

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

Esparza, Darwin José

Maestría en Gestión Ambiental, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador

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.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades textiles, específicamente aquellas que se realizan en las etapas húmedas, generan grandes volúmenes de agua residual contaminada. 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. Salas (2003) en su artículo, menciona que las aguas residuales de la industria textil han llegado a ser un

problema que iguala o supera al de las aguas negras domésticas. Uno de los procesos húmedos es la tintura, en este, la materia textil entra en contacto con una disolución o dispersión de colorante, absorbiéndolo y reteniéndolo en mayor o menor medida (Huerga, 2015). 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 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. El teñido es el proceso textil que puede generar más contaminación debido a que requiere el uso no solamente de colorantes, sino también de varios productos especiales conocidos como auxiliares de teñido” (Patarroyo, s; f.).

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. Sin embargo, de acuerdo a lo indicado, el desarrollo de este trabajo se enfocó únicamente a la fase del proceso de teñido, específicamente al efluente líquido descargado de los procesos de tintura de lana, mediante la caracterización de los parámetros DQO, DBO₅, SST, ST, pH y color, evaluados de acuerdo a los límites permisibles de descargas al sistema de alcantarillado público, el índice de calidad y el índice de contaminación del agua. se buscó establecer el nivel de contaminación las aguas residuales generadas por los procesos de tintura de lana con colorantes naturales y colorantes sintéticos. El estudio se realizó tinturando fibras de lana con cinco colorantes naturales: Guarango (*Caesalpinia spinosa*), nogal (*Juglans regia*), manzanilla (*Anthemis tinctoria*), shanshi (*Coriaria thymifolia*) y chilca (*Baccharis latifolia*); y, cinco colorantes sintéticos de diferentes marcas.

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, aspecto muy importante en el proceso de tintura y en el grado de contaminación de las aguas residuales generadas. Cada una de las actividades de tintura, genera agua residual de características muy variables; sin embargo, esta diferencia es más cuantitativa que cualitativa. (Crespi & Huertas, 1987). El estado actual de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo es generalmente malo (Huerga, 2005). Es muy importante el uso de los colorantes naturales como un aspecto estratégico global de primer nivel, sobre todo para el desarrollo socio-económico de países emergentes, consiguientemente, es importante evidenciar si los colorantes naturales son menos contaminantes a las aguas residuales que los colorantes sintéticos, así, el sector textil, en base a conocimientos válidos, pueda tener la opción de utilizar el colorante más adecuado con fines de conservación del agua.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación no utilizó ningún modelo anterior como base de estudio. El estudio se realizó en dos fases: En la primera se seleccionó y determinó el número de muestras de los colorantes naturales y sintéticos, se procedió a extraer el colorante a partir de las cinco plantas, se hicieron las pruebas de tintura y se obtuvo las aguas residuales para el análisis; en la segunda fase se analizó las aguas residuales de todas las pruebas de tintura y se evaluó la contaminación de los dos tipos de aguas mediante la comparación con los límites permisibles de la norma ambiental vigente, índices de calidad y contaminación del agua.

2.1 Equipo utilizado

Todas las pruebas de mordentado y tintura fueron realizadas en máquina, SHR-24, de fabricación alemana tipo laboratorio, tiene la característica de calentar el baño mediante rayos infrarrojos, dispone de un controlador automático en el que se le programó la curva de proceso utilizado en todas las pruebas.

2.2 Selección de muestras y obtención del colorante

Para el caso de los colorantes naturales se consideró los que se obtienen del guarango, nogal, manzanilla, shanshi y chilca; y para los colorantes sintéticos a cinco de diferentes marcas. El proceso seguido para la extracción de los colorantes naturales fue: Recolección de las partes de las plantas, Clasificación y limpieza, secado, molienda, extracción y filtrado.

Tabla 1. Plantas y partes utilizadas en la obtención del colorante natural

PLANTA	TIPO DE VEGETAL	PARTE UTILIZADA
GUARANGO	Árbol	Vainas
NOGAL	Árbol	Cascara del fruto
MANZANILLA	Hierba	Tallo, hojas y flores
SHANSHI	Arbusto	Fruto
CHILCA	Arbusto	Hojas

2.3 Pruebas de mordentado y tintura

La figura 1 muestra el proceso de tintura y mordentado seguido en todas las pruebas realizadas.

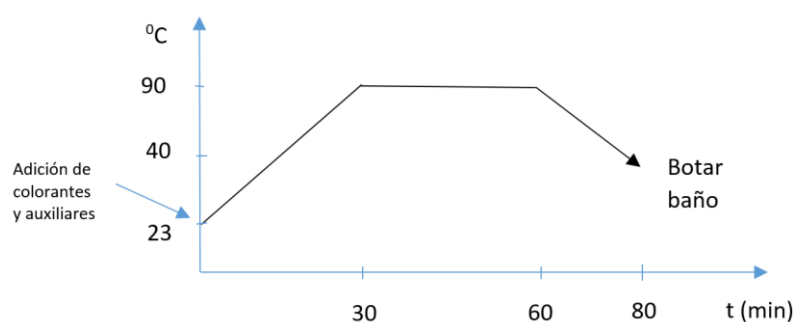


Figura 1. Curva del proceso de mordentado de lana

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 el mordentado, se utilizó el sulfato de aluminio, mordiente que tiene la propiedad de no alterar el color original de las plantas, se aplicó en una proporción de 2,5 g/L.

3. RESULTADOS

3.1 Muestras de lana tinturadas.

La figura 2.a. muestra los colores obtenidos con las tinturas de colorantes naturales; Y, la figura 2. B. indica los colores de las muestras de lana obtenidas con los colorantes sintéticos.

2.4 Caracterización de las aguas residuales

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. Las aguas residuales obtenidas del mordentado y tinturas, fueron caracterizadas con los parámetros DQO, DBO₅, SST, ST, pH y color.

Tabla 2. 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

2.5 Evaluación

La evaluación de los valores de los parámetros de calidad obtenidos, se hizo en relación a los límites de descargas al sistema de alcantarillado público, el índice de calidad y el índice de contaminación del agua.

Tabla 3. 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

El índice de calidad IC, índice de contaminación IQ, se calcularon con las fórmulas indicadas por Coral (s.f.):

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

$$IQ = IC \times Q$$

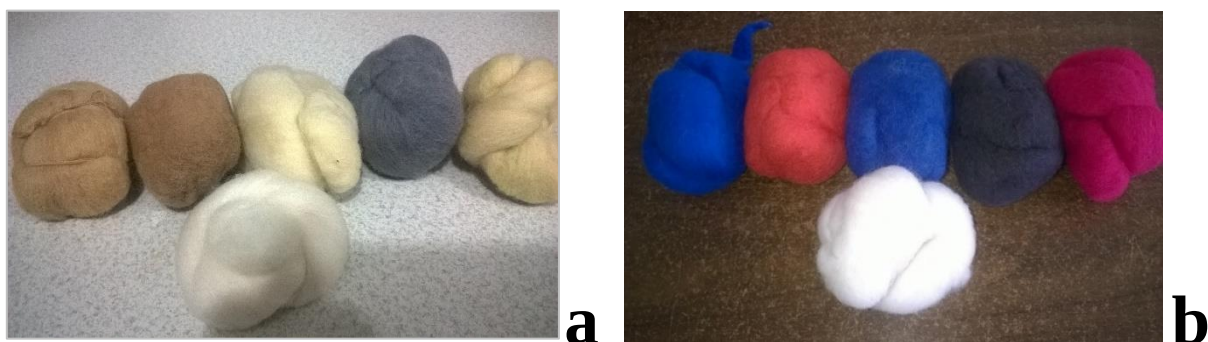


Figura 2. a-b. Muestras de lana tinturadas con colorantes naturales y colorantes sintéticos

3.2 Parámetros de calidad de las aguas residuales de las tinturas con colorantes sintéticos.

La tabla 4 muestra los valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de los procesos de mordentado, las cinco pruebas de tinturas con colorantes naturales y cinco con colorantes sintéticos.

Tabla 4. Valores obtenidos en la caracterización de las aguas residuales del mordentado y tinturas con colorantes naturales

PROCESO MORDENTADO Y TINTURA	PARAMETROS						
	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SOLIDOS (mg/L)		pH	COLOR (UPC)	
			SST	ST		APARENTE	VERDERO
MORDENTADO	308	23,64	47	2432	3,10	325	90
T. GUARANGO	20887,50	8,88	272	27000	2,66	13400	4050
T. NOGAL	5675,00	21,52	411	6684	3,05	14600	13800
T. MANZANILLA	10120,00	22,52	44	348	3,40	80	43
T. SHANSHI	8460,00	21,16	131	4708	3,36	3860	2400
T. CHILCA	70225,00	22,12	10	1012	2,93	575	470
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. DISCUSIÓN

Según la media y el coeficiente de variación obtenidos de los valores de los parámetros de calidad de las aguas residuales de las pruebas realizadas, y comparadas con los límites para descargas al sistema de alcantarillado, norma ambiental que consta en el Acuerdo Ministerial 097-A, se determinó lo siguiente:

4.1 Resumen estadísticos de los parámetros que caracterizan las aguas residuales

En la tabla 5 se muestra la media y el coeficiente de variación, de los parámetros analizados, en las aguas residuales de los dos casos analizados. En el caso de los colorantes naturales, 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; en cambio, en el caso de los colorantes sintéticos. Para el caso de las aguas residuales con colorantes sintéticos, se observa que estos tienen una dispersión normal; el pH, que tiene un coeficiente de variación de 0,7%, evidencia que existe homogeneidad en la acidez en las cinco aguas analizadas; en cambio, en el caso del color aparente, el 137,65% revela que existe una elevada dispersión.

Tabla 5. Media y coeficiente de variación, de los parámetros de calidad de las aguas residuales de tinturas con colorantes naturales

MEDIDA ESTADISTICA	TIPO DE AGUA RESIDUAL	PARAMETROS						
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (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

La tabla 6, 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 6. 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

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

La figura 3 muestra la comparación de los valores medios del DQO. Se diferencia claramente como el DQO, de las aguas residuales de colorantes naturales es mayor que el DQO, de las aguas residuales con colorantes sintéticos. El DQO de las aguas residuales con colorantes naturales es mayor en 26,71 veces que las aguas con colorantes sintéticos.

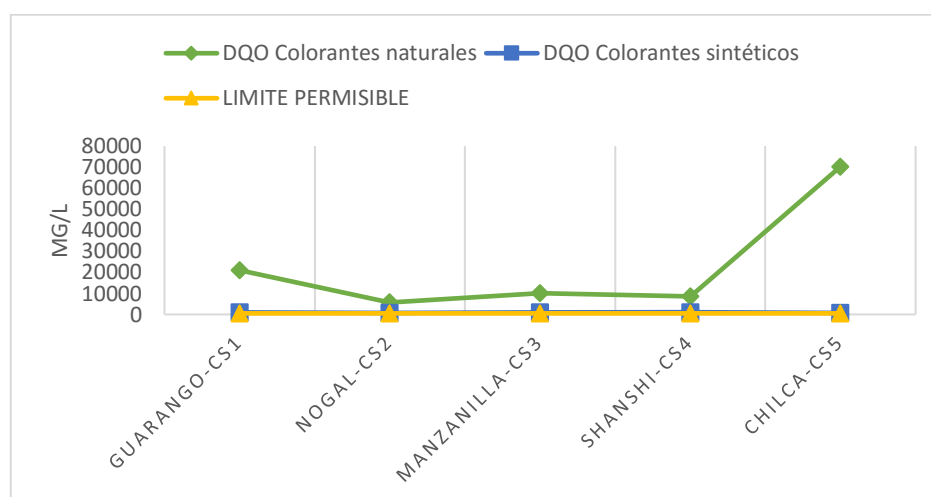


Figura 3. DQO, de las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos.

Haciendo una comparación entre los valores medios del DBO_5 de las aguas residuales de los colorantes naturales y sintéticos, 19,24 mg/L y 18,88 mg/L; se observa en la figura 4 que son relativamente iguales, aunque el DBO_5 de los colorantes naturales es mayor en apenas 1,02 veces.

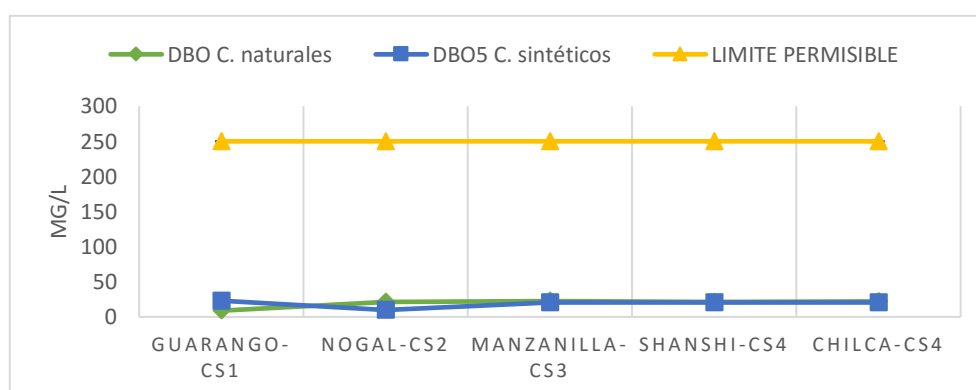


Figura 4. DBO_5 , de aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos.

En la figura 5, se distingue las curvas de los SST de las aguas residuales de los dos tipos de colorantes. 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.

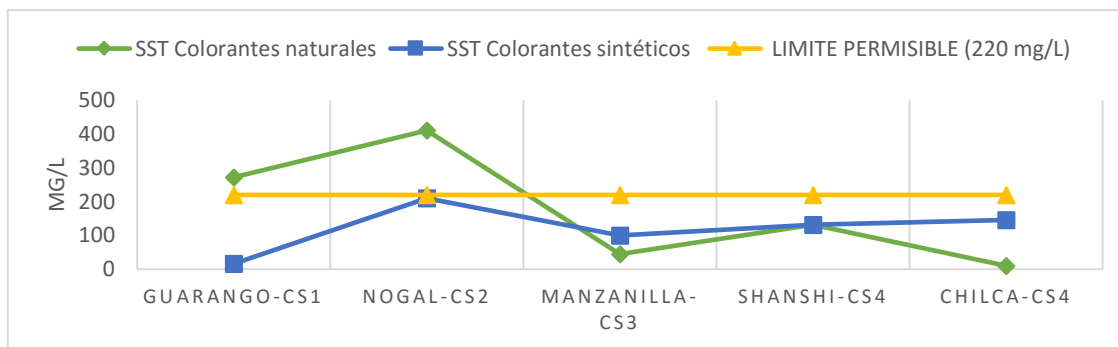


Figura 5. SST, de las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos.

En la 5 se compara las curvas formadas por los valores de ST de las aguas residuales con los colorantes naturales y sintéticos. Los ST de los colorantes naturales, son mayores a los ST de los colorantes sintéticos, los cuales están incluso por debajo del límite permitido para descargas al alcantarillado. Los ST en las aguas del guarango, tienen un valor muy elevado, este valor sobrepasa el límite permitido en 1587,50%; le sigue el colorante del nogal con un valor elevado de 6684 mg/L.

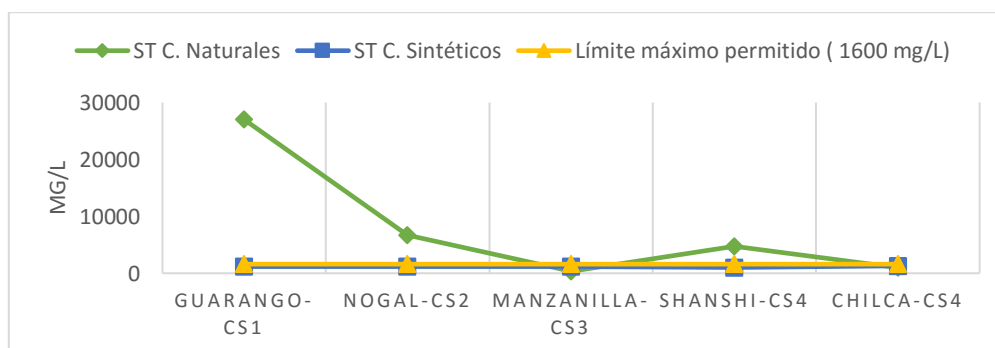


Figura 6. ST, de las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos.

Haciendo la comparación entre el pH de las aguas residuales de colorantes naturales y sintéticos, según se indica en la figura 6; se identifica claramente que, el pH del agua residual de las tinturas con los colorantes sintéticos está dentro del rango de la norma de 6 a 9, en cambio, el agua de los colorantes naturales está bajo del límite permitido, en promedio está 48,69% bajo el límite inferior de 6.

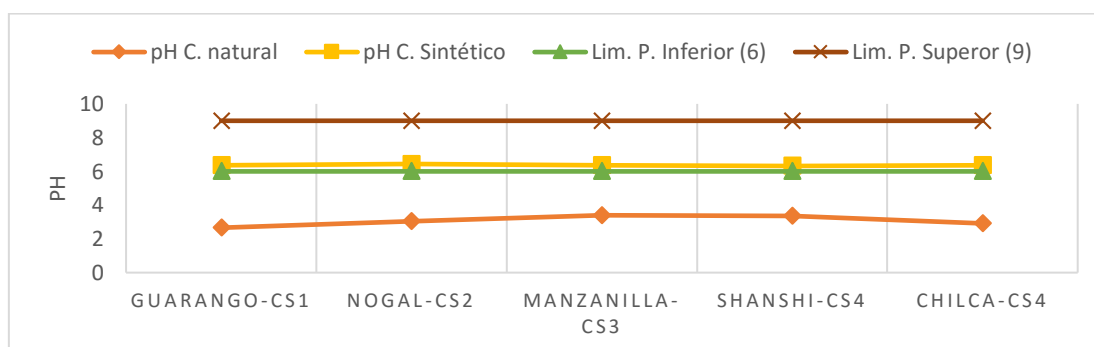


Figura 7. pH en las aguas residuales de las tinturas con colorantes naturales y sintéticos.

La tabla 7, muestra 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.

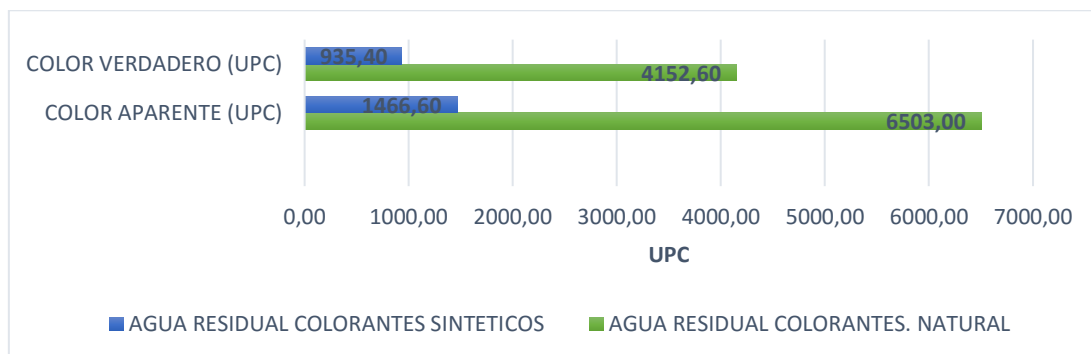


Figura 8. Color aparente y color verdadero en Unidades de platino cobalto (UPC)

La tabla 7, muestra los valores promedios de los parámetros de calidad de las aguas analizadas y el límite permisible para cada uno de estos parámetros. Los índices de calidad obtenidos, en relación al valor de uno que es el límite máximo de calidad aceptable, se 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.

Tabla 7. 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			

La figura 8 muestra el índice de contaminación total de las aguas residuales de los colorantes naturales (IQ_{tcn}) con un valor de 18,49 veces mayor que el índice de contaminación de las aguas residuales de los colorantes sintéticos (IQ_{cs}).

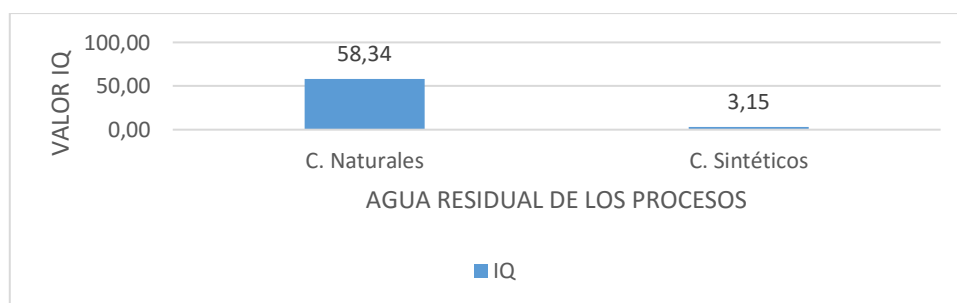


Figura 8. Índice de contaminación de las aguas residuales de los procesos de tintura

5. 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:

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.

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 son muy dispersos; 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.

El valor promedio calculado a partir de las medias del DQO, DBO₅, SST, ST y PH; indican que los parámetros de calidad, en las aguas residuales de los colorantes naturales con el 969,37% están sobre los límites de descargas y no cumplen la norma; y en las aguas residuales de los colorantes sintéticos, con el -19,36% están bajo los límites de descargas y cumplen con la norma.

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.

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.

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

6. BIBLIOGRAFIA

- Coral, K. (s. f.). *Manual de Auditoría Ambiental*. Universidad Internacional SEK.
Crespi, M., & Huertas, J. (1987). *Industria textil: ¿Depuración biológica o físico química?*

Intextar, 92.

- Ecotintes. (10 de abril de 2016). *Porque tintes naturales*. Obtenido de <http://ecotintes.com/content/por-que-tintes-naturales>
- Garces, L., & Peñuela, G. (2017). Tratamiento de aguas residuales en una industria textil utilizando colector solar. *Lasallista de Investigación*, 4(2).
- 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.
- Kohima, H. (s.f.). Breve historia de dos colorantes naturales. *Academia de la facultad de Ciencias económicas y empresariales*, 33.
- Mansilla, H., Lisama, C., Gutarra, A., & Rodriguez, J. (s.f.). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil.
- Ministerio del Ambiente. (noviembre de 2015). *097-A Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria(387), Especial*. Quito.
- 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,
- 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.
- .