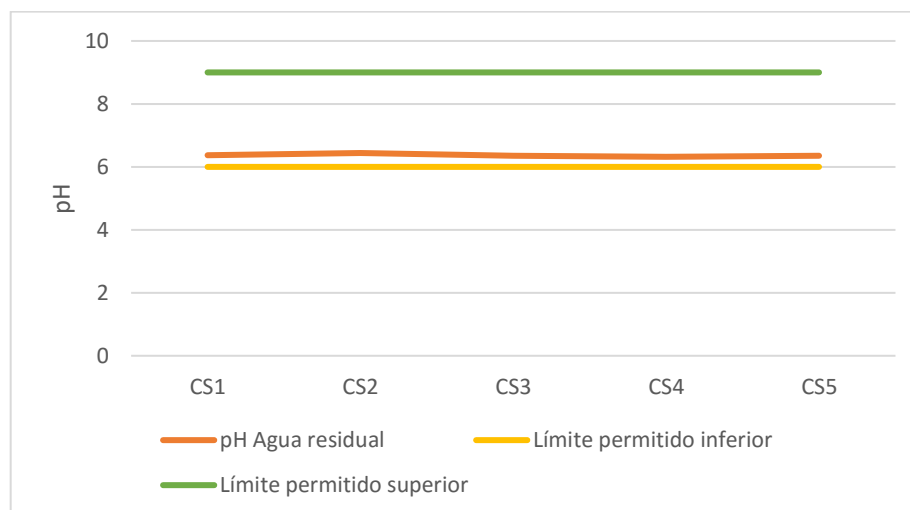


Figura 27. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos, comparados con la norma ambiental.

Haciendo la comparación entre el pH de las aguas residuales de colorantes naturales y sintéticos, según lo ilustrado en la figura 28, se identifica claramente que el pH del agua residual de las tinturas con los colorantes sintéticos está dentro del rango de la norma, en cambio, el agua de los colorantes naturales está bajo del límite permitido; en promedio está 48,67% bajo el límite inferior de 6, estando fuera de la norma; en cambio, el pH del agua residual de los colorantes sintéticos está sobre el límite inferior en 6,13%, valor que refleja la factibilidad de hacer las descargas al sistema de alcantarillado.

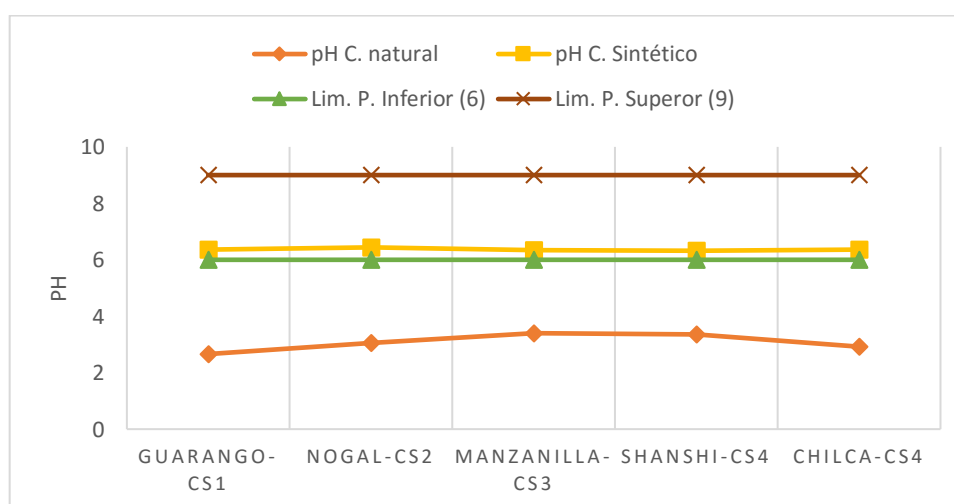


Figura 28. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos, comparados con la norma ambiental.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.2.3.6 Análisis del color aparente y verdadero.

La evaluación de este parámetro se realiza mediante las unidades de platino cobalto (UPC). Los resultados obtenidos de la caracterización, se observan en la figura 29, en donde se distingue claramente que los valores promedios del color aparente y del color verdadero, de las aguas residuales con colorantes naturales es mayor que el valor medio de las aguas residuales de los colorantes sintéticos. Lo mencionado revela que el color verdadero en las aguas residuales con colorantes naturales, es mayor en 4,43 veces, equivalente al 343,41% mayor que el color verdadero de las aguas residuales con los colorantes naturales; así en la misma proporción, en el color aparente en las aguas residuales con colorantes naturales, es mayor en 4,44 veces, equivalente al 343,94% mayor que en las aguas residuales de los colorantes sintéticos.

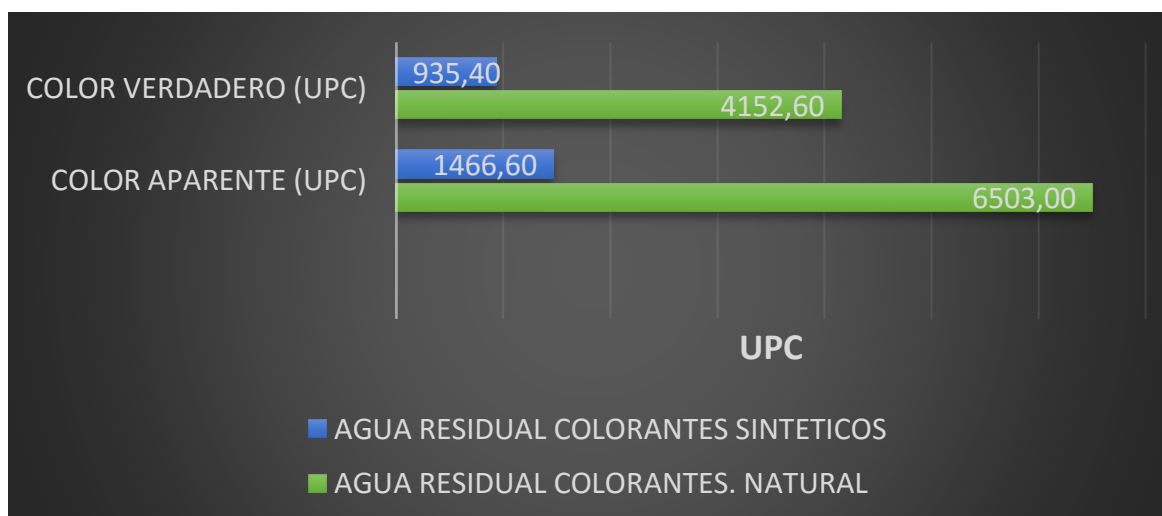


Figura 29. Comparación del color entre los dos casos de aguas residuales

4.3 INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN

Se utilizan los índices de calidad y contaminación para determinar cuál de los dos casos de aguas residuales estudiadas, tiene menor calidad y mayor contaminación. El valor de los índices se estableció con la finalidad de establecer valores que represente la calidad de las aguas residuales. El cálculo se hizo considerando los límites máximos permitidos en la normativa ambiental, Acuerdo Ministerial 097-A, en donde se considera a los valores obtenidos del DQO, DBO₅, SST, y ST, los cuales se miden en mg/L.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

4.3.1 Índice de calidad

Para estimar la calidad de las aguas residuales estudiadas, se utilizó el índice de calidad del agua (IC). La fórmula utilizada para calcular este índice, según Coral (s.f.), es:

$$IC = (Ca/Cma + Cb/Cmb + Cn/Cmn) / n$$

Donde:

IC es el índice de calidad del agua

Ca es la concentración existente del contaminante a

Cb es la concentración existente del contaminante b

Cma es la concentración máxima admitida del contaminante a

Cmb es la concentración máxima admitida del contaminante b

n es el número de contaminantes considerados (p. 20).

En la tabla 25, se indican los valores promedios de los parámetros de calidad de las aguas analizadas y el límite permisible para cada uno de estos parámetros. Según la norma ambiental, se realizó el cálculo del IC para las aguas residuales del proceso de mordentado y de los dos tipos de tinturas.

Tabla 25. Índice de calidad de las aguas residuales de tintura con colorantes naturales y colorantes sintéticos

AGUA RESIDUAL	MEDIDA	DQO (mg/l)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	ST (mg/L)
PROCESO DE MORDENTADO	VALOR PROMEDIO	308,00	23,64	47,00	2432,00
	LÍMITE MAX PERMITIDO	500	250,00	220	1600
	INDICE DE CALIDAD	1,30			
TINTURA CON COLORANTES NATURALES	VALOR PROMEDIO	23073,50	19,24	173,60	7950,40
	LÍMITE MAX PERMITIDO	500	250	220	1600
	INDICE DE CALIDAD	13,00			
TINTURA CON COLORANTES SINTETICOS	VALOR PROMEDIO	308,00	23,64	47,00	2432,00
	LÍMITE MAX PERMITIDO	500	250	220	1600
	INDICE DE CALIDAD	0,61			

El IC calculado para las aguas residuales del proceso de mordentado, es de 1,30; para las aguas residuales de colorantes naturales es de 13 y para las aguas residuales de colorantes sintéticos es 0,61. La figura 30 muestra en barras los valores de los índices de calidad obtenidos, en relación al valor de uno que es el límite máximo de calidad aceptable; se

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

observa que en el caso del índice que proviene de las aguas de tinturas con colorantes sintéticos, con un valor de 0,61, está dentro de este límite aceptable; en cambio, el IC de las aguas residuales del proceso de mordentado y tintura con colorantes naturales, se identifica que están sobre el límite, es decir, estas aguas residuales son de mala calidad.

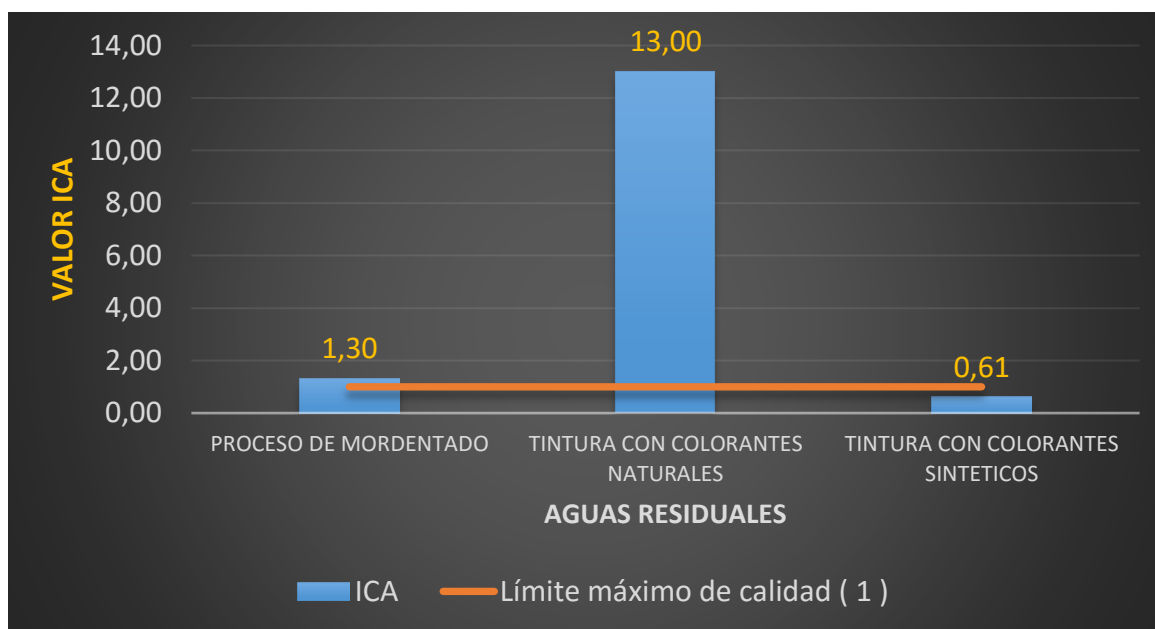


Figura 30. Índice de Calidad de las aguas residuales de los procesos de mordentado, tinturas con colorantes naturales y colorantes sintéticos

4.3.2 Índice de contaminación

La evaluación de la contaminación de las aguas producidas en los dos casos de tinturas se realiza mediante el índice de contaminación (IQ); este índice relaciona el índice de calidad con el caudal descargado en los procesos de tinturas.

La fórmula utilizada para obtener este índice, según Coral (s.f.), es:

$$IQ=IC \times Q$$

Donde:

IQ es el índice de contaminación del agua

IC es el índice de calidad del agua

Q es el caudal en cualquiera de las unidades de caudal establecidas (p.20).

El IQ de las aguas residuales se hace en base a los 4,08 litros de agua residual descargada

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

en cada una de las pruebas de tintura realizadas; este fue calculado para los tres tipos de procesos, mordentado, tintura con colorantes naturales y tintura con colorantes sintéticos.

El IQ para las aguas residuales del proceso de mordentado (IQ_m), es:

$$IQ_m = IC_m \times 4,08 \text{ L/min.}$$

$$IQ_m = 1,30 \times 4,08 \text{ L/min}$$

$$IQ_m = 5,32 \text{ L/min}$$

El IQ para las aguas residuales del proceso de tintura con colorantes naturales (IQ_{cn}), es:

$$IQ_{cn} = IC_{cn} \times 4,08 \text{ L/min}$$

$$IQ_{cn} = 13 \times 4,08 \text{ L/min}$$

$$IQ_{cn} = 53,02 \text{ L/min}$$

Y el IQ para las aguas residuales del proceso de tintura con colorantes sintéticos (IQ_{cs}), es:

$$IQ_{cs} = IC_{cs} \times 4,08 \text{ L/min}$$

$$IQ_{cs} = 0,770 \times 4,08 \text{ L/min}$$

$$IQ_{cs} = 3,15 \text{ L/min}$$

Para determinar el índice de contaminación total de los colorantes naturales (IQ_{tcn}), se debe incluir el IQ_m del proceso de mordentado. La razón es porque, para tinturar lana con colorantes naturales se debe hacer necesariamente, a más del proceso de tintura, el proceso de mordentado en otro baño; esto implica duplicar la cantidad de agua utilizada; consecuentemente para el cálculo del IQ_{tcn}, se aplica la siguiente fórmula:

$$IQ_{tcn} = IQ_m + IQ_{cn}$$

$$IQ_{tcn} = 5,32 \text{ L/min} + 53,02 \text{ L/min}$$

$$IQ_{tcn} = 58,34 \text{ L/min}$$

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

En la figura 31 se observa que el índice de contaminación total de las aguas residuales de los colorantes naturales (IQtcn) es mucho mayor que el índice de contaminación de las aguas residuales de los colorantes sintéticos (IQcs).

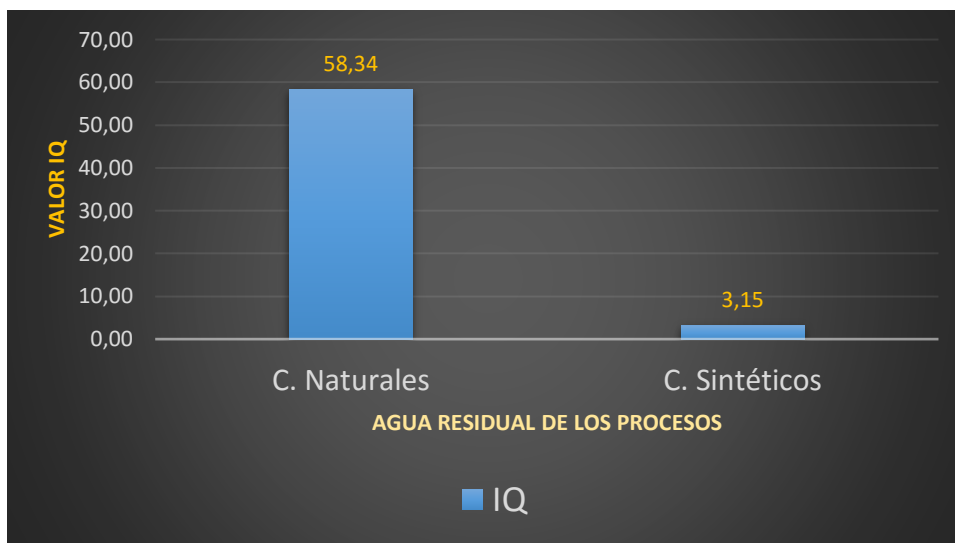


Figura 31. Índice de contaminación de las aguas residuales de los procesos de tintura

Al comparar los valores obtenidos del IQtcn con el IQcs, se tiene:

$$IQ_{tcn} / IQ_{cs} = (58,34 \text{ L/s}) / (3,15 \text{ L/s})$$

$$IQ_{tcn} / IQ_{cs} = 18,49 \text{ veces.}$$

Este valor indica que la contaminación producida por las aguas residuales de los procesos de tintura de lana con colorantes naturales, es 18,49 veces mayor, que la contaminación de las aguas residuales producidas por las tinturas de lana con colorantes sintéticos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones en las cuales se desarrolló esta investigación, así como, a los datos obtenidos mediante la caracterización de las aguas residuales provenientes de las tinturas realizadas con cinco colorantes naturales y cinco colorantes sintéticos; se llegó a establecer las siguientes conclusiones:

Con el desarrollo exitoso de este trabajo Se logró determinar el nivel de contaminación de las aguas residuales generadas por los procesos textiles de tintura de lana; la investigación enfocada a la fase del proceso de teñido, específicamente a la evaluación de las aguas residuales, haciendo comparación con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público, de acuerdo a la norma ambiental vigente, Acuerdo Ministerial 097-A. Los resultados revelan que las aguas residuales de colorantes naturales, están en promedio 969,37% sobre los límites de descarga al alcantarillado y las aguas residuales de los colorantes sintéticos, están en promedio 19,36% bajo los límites.

Con el test de normalidad al que fueron sometidos todos los valores de los parámetros calidad, en los dos tipos de aguas residuales caracterizadas, se determinó que estos superaron la prueba de Jarque-Bera JB, con valores superiores a 0,05 de $p(\text{normal})$; por lo que, se estableció que los datos obtenidos en la caracterización de las aguas residuales, tienen una confiabilidad aceptable para cualquier análisis estadístico.

El valor promedio calculado a partir de las medias de cada uno de los parámetros de calidad analizados, se estableció que en las aguas residuales de los colorantes naturales el

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

969,37% está sobre el límite de descargas y en las aguas residuales de los colorantes sintéticos, el valor negativo indica que los parámetros de calidad están en promedio el 19,36% bajo el límite de descargas.

La dispersión promedio de los parámetros de calidad, en el caso de las aguas residuales de las de tinturas con colorantes naturales, es del 90,64 %, valor que revela que los parámetros de calidad son muy dispersos, varían bastante en relación a la media; en cambio, el coeficiente de variación de las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos, 6,96 %, indica que los parámetros son más homogéneos y están más cerca de la media

En el análisis comparativo de los valores del DQO, se encontró que, la presencia del DQO en las aguas residuales con colorantes naturales y colorantes sintéticos, sobrepasan el límite máximo permitido de 500 mg/L de la norma ambiental; Por otro lado, las aguas procedentes de las tinturas con los colorantes naturales del guarango y chilca, con valores de 20.887,50 mg/L y 70.225,00 mg/L respectivamente, tienen valores de DQO muy contaminadores, lo que indica que se requiere elevada concentración de oxígeno disuelto para degradar la materia orgánica y oxidar la materia inorgánica presente.

El DBO₅, con los valores medios de 19,34 mg/L y 18,88 mg/L para las aguas residuales de los colorantes naturales y sintéticos, evidencian que, los colorantes naturales y sintéticos, no producen DBO sobre los límites de descargas.

Los ST, en las aguas residuales de los cinco colorantes sintéticos, están dentro del límite permisible de 1600 mg/L; no así, en las aguas residuales provenientes de las tinturas con los colorantes naturales, en estas, los ST de 27000 mg/L, 6684 mg/L y 4708 mg/L para el guarango, nogal y shanshi respectivamente, son bastante elevados.

Es importante resaltar que, en el caso de la tintura con nogal, guarango y shanshi, los sólidos totales, en promedio superan la norma en un 799,83 %; en cambio, en las aguas de tinturas con manzanilla y chilca, con valores de 3048 mg/L y 1012 mg/L respectivamente, se ubican por debajo del límite de la norma ambiental en porcentaje promedio del 57,5%.

Si se hace una relación de la presencia de sólidos totales en las aguas residuales con el tipo de solvente utilizado en la extracción de los colorantes naturales; se concluye que, Existe mayor presencia de sólidos totales cuando se utiliza el agua como solvente para extraer el

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

colorante natural; y se tiene menor cantidad de sólidos totales, cuando se utiliza alcohol metílico al 96%. Es así que, los sólidos totales presentes cuando se utilizó agua como solvente en la extracción de los colorantes guarango, nogal y shanshi, son en promedio 12797,33 mg/L y cuando se utilizó alcohol metílico en la extracción de los colorantes manzanilla y chilca, son en promedio 680 mg/L.

Al comparar el pH de las aguas residuales estudiadas, se determinó que solamente las aguas residuales de las tinturas con los cinco colorantes sintéticos, con un valor promedio de 6,37, se ubican dentro del rango límite de 6 a 9 para descargas; por el contrario, las aguas residuales de los colorantes naturales, no cumplen con esta norma, sus valores son bastante más bajos, en promedio tienen el pH de 3,08, sus valores oscilan entre 2,66 valor mínimo y 3,40 valor máximo, lo que significa que estas aguas tienen mucha acidez y no pueden ser descargadas directamente al alcantarillado, debiendo hacerse un neutralizado.

Con relación al color, los valores del color aparente de 6503,00 UPC y 1466,60 UPC para las aguas residuales de los colorantes naturales y sintéticos respectivamente; y los valores del color verdadero de 4152,60 UPC y 935,40 UPC, también para las aguas residuales de los colorantes naturales y sintéticos respectivamente; permiten concluir que los colorantes naturales dejan mayor cantidad de residuo de colorante en las aguas residuales, seguramente porque tienen menor afinidad tintórea.

Sumado el IC de las aguas residuales del proceso mordentado y tintura con colorantes naturales, valor obtenido de 14,30 está por encima del límite aceptable de uno, por lo que se consideran a estas aguas de mala calidad; en cambio, el IC de 0,61 de las aguas residuales con colorantes sintéticos, definen a estas como de buena calidad.

De acuerdo al IQ de 58,34 para las aguas residuales de los colorantes naturales y 3,15 para las aguas residuales de los colorantes sintéticos, se confirma que la contaminación que producen los colorantes naturales, es mayor en 18,49 veces, que la contaminación que producen los colorantes sintéticos.

A pesar que el sentido común indica que los colorantes naturales son menos contaminantes que los colorantes sintéticos, en esta investigación, se logró establecer que las aguas residuales generadas por las tinturas con colorantes naturales, tienen mayor nivel de contaminación, que las aguas residuales de los colorantes sintéticos. Sin embargo, se

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

debería comparar también la contaminación en la obtención, uso y disposición final de estos colorantes.

5.2 RECOMENDACIONES

Los resultados y conclusiones de este trabajo, generan algunas pautas para realizar algunas investigaciones; es así que, los valores elevados de sólidos totales y color en el caso de las aguas residuales procedentes de las tinturas con guarango, nogal y shanshi, funda la necesidad de hacer una investigación sobre la posibilidad de reutilización de estas aguas en la misma tintura de lana, cuantas veces sea necesario.

En concordancia con el enunciado anterior, se recomienda también, Se recomienda también, hacer una investigación para evaluar la contaminación a las aguas residuales en las tinturas de fibras naturales, haciendo relación con al uso del agua y alcohol metílico, en la extracción de los colorantes.

Para la obtención del colorante natural, se recomienda hacer la recolección de las plantas de acuerdo a la estación en el año, por cuanto estas no siempre están disponibles.

Para hacer las tinturas con colorantes naturales y lograr mantener el colorante firme en la fibra; se recomienda hacer siempre el proceso de mordentado; aunque, se podría utilizar otros mordientes como el tartrato ácido de potasio (crémor tártaro), sulfato de hierro, sulfato de cobre, cloruro de estaño, ácido clorhídrico, sulfato de sodio, entre otros más, que permitirían obtener diferentes colores a partir del mismo colorante natural, pero que también serían fuentes de otros niveles de contaminación a las aguas residuales que deberían ser investigados.

Considerando que la comparación entre los colorantes naturales y colorantes sintéticos se puede hacer en la fabricación del colorante, el proceso de teñido, el uso de los productos y su disposición final o reciclaje; y que, en esta investigación se enfocó el análisis únicamente a la fase de teñido, sobre la contaminación de las aguas residuales; se recomienda, determinar integralmente si los colorantes naturales contaminan más que los colorantes sintéticos, haciendo estudios en las otras tres fases indicadas.

.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA,
UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amilcar, M. (2008). *Cracterización y tratamiento de aguas residuales*. Trabajo de pregrado no publicado, Univeresidad Autóma del Estado de Hidalgo.
- Cazares Ramirez, R. (2008). *Optimización en el Proceso de Tintura y Acabado de Tejidos de Poliester/Lana con colorantes Forosyn*. Tesis de pregrado no publicada, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ceveriche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en agua*. Cartagena, Colombia: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso para eumed.net.
- Código Civil (Libro II). (2012). *Codificación 10, Registro Oficial Suplemto 46*.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Asamblea Nacional Constituyente, Montecristi, Ecuador.
- Coral, K. (s. f.). *Manual de Auditoría Ambiental*. Universidad Internacional SEK.
- Crespi, M., & Huertas, J. (1987). Industria textil: ¿Depuración bilológica o fisico química? *Intextar*, 92.
- Echeverría, M. (1997). *Propagación invitro del Nogal (Juglans Neotropica Diles)*. Trabajo de grado no publicado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ecotintes. (10 de abril de 2016). *Porque tintes naturales*. Obtenido de <http://ecotintes.com/content/por-que-tintes-naturales>
- Freire, P. (2012). *Análisis y evaluación de un istema de tratamiento de aguas residuales para la empresa TEIMSA- Ambato*. Tesis de grado no publicada, ESPOCH, Riobamba,

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Ecuador.

Galicia, A., Pérez, R., & Castellanos, M. J. (2008). *Importancia del uso del agua en la Industria textil* (Vol. 3ra Edición). Mexico. D.F.

Garces, L., & Peñuela, G. (2017). Tratamiento de aguas residuales en una industria textil utilizando colector solar. *Lasallista de Investigación*, 4(2).

Garcia, M., Doria, C., & Pitre, L. (2013). *Protocolo para la determinación de sólidos suspendidos totales secados a 103 - 105 oC*. Universidad de la Guajira.

Huerga, E. (2005). *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes*. (S. d. Publicacions, Ed.) Universitat de Valencia.

INEN. (1998). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98*. INEN, Quito, Ecuador.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2016). *Demanda Química de Oxígeno por reflujo cerrado y volumetría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, IIA, Facultad de Agronomía. (2007). *Estudio tecnológico sobre los tintes naturales extraídos de la cortesa de tres especies forestales cultivadas en Guatemala, para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el mercado*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Kohima, H. (s.f.). Breve historia de dos colorantes naturales. *Academia de la facultad de Ciencias económicas y empresariales*, 33.

La Hora. (23 de mayo de 2007). El Nogal se afinsa en San Antonio. *Noticias Imbabura*.

Laura, M. (2009). Teñido con colorantes naturales sobre lana. (I. textiles, Ed.)

LENNTECH. (1 de mayo de 2016). *Weather Threatment*. Obtenido de

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

<http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm>

Ley de Gestión Ambiental. (2004). Codificación. (*Registro Oficial Splemento 418*),

Codificación 19. Ecuador.

Llamas, M., Hernandez, N., & Martínez, L. (2000). *El uso sostenible de las aguas subterráneas*. Madrid: Realigraf, S.L.

López, V., Amante, B., & Gutierrez, M. (2010). *Estudio de la viabilidad de reutilización de baños de tintura textil*. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ETSEIAT), Terrasa, España.

Mansilla, H., Lisama, C., Gutarra, A., & Rodriguez, J. (s.f.). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil.

Martinez, L. (2009). *Teñido con colorantes naturales, sobre lana*. (P. d. INTI, Ed.) Buenos Aires, Argentina.

Martínez, L. (2009). *Teñido con colorantes naturales, sobre lana*. Buenos Aires.

MICROSOFT. (2003). Biblioteca de Consulta Encarta.

Ministerio del Ambiente. (noviembre de 2015). *097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria(387), Especial*. Quito.

Ministerio del Ambiente. (mayo de 2015). Refroma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. (*Acuerdo No 061*), *Especial*. Registro Oficial. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>

Montenegro, P. (s.f.). *Control Integrado del Barrenador (Gretchena sp) del nogal (Juglans Neotropica Diels)*. Trabajo de pregrado no publicado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Morales, A. (2002). *Tintura del fique*.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2005). *Normas Técnicas para la aplicación de la codificación del Título V, “Del medio Ambiente”, Libro Segundo, del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador.
- Obando, R. (2010). *Tintura alternativa en hilos de lana con colorantes naturales*. Tesis de pregrado no publicada, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ortega, H. (2007). *Estudio del ataque de Gretchena garai Miller en Nogal, (Juglans Neotropica Diels) en plantación sola y asociada con cuatro especies forestales en dos sitios*. Tesis de pregrado no publicada, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ospina, C., Montoya, J., & García, J. (2007). Oportunidades de Producción Más Limpia en tintorerías del sector textil. *Scientia et Technica*(37).
- Paredes, I. (2002). *Análisis y obtención de colorante natural a partir de la Baccharis Latifolia (Chilca)*. Tesis de pregrado no publicada, Ibarra, Ecuador.
- Parra, V. (2004). *Estudio Comparativo en el uso de colorantes naturales y sintéticos en alimentos , desde el punto de vista funcional y toxicológico*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Patarroyo, E. (s; f.). *Proceso de estabilización de residuos generados en la Industria Textil en Colombia mediante lodos activados*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogota, Colombia.
- Pinto, G. (s,f.). *Obtención del colorante a partir de la manzanilla (Anthemios tinctoria) y su aplicación en fibras textiles*. Tesis de pregrado no publicada, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ponce, G., & Morales, D. (2011). *Estudio de procesos de elaboración de tintes naturales con dos especies vegetales “Nogal” (Juglans neotropica) y “Guarango” (Caesalpinia spinosa) y propuesta de revalorización de saberes ancestrales con las mujeres de la*

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Asociación de Artesanas "Wuarmi Mak. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.

Rojas, A., Maldonado, F., & Pérez, O. (s. f.). *Cinética y Extracción de Colorantes Naturales.* Puebla, Mexico.

Salas, G. (2003). Tratamiento físico-químico de aguas residuales de a industria textil. (U. N. Facultad de Química e Ingeniería Química, Ed.) *Per. Química.*, 5, 73-80.

Santambrosio, E., Ortega, M., & Garibalde, P. (s.f.). *Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO.* Universidad Tecnológica Naciona.

Shams-Nateri, A. (2011). Reusing wastewater of madder natural dye for wool dyeing. *Journal of Cleaner Production.*

Trillo, C., Demaio, P., Colantonio, S., & Galeto, L. (2007). Conocimiento actual de plantas tintóreas por los pobladores del valle de Guasapampa, provincia de Córdoba. *KURTZIANA*, 33(1), 65-71.

Tunay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G., & Orhon, D. (1996). Color removal from textile. *Elsevier Science.*

Wichmann, K., & Otterphohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of Total Environment*, 407.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

ANEXOS

Anexo A Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Ci nc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcuri o (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A. Tabla 8.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Anexo B. Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico-químico

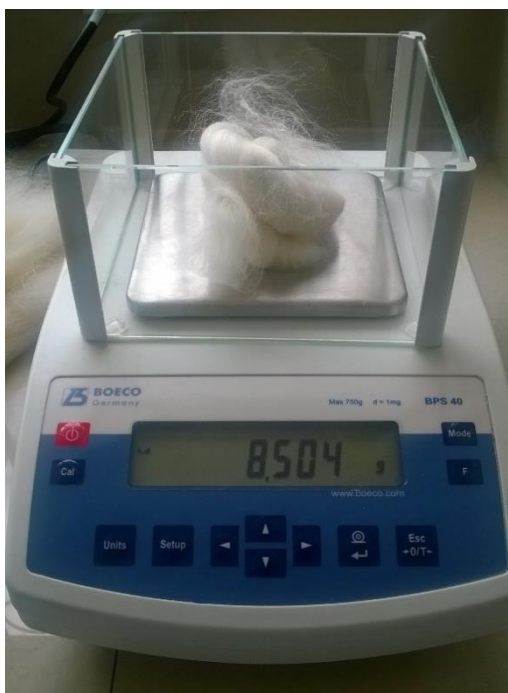
Acidez y alcalinidad	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	De preferencia analizar en el punto de muestreo (especialmente para muestras con altos contenidos de gases disueltos)	
DQO (demanda química de oxígeno)	P o V (preferible vidrio para contenidos bajos de DQO)	Acidificar a pH < 2 con H ₂ SO ₄ , refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad.	Laboratorio	5 días		
	P	Congelar a -20 °C	Laboratorio	1 mes		
DBO (demanda bioquímica de oxígeno)	P o V (es preferible vidrio para concentraciones bajas de DBO)	Refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h		
Sólidos en suspensión y sedimentables	P o V	--	Laboratorio	24 h	El análisis se debe realizar lo más pronto posible y de	
Color	P o V	--	En el sitio	--		970
		Refrigerar entre 2°C y 5°C y guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h		

Fuente: Norma Técnica, NTE INEN 2169. Adaptada

ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Anexo C. Equipos y máquinas utilizadas en la investigación

Anexo C1. Balanza electrónica



Anexo C2. Equipo digital para medir el pH



Anexo C3. Equipo de filtración, utilizado en la filtración del colorante



Anexo C4. Máquina para tintura, tipo de laboratorio, modelo RHS-24



ESTUDIO COMPARATIVO DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS PROCESOS TEXTILES DE TINTURA DE LANA, UTILIZANDO COLORANTES NATURALES Y SINTÉTICOS

Anexo D. Obtención de materias primas para la extracción de los colorantes naturales

Anexo D2. Recolección guaranga



Anexo D2. Shanshi



Anexo D3. Chilca utilizada en la extracción del colorante

