

# UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Evaluación del uso de bioindicadores, Daphnia magna, en la determinación de la toxicidad de efluentes provenientes de una industria serigráfica textil, ubicada en la ciudad de Cuenca.”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

**Autores:**

Pablo Mateo Ortiz Galarza

C.I. 0105067664

pablo.mortizg12@gmail.com

Erick Mateo Saavedra Bernal

C.I. 0105688535

emateosaavedra@hotmail.com

**Directora:**

Ing. Paulina Alejandra Echeverría Paredes

C.I. 1003151790

**CUENCA – ECUADOR**

22-Julio-2022

## Resumen:

Durante las últimas décadas, la industria textil se encuentra en creciente auge y representa un importante sector económico a nivel mundial, esto se debe a la alta demanda de sus productos. En ella, son utilizados una gran cantidad y variedad de colorantes e insumos que resultan severamente dañinos para el ser humano y el medio ambiente. Con este antecedente este estudio resulta de importancia debido a que los efluentes de los procesos productivos de la industria serigráfica no han sido analizados a profundidad. En esta investigación se caracterizó el efluente del proceso de pintado y tinturado de textiles de una empresa de la ciudad de Cuenca, se seleccionó por ser el proceso de mayor relevancia ambiental, de acuerdo al volumen de descarga de efluentes y por la naturaleza de las materias primas que emplea, por medio de la valoración cualitativa y cuantitativa de cada operación unitaria. Los subprocesos de tinturado según la superficie de impresión, se clasifican en cuero sintético, fibras sintéticas y textiles, fueron evaluados en la Matriz de Impacto Ambiental. Se seleccionó al tinturado de cuero sintético sujeto de estudio, al ser considerado mayormente relevante; a este efluente se analizaron sus propiedades fisicoquímicas como pH, Temperatura, Nitrógeno Total, Sulfatos, Fósforo Total, Cromo hexavalente, Cobre, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Grasas y aceites, por triplicado, los resultados se compararon con la normativa establecida en el Anexo I del TULSMA, en donde determinó que cumplen con límites permisibles. Finalmente, se evaluó la ecotoxicidad que producen estas descargas mediante un ensayo con el bioindicador *Daphnia magna* por medio de pruebas crónicas y agudas con una duración de 21 días y 48 horas, respectivamente; para esto se emplearon disoluciones de las muestras, un control negativo con agua destilada y un control positivo con el tóxico de referencia dicromato de potasio. Después de los conteos, se observó que, a mayores concentraciones del efluente, se presentaron alteraciones en la supervivencia y reproducción de la especie, mediante análisis estadístico en el programa IBM - SPSS STATISTICS 25 se obtuvo una concentración letal media  $CL_{50}$  de 68.12 % v/v; y se estableció la concentración más baja a la cual se observan efectos al valor de 12.5 % v/v; y 6.25 % v/v como la concentración en la que no se presentan efectos observables.

**Palabras clave:** *Daphnia magna*. Serigrafía. Ecotoxicidad. Efluentes.

## **Abstract:**

During the last decades, the textile industry is growing and represents an important economic sector worldwide, this is due to the high demand for its products. In it, a large number and variety of dyes and supplies are used that are severely harmful to humans and the environment. With this background, this study is important because the effluents of the production processes of the screen printing industry have not been analyzed in depth. In this investigation, the effluent from the textile painting and dyeing process of a company in the city of Cuenca was characterized, it was selected as the process of greatest environmental relevance, according to the volume of effluent discharge and the nature of the materials. premiums used, through the qualitative and quantitative assessment of each unit operation. The dyeing threads, according to the printing surface, are classified into synthetic leather, synthetic fibers and textiles, and were evaluated in the Environmental Impact Matrix. The synthetic leather dyeing subject of study was selected, as it was considered most relevant; This effluent was analyzed for its physicochemical properties such as pH, Temperature, Total Nitrogen, Sulfates, Total Phosphorus, Hexavalent Chromium, Copper, Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Fats and oils, in triplicate, the results were compared with the regulations established in Annex I of the TULSMA, where it was determined that they comply with permissible limits. Finally, the ecotoxicity produced by these discharges was evaluated by means of a test with the bioindicator *Daphnia magna* through chronic and acute tests lasting 21 days and 48 hours, respectively; For this, sample solutions were used, a negative control with distilled water and a positive control with the toxic reference potassium dichromate. After the counts, it was observed that, at higher concentrations of the effluent, there were alterations in the survival and reproduction of the species. Through statistical analysis in the IBM - SPSS STATISTICS 25 program, a mean lethal concentration  $CL_{50}$  of 68.12 % v/v was obtained; and the lowest concentration at which effects are observed was established at the value of 12.5 % v/v; and 6.25 % v/v as the concentration at which no observable effects are present.

**Keywords:** *Daphnia magna*. Serigraphy. Ecotoxicity. Effluents.

## Índice

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento del Problema	16
1.2 Justificación	16
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo General:	18
1.3.2 Objetivos Específicos:	18
Capítulo II. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Industria Serigráfica	19
2.1.1 Procesos serigráficos	22
2.1.2 Insumos Serigráficos	28
2.1.3 Contaminantes de la Industria Serigráfica	30
2.1.4 Efectos de la industria serigráfica textil en la calidad del agua	30
2.2 Ecotoxicología	31
2.3 Bioensayos	31
2.4 Bioindicadores	32
2.5 Pruebas de toxicidad	34
2.5.1 Criterios para la selección de las pruebas toxicológicas	35
2.5.2 Clasificación de las pruebas de toxicidad	35
2.5.3 Parámetros establecidos mediante las pruebas de toxicidad	36
2.6 Normativa Nacional para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público	37
Capítulo III. METODOLOGÍA	38
3.1 Tipo de Investigación	38
3.2 Sitio de muestreo	38
3.3 Determinación de los procesos productivos de la empresa	38
3.3.1 Valoración cualitativa de los subprocesos de pintado y tinturado	40

3.3.2 Valoración cuantitativa de los subprocesos de pintado y tinturado	40
3.3.3 Evaluación de Impactos	41
3.3.4 Selección del proceso productivo con mayor relevancia ambiental.	45
3.4 Caracterización del efluente	45
3.5 Cultivo de Daphnia magna	46
3.6 Pruebas de toxicidad	47
3.6.1 Pruebas de toxicidad Aguda	47
3.6.2 Prueba de toxicidad Crónica	50
3.7 Análisis estadístico	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1 Proceso Productivo	54
4.2 Valoración Cuantitativa de los subprocesos de pintado y tinturado	58
4.3 Caracterización del efluente	60
4.4 Prueba de Toxicidad Aguda	62
4.5 Prueba de Toxicidad Crónica	67
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1 Conclusiones	75
5.2 Recomendaciones	76
6. BIBLIOGRAFÍA	77
7. ANEXOS	86
7.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos	86
7.2 Cultivo Daphnia magna	87
7.3 Realización de pruebas toxicológicas	87
7.4 Disoluciones en ensayos toxicológicos	88
7.5 Resultados estadísticos prueba de toxicidad aguda	89
7.6 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable madurez sexual	90

7.7 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable neonatos/día	91
7.8 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable neonatos/ 21 días	92
7.9 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable longevidad	93
7.10 Resultados análisis físico-químico de Agua	94

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Proceso de Pre impresión	23
Ilustración 2. Proceso de Impresión Serigráfico	24
Ilustración 3. Subprocesos de Tinturado en textiles	25
Ilustración 4. Proceso de limpieza	27
Ilustración 5. Daphnia magna	34
Ilustración 6. Ubicación del sitio de muestreo	38
Ilustración 7. Flujograma del proceso productivo serigráfico	39
Ilustración 8. Flujograma de actividades vinculadas al desarrollo del ensayo de toxicidad aguda	48
Ilustración 9. Procedimiento para disoluciones en el ensayo de toxicidad aguda	49
Ilustración 10. Flujograma de actividades vinculadas al desarrollo del ensayo de toxicidad crónica	51
Ilustración 11. Procedimiento para disoluciones en el ensayo de toxicidad crónica	52
Ilustración 12. Diagrama de Procesos con Entradas (Volumen y Masa)	54

## Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación química de colorantes	20
Tabla 2. Clasificación por su método de aplicación	21
Tabla 3. Porcentaje de fijación de colorantes según el método de aplicación	22
Tabla 4. Aditivos requeridos en el proceso de tinturado	25
Tabla 5. Insumos Serigráficos	28
Tabla 6. Casos de aplicación de bioensayos	32
Tabla 7. Criterios para la selección de las pruebas toxicológicas	35
Tabla 8. Clasificación de pruebas toxicológicas	36
Tabla 10. Insumos serigráficos según cada operación unitaria	40
Tabla 11. Escala de valoración de extensión del impacto	42
Tabla 12. Escala de valoración del momento del impacto	42
Tabla 13. Escala de valoración de persistencia del impacto	43
Tabla 14. Escala de valoración de reversibilidad del impacto	43
Tabla 15. Escala de valoración de sinergia del impacto	44
Tabla 16. Escala de valoración de periodicidad del impacto	44
Tabla 17. Escala de valoración de recuperabilidad del impacto	45
Tabla 18. Escala de Importancia de los Impactos Ambientales	45
Tabla 19. Condiciones recomendadas para el mantenimiento de cultivos de <i>Daphnia magna</i>	47
Tabla 20. Lineamientos prueba de toxicidad aguda	50
Tabla 21. Lineamientos prueba de toxicidad crónica para <i>Daphnia magna</i>	53
Tabla 22. Matriz de Importancia del Impacto Ambiental	56
Tabla 23. Matriz de Valoración Cuantitativa	58
Tabla 24. Resultados caracterización del efluente	61



Tabla 25. Resultados de la Prueba de Toxicidad Aguda	63
Tabla 26. Prueba Kruskall Wallis- Toxicidad aguda	64
Tabla 27. Prueba Bonferroni-Toxicidad aguda	65
Tabla 28. Concentración letal media	66
Tabla 29. Resultados de la Prueba de Toxicidad Crónica	68
Tabla 30. Prueba Kruskal Wallis Variable Madurez sexual	69
Tabla 31. Prueba Bonferroni Variable Madurez sexual	70
Tabla 32. Prueba Kruskal Wallis Variable Número Neonatos/día	71
Tabla 33. Prueba Bonferroni Variable N° neonatos/día	71
Tabla 34. Prueba Kruskal Wallis Variable Número Neonatos/21 días	72
Tabla 35. Prueba Bonferroni Variable Número neonatos/21 días	72
Tabla 36. Prueba Kruskal Wallis Variable Longevidad	73
Tabla 37. Prueba Bonferroni Variable Longevidad	73

## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Pablo Mateo Ortiz Galarza en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del uso de bioindicadores, *Daphnia magna*, en la determinación de la toxicidad de efluentes provenientes de una industria serigráfica textil, ubicada en la ciudad de Cuenca.", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de julio de 2022



Pablo Mateo Ortiz Galarza

C.I: 0105067664

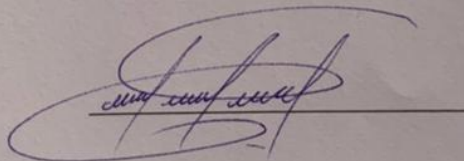
## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Erick Mateo Saavedra Bernal en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del uso de bioindicadores, *Daphnia magna*, en la determinación de la toxicidad de efluentes provenientes de una industria serigráfica textil, ubicada en la ciudad de Cuenca.", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de julio de 2022



Erick Mateo Saavedra Bernal

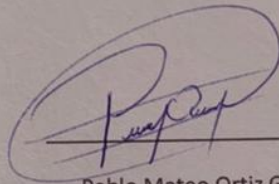
C.I.: 010568853-5

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Pablo Mateo Ortiz Galarza, autor/a del trabajo de titulación "Evaluación del uso de bioindicadores, *Daphnia magna*, en la determinación de la toxicidad de efluentes provenientes de una industria serigráfica textil, ubicada en la ciudad de Cuenca.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 22 de julio de 2022



Pablo Mateo Ortiz Galarza

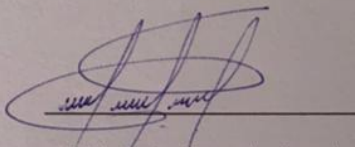
C.I: 010506766-4

## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Erick Mateo Saavedra Bernal, autor/a del trabajo de titulación "Evaluación del uso de bioindicadores, *Daphnia magna*, en la determinación de la toxicidad de efluentes provenientes de una industria serigráfica textil, ubicada en la ciudad de Cuenca.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 22 de julio de 2022



Erick Mateo Saavedra Bernal

C.I: 010568853-5

## **Dedicatoria**

Este trabajo de titulación quiero dedicar principalmente a Dios quien ha sido mi pilar fundamental en este logro, siendo mi fortaleza en todos los momentos de mi carrera universitaria. A mi padre, mi gran ejemplo a seguir; a mi madre la luz de mis ojos y la mujer que más amo en el mundo, también dedico este trabajo de titulación a mi gran familia que me amo y apoyo en las buenas y malas durante esta maravillosa etapa académica y para finalizar a mi Dani quien estuvo siempre dándome todo su amor.

***PABLO ORTIZ***

## Dedicatoria

En primer lugar, quisiera dedicar este trabajo de titulación a Dios, por ser el centro de mi vida, y por acompañarme en todo momento, en especial en esta etapa universitaria.

A mi familia, por apoyarme y motivarme en cada momento de dificultad, y al ser los primeros en celebrar mis triunfos.

Abuelita Isaura y Mayita, gracias por darme la fuerza para afrontar todas las adversidades en mi vida, por ser mi motor y mi más grande motivación. Siempre confiaron en que lo lograría.

Mi padre Geovanny, mi madre Marisol y mis hermanos Boris y Bryan, quienes estuvieron en cada momento de mi vida.

Esto es por ustedes y para ustedes.

**MATEO SAAVEDRA**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra casa de estudios, la Universidad de Cuenca, a todos nuestros docentes que durante la carrera nos acompañaron, brindando su conocimiento para nuestra formación. Agradecemos a las Ingenieras Paulina Echeverría y Verónica Pinos por sus consejos y su tiempo para la realización de la presente investigación, y a todas las personas que nos acompañaron y ayudaron.

**Pablo Ortiz**

**Mateo Saavedra**



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, se ha evidenciado el incremento y progreso industrial en la ciudad de Cuenca, junto con el desafío de un control de procesos productivos y manejo de desechos. Entre los procesos industriales, la industria textil ha tomado relevancia, por la alta producción de prendas de vestir y la elevada demanda de insumos como fibras, telas, colorantes, detergentes y de maquinaria especializada para la confección de productos de calidad. En la localidad, muchos de estos procesos productivos apenas son tecnificados y muchos de ellos se dan en la clandestinidad; donde los efluentes producidos son descargados sin tratamiento previo a las redes de alcantarillado público. Ocasionando de esta manera un problema para el ser humano y el medio ambiente.

Según Zaruma et al, 2018, alrededor del 90% de las aguas residuales de las industrias, son descargadas sin tratamiento previo, en países en vía de desarrollo. En la industria textil se da el más alto nivel de consumo de colorantes y tintes, donde alrededor del 50% de estos terminan siendo descargados directamente por los efluentes, debido a la baja fijación y adherencia en las fibras y telas (Iñiguez, 2022).

Dicha variedad de colorantes utilizados en la industria textil, se estima que se producen anualmente, un aproximado de 700,000 toneladas de colorantes sintéticos (Al-Ghouthi et al., 2010). Esto conlleva que, al emplearlos en el proceso productivo se incremente la demanda de agua, debido al proceso de fijación de los colorantes en las fibras, el cual es realizado por medio acuoso. Para producir 1 kg de producto textil se necesita de 200 litros de agua (Ghaly et al., 2014).

Según Merino et al., 2020, actualmente, los colorantes mayormente empleados en los procesos productivos son de origen sintético, llegando a ser considerados un problema medioambiental, al no ser biodegradables. Por lo que deben ser sometidos a procesos específicos para su degradación, y posteriormente ser descargados de manera efectiva para el ambiente y de esta manera evitar alteraciones de las propiedades fisicoquímicas de los compartimientos ambientales, hidrosfera, suelo, atmósfera y biota (plantas y animales). Dentro de la industria textil, la serigrafía es un proceso que genera un alto volumen de efluentes con presencia de tintas, disolventes, solventes, entre otros, que, al ser descargados, necesitan ser tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (Mottillo, 2021).

Es importante resaltar que, a lo largo del tiempo, se usó bioindicadores para determinar la condición del medio natural. Los cuales son especies de plantas o animales que pueden usarse para monitorear la calidad ambiental de un área en particular. Al estudiar las respuestas de estas especies a la exposición de contaminantes, es posible desarrollar modelos que ayuden a identificar los niveles de alteración y evaluar los impactos de estos en el medio ambiente (Florez & Franco, 2021).

La toxicidad de los contaminantes se puede determinar, estudiando la respuesta de los bioindicadores, al medir su desarrollo, respecto a las condiciones de análisis. De esta manera se puede comprender sus impactos en el medio ambiente y la salud humana. *Daphnia magna* es un bioindicador acuático validado para la evaluación en estudios de riesgos en toxicidad ambiental y ocupacional (Tkaczyk et al., 2021).

Por ello, se planteó una investigación de orden teórico científico que permita aportar conocimientos a las ciencias naturales, en el que se analiza y evalúa la calidad de los recursos naturales y del ambiente para su adecuado manejo. Diseñando estrategias viables para mejorar los procesos productivos, analizando los problemas ambientales con pensamiento crítico y ético respecto a la legislación ambiental vigente. Además, pretende llenar el vacío de conocimiento existente, frente a la falta de investigaciones previas sobre los efectos que ocasionan las descargas de los efluentes de la industria serigráfica textil en el medio natural; por medio del análisis de los procesos productivos de esta industria, la caracterización del efluente generado y su comparación frente a la normativa actual vigente, y la evaluación del desarrollo con el bioindicador *Daphnia magna*, frente a las diferentes pruebas y condiciones de estudio.

## 1.1 Planteamiento del Problema

La ciudad de Cuenca está ubicada en la región centro-sur de Ecuador, con una población de alrededor de 636.996 habitantes. El constante crecimiento de la ciudad viene acompañado del desarrollo industrial y el reto del control de la contaminación que esta produce. La industria textil es el sector más importante de la economía de esta ciudad, representando más del 50% del PIB (INEC, 2010).

Como resultado de ello, hay muchas fábricas entre legales y clandestinas donde la contaminación producida, se ha convertido en un problema creciente en los últimos años. Los procesos de pretratamiento, teñido, tinturado y acabado se encuentran entre las diversas etapas del proceso de fabricación textil que generan cantidades considerables de desechos, emisiones y efluentes, además, debido a su calidad no pueden ser destinados a otros usos, ocasionando problemas al ser eliminados sin el tratamiento adecuado, alterando las propiedades fisicoquímicas del medio y llegando a la cadena trófica ocasionando bioacumulación en plantas y peces, pudiendo llegar al ser humano (Florez & Franco, 2021). Da la necesidad de emplear procesos avanzados en las Planta de Tratamiento de Agua (PTAR), para poder descargar estos efluentes a los cuerpos de agua y no produzcan alteraciones posteriores.

Al no existir investigaciones previas que permitan cuantificar el efecto que ocasiona la industria textil serigráfica se da la necesidad de emplear metodologías de análisis y control, para determinar el impacto de este tipo de efluentes en los seres vivos y el medio ambiente. A través del uso de bioindicadores, que permiten analizar el desarrollo del mismo ante las diferentes pruebas y condiciones de estudio.

## 1.2 Justificación

En la actualidad, se presentan distintas problemáticas relacionadas al decrecimiento de la calidad ambiental, que afectan a los seres vivos en general y al medio ambiente, ocasionados por la descarga y emisiones de contaminantes al medio ambiente sin control, generadas por las actividades antropogénicas. Según el estudio de Jaén et al. (2020) además la inestabilidad social y laboral existente en el país, que se agudizó por el efecto de la pandemia del Covid-19, han provocado el desarrollo de empresas clandestinas que operan lejos del cumplimiento de la normativa ambiental vigente, a la par con empresas

legales que optan por el pago de multas, al ser accesibles y poco rígidas, muestran el interés hacia control de los procesos productivos que afectan la calidad del medio ambiente.

El constante crecimiento de la industria en la ciudad de Cuenca, acrecienta estas problemáticas, principalmente por la descarga de efluentes que alteran los compartimentos ambientales (ríos, lagos y cuerpos de agua en general), a su vez han provocado la necesidad de estudio de los diferentes procesos productivos (Martínez, 2017) poco abordados, como los procesos serigráficos en la industria textil.

La serigrafía es un método de impresión que consiste en la reproducción de artes gráficas previamente diseñadas y personalizadas sobre una superficie. En este proceso productivo se producen altos volúmenes de efluentes con presencia de tintas, disolventes, solventes, entre otros, que son de preocupación a la hora de ser descargados a la red pública de alcantarillado y posteriormente, tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Anualmente se producen  $7 \times 10^5$  toneladas métricas de colorantes y tintes textiles en todo el planeta; donde el 30 % de estos colorantes son usados en exceso, aproximadamente 1.000 toneladas por año, y el 90 % de los productos textiles son usados alrededor de 100 toneladas anuales (Martínez, 2017). Durante el proceso de tinción de las fibras entre el 10 % a 25 %, de colorantes se pierden durante esta etapa y del 2 % al 20 % son vertidos directamente a los recursos hídricos conjuntamente de una gran variedad de sustancias químicas, dando como resultado lechos fluviales muy tóxicos, carcinogénicos y mutagénicos de diversas formas, constituidos tales como bencidina, naftaleno entre otros aromáticos (Torres & Rodríguez, 2018).

Los bioindicadores permiten demostrar el efecto o el impacto de factores externos en un ecosistema y su desarrollo, en periodos de tiempo cortos como largos. Son importantes debido a que, por medio de estos organismos vivos, se puede determinar alteraciones y variaciones provocadas por procesos naturales o por la actividad antropogénica, de una manera efectiva y más rápida a la hora de actuar en pro de la conservación de los recursos naturales. La versatilidad que muestran estos organismos es importante, debido a que se pueden manipular las condiciones a las que son sometidas, y determinar la respuesta en función de la adaptación o la muerte de estos organismos, que posteriormente marcará el efecto a futuro, en el funcionamiento del ecosistema (Ocampo & Botero, 2010).

El género *Daphnia* es utilizado como organismos de prueba o de referencia en pruebas de toxicidad (Díaz et al., 2004). *Daphnia magna* es manejada como bioindicador ambiental de efluentes dulceacuícolas en ensayos ecotoxicológicos por ser de fácil manipulación y tratamiento en laboratorios debido a su corto ciclo de vida. Las virtudes de *Daphnia magna* permiten observar la adaptación, muerte o cambio de comportamiento ante los efluentes utilizados para medir la capacidad de los mismos en función de las concentraciones y caracterizaciones analizadas. Es necesario señalar que la reproducción es parte de la adaptación, donde su ciclo de vida será el pilar para determinar el efecto real producido por los contaminantes. Los métodos de diagnóstico por bioindicadores utilizan ensayos crónicos y agudos, que permiten evaluar la ecotoxicidad de los efluentes a analizar.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General:

Determinar la toxicidad de efluentes de procesos serigráficos textiles de una industria de la ciudad de Cuenca, a través de bioindicadores (*Daphnia magna*).

### 1.3.2 Objetivos Específicos:

- Identificar el proceso productivo con mayor incidencia ambiental, en función de los insumos empleados, según el tipo de contaminante y volumen de efluente generado.
- Caracterizar el efluente generado en el proceso productivo de mayor incidencia de la industria serigráfica.
- Determinar la ecotoxicidad de los efluentes por medio del bioindicador (*Daphnia magna*) estandarizando las mismas al realizar pruebas crónicas y agudas en agua del proceso productivo serigráfico.

## Capítulo II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Industria Serigráfica

La palabra serigrafía proviene de la base latina sericum (seda) y la palabra griega graphé (dibujar). Consiste en una técnica que permite imprimir un arte o diseño, sobre una superficie, por medio del uso de malla, espátula o racleta, tintas y aditivos (Kishor et al., 2021). Es un proceso que ve su origen en épocas primitivas, utilizando pigmentos naturales de frutas y minerales para la impresión de artes, se atribuye sus inicios a la técnica actualmente conocida, en China para la aplicación en objetos de uso diario, aunque en Europa adquirió gran popularidad para el uso en textiles (Sierra et al., 2018). Una de las ventajas de esta técnica, es el número de réplicas que se pueden realizar sin perder la calidad de impresión (Tepner et al., 2020).

En la industria de la impresión, así como en otras industrias, los contaminantes se pueden clasificar en: desechos sólidos, líquidos y gaseosos. Los residuos sólidos incluyen: envases vacíos, botes, materiales vencidos, planchas dañadas, películas reveladas y residuos de papel. Los desechos líquidos incluyen aceites lubricantes, pintura de desecho, solventes para limpieza, químicos reveladores de película, ácidos, bases y metales como plata, hierro, cobre, cromo y otros. Los procesos de impresión producen compuestos orgánicos volátiles y contaminantes emitidos principalmente por el uso de agentes de limpieza, tintas y alcohol y otras soluciones para humedecer las planchas de impresión. Todo esto representa la emisión gaseosa de la industria gráfica (Zhou et al., 2020).

Los vertidos líquidos industriales generan un problema preocupante para el medio ambiente como es la contaminación del agua, algunos de éstos provienen de fábricas textiles, papeleras e industrias gráficas. En las distintas etapas de los procesos textiles se consume una gran cantidad de agua y una amplia gama de productos químicos y, como resultado, genera un gran volumen de aguas residuales generalmente sin un tratamiento adecuado. Las aguas residuales liberadas suelen tener un color intenso de varios matices y contienen una mezcla compleja de contaminantes tóxicos como colorantes, detergentes solventes, tensoactivos, biocidas, pigmentos, metales pesados y otras sustancias orgánicas e inorgánicas (Methneni et al., 2021; Sierra et al., 2018).

#### **Colorantes de la Industria textil:**

Los colorantes se caracterizan por ser compuestos capaces de absorber o emitir luz en el intervalo visible del espectro (400 – 700 nm) (Sierra et al., 2018). Existen numerosas clasificaciones de colorantes, atendiendo a diversos criterios.

#### **Clasificación de Colorantes:**

En el mercado global existe una gran cantidad y variedad de colorantes, por lo que se pueden clasificar en función de su estructura química y por su método de aplicación dado en la industria (Nambela et al., 2020).

**Clasificación Química:** En la tabla 1, se detalla la clasificación química de los colorantes establecidas por Zaruma et al. (2018), donde se muestra en orden de mayor a menor frecuencia de uso, las familias de los colorantes y sus características.

Tabla 1. Clasificación química de colorantes

Familia	Descripción
Azoicos	Grupo de alrededor de 30000 sustancias sintéticas usados para teñir fibras sintéticas, alimentos, golosinas, cosméticos y bebidas. Su estructura cuenta con dos moléculas de nitrógeno unidas por un enlace doble. Son alrededor del 70 % de los colorantes orgánicos en el mercado, siendo el grupo más importante en la industria textil.
Antraquinonas	Sustancias orgánicas provenientes del antraceno, son quinonas tricíclicas que provienen del antraceno que a menudo y poseen uno o más grupos hidroxilo
Ftalocianina	Se constituyen de la unión cuatro grupos isoindol (dos anillos bencénicos y una piridina) por medio de cuatro átomos de nitrógeno, llegando a ser a un anillo de 16 átomos: ocho de nitrógeno y ocho de carbono, alternados con dobles enlaces conjugados.
Ion Arilcarbonio	Su estructura química está conformada por un átomo carbonilo unido a dos o tres anillos aromáticos.
Sulfuro	El azufre es su base de fabricación, donde existen varios métodos de aplicación de esta familia de colorantes, cuentan con una buena solidez a la luz y al lavado, su uso principal es para teñir algodón. Pertenecen a la clasificación de colorantes totalmente insolubles en agua, pero que puede ser solubilizado a través de reducción.
Polimetino	Se dividen entre tintes catiónicos, aniónicos y neutros. Poseen en los extremos de su cadena un grupo donador y un sustractor de densidad electrónica.
Nitro	Poseen características especiales en conjunto, ya que al encontrarse aislados son incoloros, en su absorción cercana al campo visible adquieren una tonalidad amarillenta por la combinación de grupos auxocromos débiles.

Fuente: Zaruma et al., 2018; Alzate, 2021

Los colorantes más recurrentes en la industria textil, hasta el 70 % de los comercializados en el mercado, son los de la familia azo o colorantes azoicos, dividiéndose en tintes hidrosolubles que se utilizan el proceso de tinturado y los tintes liposolubles en el estampado. Estos compuestos, al igual que casi la totalidad de colorantes sintéticos del mercado, son escasamente biodegradables. Se ha demostrado que algunos de estos compuestos son cancerígenos y mutagénicos (Zaruma et al., 2018; Martínez, 2017; Tiwari et al., 2022).

**Clasificación por su método de aplicación:** Existe una variedad de fibras (lana, algodón, poliéster, nylon, etc.) sobre las que se aplican distintos métodos de teñido por la capacidad de fijación de los colorantes. Esta clasificación se detalla en la siguiente tabla 2, que

muestra la clasificación por su método de aplicación, sujetos al tipo de superficie sobre la que se aplican. Según Zaruma et al. (2018), se clasifican en:

Tabla 2. Clasificación por su método de aplicación

Tipo	Fibras	Método de aplicación	Grupos cromóforos
Ácidos	Nylon, seda, lana, tintas, papel y piel	Usados comúnmente para baños de tinte neutros a ácidos.	Azo, antraquinona, trifenilmetano, nitroso y nitro.
Básicos	Poliacrilonitrilos, Papel, poliéster, nylon y seda	Utilizados en baños de tintura básicos	Azo, trimetilmetano y Antraquinona.
Directos	Rayón, Algodón, piel y Nylon	Formas de enlaces de hidrógeno e inmersión de la fibra con un electrolito.	Azo
Dispersos	Poliéster, Poliamida, Acetato, Acrílico y Plásticos	En forma de presión coloidal con altas temperaturas y presión. Unión del colorante por interacciones dipolares	Azo, antraquinona y nitro
Mordaz	Lana, piel y algodón	Aplicado en conjunto con sales de Cr	Azo y antraquinona
Reactivos	Algodón, lana, seda y nylon	Los grupos reactivos del colorante reaccionan con los grupos funcionales de la fibra para enlazarse covalentemente bajo la influencia de la temperatura y el pH.	Azo y antraquinona
Al Azufre	Algodón y rayón		Estructuras indeterminadas
A la Tina	Algodón, rayón y lana	Reducción con hidrosulfito de sodio, después de la impregnación se oxida	Antraquinona e índigos

Fuente: Zaruma et al., 2018

A partir de la producción del primer colorante sintético, se han elaborado cerca de 10 000 colorantes, donde el 30% son de tipo azo. En función del uso en la industria textil son el 70% de la producción total (Tiwari et al., 2022).

### Grado de Fijación de Colorantes

Alrededor del 50% de los colorantes empleados en los procesos de tinción en la industria textil son descargados directamente por medio de los efluentes de este sector industrial, por el bajo grado de fijación en las fibras. En la siguiente tabla 3, se muestra el porcentaje de grado de fijación según el método de aplicación.

Tabla 3. Porcentaje de fijación de colorantes según el método de aplicación

Método de Aplicación	Tipo de Fibra	Grado de Fijación (%)	Descarga en Efluentes (%)
Ácidos	Poliamida	85-95	5-15
Básicos	Acrílico	95-100	0-5
Directos	Celulosa	75-95	5-30
Dispersos	Poliéster	95-100	0-5
Mordaz	Celulosa	50-90	10-50
Reactivos	Celulosa	60-90	10-40
Al Azufre	Celulosa	60-85	15-40

Fuente: Zaruma et al., 2018

Los efluentes con presencia de este tipo de compuestos, deben pasar por tratamientos para ser descargados al medio ambiente, debido a que pueden ocasionar alteraciones en ecosistemas, principalmente en los cuerpos de agua, alterando las propiedades fisicoquímicas y biológicas de las aguas superficiales en los alrededores de las industrias textiles. Al no ser biodegradables, producen bioacumulación en organismos vivos, ocasionando una gran variedad de trastornos y enfermedades (Sharma et al., 2020).

### 2.1.1 Procesos serigráficos

Los procedimientos relacionados con la creación de artes serigrafiados pasan por tres etapas principales de producción: preparado y ajuste del bastidor con el arte grabado (Proceso de preimpresión), proceso de tinturado y estampado (Proceso de Impresión) y la limpieza y/o recuperación de los bastidores de impresión (Proceso de Limpieza).

- **Proceso de preimpresión:**

Consiste en las operaciones unitarias necesarias para la preparación de los equipos e insumos necesarios para el proceso de impresión, que comienza a partir de la elaboración de artes gráficas, y su posterior reproducción en la malla o pantalla de impresión por medio de un proceso de revelado, en la ilustración 1, se observa el proceso.

Durante este proceso se liberan residuos peligrosos como: compuestos de plata, el revelador usado, el fijador y los compuestos crómicos de productos químicos para limpieza, estos son liberados al agua. La cantidad y composición de las aguas residuales en la preparación de planchas de impresión depende del proceso de revelado y del fluido de lavado.



La presencia de metales pesados como: hierro, cobre, níquel y cromo que pueden ocasionar bioacumulación en los organismos acuáticos y continuar en la cadena trófica, donde el ser humano podría ser afectado indirectamente (Fang et al., 2018).

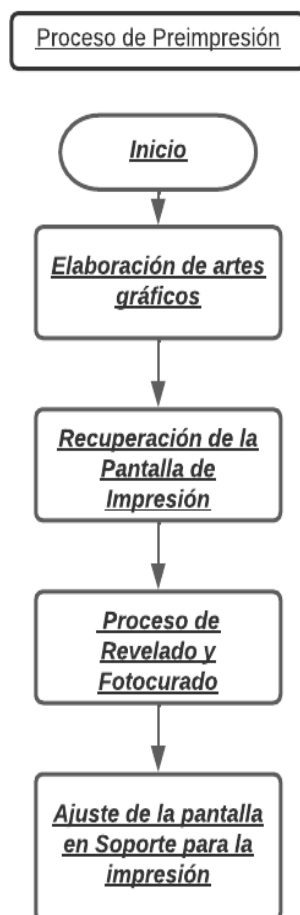


Ilustración 1. Proceso de Pre impresión

Fuente: Autores

- **Proceso de impresión:**

Consiste en la aplicación de tintas y aditivos sobre la pantalla de impresión, por medio de una racleta a presión sobre la malla preparada, se aplica la tinta con el objetivo de reproducir el arte gráfico preparado sobre la superficie deseada, en la ilustración 2, se detalla este proceso.

En esta etapa los contaminantes emitidos están relacionados principalmente con la composición química de las tintas utilizadas en los diferentes procesos de impresión, y luego con todos los auxiliares como disolventes para lavadoras y entintadores, soluciones de fuente para proceso de impresión offset, etc. Cada subproceso del proceso de tinturado posee determinadas características de sus efluentes (Fang et al., 2018).

La aplicación de isopropanol en la solución fuente para el proceso de impresión offset provoca la emisión de contaminantes del grupo COV (compuestos orgánicos volátiles). La exposición a corto plazo a los COV puede causar irritación ocular e inflamación del tracto

respiratorio, dolor de cabeza, mareos, alteraciones visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones cutáneas alérgicas, náuseas y deterioro de la memoria. Sin embargo, una exposición prolongada podría tener consecuencias severas (Fang et al., 2018).

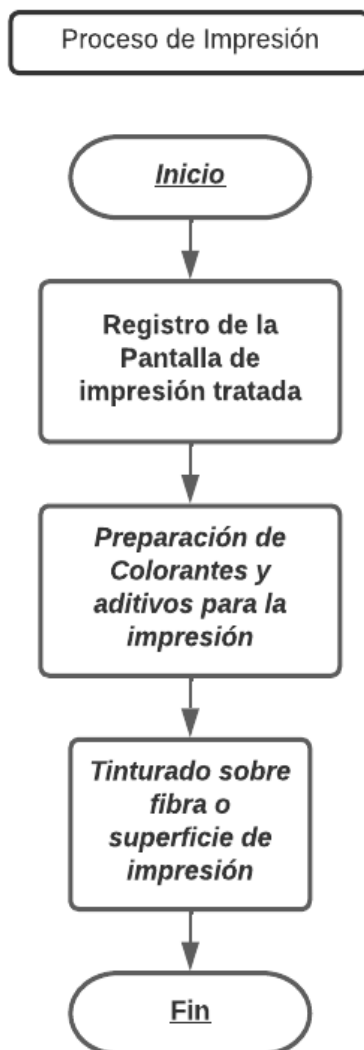


Ilustración 2. Proceso de Impresión Serigráfico

Fuente: Autores

## Subprocesos de Tinturado e Impresión según el tipo de superficie

Dentro del proceso serigráfico textil se reconocen 3 subprocesos importantes, el estampado de textiles, la impresión en materiales sintéticos y la impresión en fibras sintéticas, a partir de ellos se utilizarán distintas materias primas (ilustración 3).

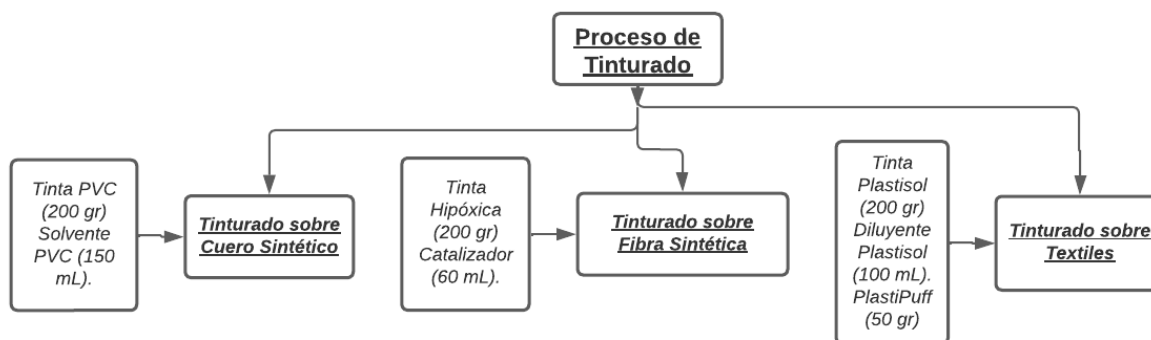


Ilustración 3. Subprocesos de Tinturado en textiles

Fuente: Autores

En la tabla 4, se presentan los distintos aditivos que se usan en el subproceso de tinturado, según la superficie de impresión.

Tabla 4. Aditivos requeridos en el proceso de tinturado

Subproceso	Tinturado sobre Cuero Sintético	Tinturado sobre Fibra Sintética	Tinturado sobre Textiles
Aditivos	Tinta PVC	Tinta Hipóxica	Tinta Plastisol
	Solvente Adelgazante PVC	Líquido Catalizador	Diluyente Plastisol
			PlastiPuff

Fuente: Autores

**Tinturado sobre cuero sintético:** Para la preparación de la tinta se requiere de tinta PVC (200 g) y solvente adelgazante (150 ml). Estas recetas pueden variar en función de cada empresa.

**Tinturado sobre Fibra Sintética:** En este subproceso se requiere de tinta hipóxica (200 g) junto y líquido catalizador (Solvente hipóxico) (60 ml) para conseguir la viscosidad deseada para la impresión.

**Tinturado sobre Textiles:** En base a la receta utilizada, se utiliza tinta a base de Plastisol (200 g) junto con el diluyente para tinta Plastisol (100 ml), para disminuir la densidad de la tinta para la impresión y PlastiPuff (50 g).

Las respectivas entradas de los subprocesos de tinturado se detallan en la Ilustración 3. Cada uno de los volúmenes y masas detallados en las recetas del fabricante corresponden a una producción estándar de 3000 unidades de producto finalizadas. Además, esta receta podría modificarse al existir lotes de producción de 5.000 y 10.000 unidades de producto finalizado. Cabe recalcar que, para cada tipo de tinta utilizada en los procesos mencionados anteriormente, se requiere de solventes especiales para la limpieza de la malla de impresión. Según Lazo et al., (2011), en el proceso de lavado y recuperado de mallas se

requiere de disolvente junto con cloro, jabón y agua a presión para devolverle obtener la transparencia de la malla y volver a someter a procesos de fotocuración y grabado.

Las tintas utilizadas dentro del proceso serigráfico se clasifican en:

**Tintas a base de agua:** Este tipo de tinta son absorbidas naturalmente por los tejidos, para el secado necesitan una temperatura baja. Por lo que pueden ser dejadas a la intemperie para su secado y sin riesgo de sufrir daños por la influencia de la radiación solar. Los tintes empleados en las tintas de base de agua pueden clasificarse entre azoicos, ácidos, básicos y directos (Lazo et al., 2011; Mottillo 2021).

**Tintas a base de Plastisol:** Elaborado a base de PVC como solución plastificante, que aporta resistencia y fijación sobre la superficie de impresión. Este tipo de tinta es empleada en impresiones transfer, donde forma una superficie impermeable con aspecto parecido al plástico, necesita de temperaturas de secado superiores a 150°C para su adherencia sobre la superficie de impresión. Es indispensable el manejo de hornos o prensas de calor para la transferencia de artes con este tipo de tinta a la superficie a adherir. Los tintes empleados en las tintas a base de Plastisol pueden clasificarse entre polimetino, ácidos, básicos, reactivos y dispersos (Lazo et al., 2011; Mottillo, 2021).

**Tintas a base de solventes:** Son el tipo de tinta usados con mayor frecuencia para la personalización de tejidos, por su facilidad de adherencia también son empleadas para impresión sobre PVC, metales, vidrio o cerámica. Es necesario conjugarlo con aditivos para mayor fijación. Los tintes empleados en las tintas a base de solventes pueden clasificarse entre Antraquinonas, dispersos y básicos (Lazo et al., 2011; Mottillo,2021).

- **Proceso de limpieza:**

Consiste en la recuperación de las propiedades de la pantalla de impresión a partir de la cual se requiere el uso de agua, jabón, detergente y disolvente común. Este proceso se realiza con el objetivo de reutilizar la pantalla posteriormente.

La mayoría de los agentes de limpieza se obtienen del aceite, proveniente del petróleo que es una sustancia muy volátil e inflamable. En el entorno de trabajo, estas sustancias representan un riesgo para la salud y la seguridad. En el exterior entran en reacciones químicas y dan como resultado compuestos foto oxidantes y causan smog (Fang et al., 2018). En la ilustración 4 se detallan las operaciones unitarias del proceso de limpieza.

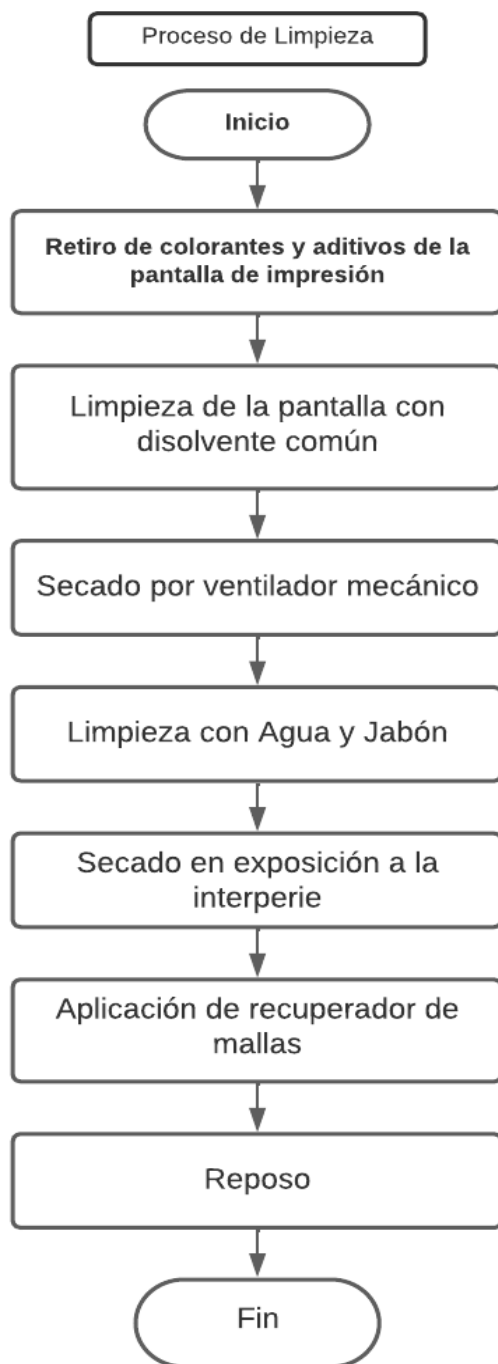


Ilustración 4. Proceso de limpieza

Fuente: Autores

## 2.1.2 Insumos Serigráficos

En la tabla 5, se muestran los diferentes insumos según el proceso al que pertenecen:

Tabla 5. Insumos Serigráficos

Insumo	Proceso
Gasolina ECOPAÍS	Proceso de Preimpresión (Recuperación de la pantalla de impresión)
Recuperador de mallas	
Disolvente común	
Jabón azul	
Emulsión textil fotosensible	Proceso de Revelado y Fotocurado
Bicromato de Amonio	
Tinta PVC	Proceso de Pintado y Tinturado
Solvente PVC	
Tinta Hipóxica	
Catalizador	
Tinta Plastisol	
Solvente diluyente Plastisol	
PlastiPuff	

Fuente: Autores

- Gasolina ECOPAÍS: Ecopaís es un biocombustible, está compuesto en un 5 % por bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y un 95 % de gasolina premezclada. Se elabora a base de la mezcla de Naftas de Alto y Bajo Octano con Etanol (Quijano, 2021). Se considera un combustible más amigable con el ambiente en comparación con el combustible tradicional, debido a que su uso contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. En comparación con otras gasolinas como la gasolina Súper, muestra una menor capacidad de octanaje y por ende representa en rendimientos menores en automotores.

- Recuperador de mallas: Aditivo capaz de devolver propiedades de resistencia de pantallas de impresión, normalmente usado en tintas a base de alcohol polivinílico. Su preparación es a base de disolución en agua. El resultado es un líquido inodoro, exento de cloro. Es tóxico por lo que se debe evitar la entrada a vías fluviales, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas (Jodra & Fullaondo, 2012)

- Disolvente común: Aditivo utilizado comúnmente para la disolución de todo tipo de pinturas y para la limpieza de las herramientas, está elaborado a base de hidrocarburos. Su

comportamiento en el medio varía según las sustancias, por lo general tienden a evaporarse en la atmósfera con facilidad, tardan mucho tiempo en degradarse y en muchos casos son bioacumulativos, persistiendo en los tejidos de plantas y animales (Ramos, 2017).

- Emulsión textil: Sustancia fotosensible, tiene la propiedad de pasar de soluble en agua a insoluble, una vez expuesta a la luz ultravioleta. Es fácilmente biodegradable (Mottillo, 2021).

- Solvente PVC: Son cancerígenos y perjudiciales para el medio ambiente, en particular cuando se evaporan o contaminan alimentos. Extremadamente tóxico en medios acuáticos y no se debe incorporar a suelos ni acuíferos (Tinpes, 2017).

- Tinta Hipóxica: Tinta catalizable, que se mezcla con un endurecedor iniciándose una reacción química irreversible; después de curado el sistema se obtiene un polímero termoestable entrecruzado de alto peso molecular. No se ha determinado toxicidad reproductiva ni teratogenicidad. Además de no encontrarse datos disponibles acerca de persistencia y biodegradabilidad (SunChemical, 2013).

- Catalizador: Producto base agua elaborado con aditivos especiales, no se encuentra clasificado como sustancia peligrosa (Tinpes, 2017).

- Diluyente Plastisol: Líquido incoloro e inodoro que sirve como dispersante y aporta flexibilidad a las partículas de PVC presentes en las tintas, está compuesto de compuestos químicos de baja solubilidad en agua, pero alta en aceite (Mottillo, 2021).

- Jabón azul: Contiene silicato sódico; glicerina; dióxido de titanio; blanqueador óptico; tensoactivo aniónico. La presencia de tensoactivos en el medio acuático da lugar a fenómenos como la producción de espumas, toxicidad para microorganismos, contaminación de acuíferos, inhibición en el crecimiento de algas, reducción del nivel de oxigenación que ocasiona variaciones en la propiedad del agua y consigo la existencia de organismos acuáticos, interfiere el proceso de auto tratamiento del agua, pueden presentarse anomalías en la reproducción de peces y algunos de sus compuestos pueden resultar dañinos para la vida humana por su disolución en el agua (Torres et al., 2018).

- Tinta Plastisol: Contiene Carbonato de calcio. No es fácilmente biodegradable (Sumiprint, 2016).

- Tinta PVC: Tinta a base de copolímeros derivados del ácido acrílico y metacrílico que se seca por evaporación de solventes. Toxicidad baja (Tinpes, 2017).

- Bicromato de Amonio: Sal de amonio del ácido dicrómico. No es biodegradable y muy tóxico para los organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el medio ambiente. Grandes cantidades del producto pueden afectar el pH del agua, con el riesgo de efectos nocivos para los organismos acuáticos. En algunos países ha sido prohibido su uso debido a su toxicidad (Acuña, 2016).

- PlastiPuff: Producto a base de resinas de PVC, plastificantes libres de ftalatos y aditivos especiales. Producto libre de ftalatos y metales pesados según normativas ambientales vigentes (Tinpes, 2017).

## 2.1.3 Contaminantes de la Industria Serigráfica

Los contaminantes emitidos en el proceso de impresión están relacionados principalmente con la composición química de las tintas utilizadas en los diferentes procesos de impresión, y luego con todos los auxiliares como disolventes para lavadoras y entintadores, soluciones de fuente para proceso de impresión offset, etc. Cada proceso tiene determinadas características de aguas residuales. Las aguas residuales en la industria de la impresión, así como las sustancias tóxicas liberadas, difieren de un proceso a otro (Fang et al., 2018).

Según Fang et al., (2018) los residuos peligrosos que se generan en la industria serigráfica se componen de:

- Envases que contienen residuos de sustancias peligrosas o suciedad con materiales peligrosos (tintas, disolventes, soluciones de limpieza).
- Revelador y activador.
- Residuos que contienen plata.
- Abrillantador, trapos y otros materiales absorbentes de lavado y limpieza que contengan sustancias peligrosas.
- Residuos de tintas, barnices, cartuchos de impresión.
- Trineos que contengan tintas, barnices y otros contaminantes.

## 2.1.4 Efectos de la industria serigráfica textil en la calidad del agua

Colorantes de la Familia Azo, Antraquinonas, Ftalocianina, Sulfuro y en base a solventes que son empleados en la industria textil, resultan ser tóxicos, mutagénicos y cancerígenos, por lo que la descarga de estos efluentes sin un tratamiento adecuado, puede tener impactos adversos en los ecosistemas acuáticos. Además, la acumulación de color por estos tintes en las aguas residuales genera un efecto estético negativo en los suministros de agua, dificulta la penetración de la luz solar, altera la actividad fotosintética, provoca eutrofización y consecuentemente afecta la dinámica de la vida acuática (Methneni et al., 2021).

Según Nunes (2021), las sustancias tóxicas que son producidas en los procesos productivos textiles son de alto interés en temáticas ambientales, por su alto grado de toxicidad, alta capacidad de contaminar alimentos y afectar la salud de seres humanos y el medio ambiente al ingresar en la cadena trófica. Es el caso de los Nonifenoles Etoxilados (NPE) presentes en los plastisoles, los colorantes azoicos, ftalatos, tensoactivos, entre otros. A partir de las tintas de PVC se genera tetraclorodibenzodioxina (TCDD) una de las toxinas más letales para el ser humano al ser carcinógeno y disruptor hormonal, siendo también nocivo para los animales, flora y el medio ambiente en general.

Las aguas residuales en la industria gráfica están presentes en la preparación convencional de planchas de impresión (proceso de preimpresión), en el proceso de impresión offset, así como en la limpieza de máquinas de impresión.



## 2.2 Ecotoxicología

Es una subdisciplina aplicada de la toxicología, su término se deriva de Ecología y Toxicología (Agathokleous & Calabrese, 2020). Se centra en los impactos toxicológicos de los contaminantes en la vida silvestre (fauna y flora nativa) con la finalidad de protegerla a nivel de población, comunidad y ecosistema, esto se realiza mediante el uso de animales, plantas y microorganismos vertebrados e invertebrados. Las investigaciones dentro de esta rama se efectúan en niveles de organización biológica, desde bioquímicos hasta ecosistémicos, con el objetivo de exponer relaciones y facilitar la comprensión y predecir los efectos toxicológicos (Belén, 2020).

## 2.3 Bioensayos

Toledo et al. (2021) define este término como cualquier experimento en el que se utilicen seres vivos como objeto de estudio para medir la potencia de un estímulo.

Son procedimientos experimentales realizados para estimar los efectos biológicos producidos por una sustancia o una mezcla de sustancias sobre organismos individuales o ecosistemas (suelo, aire, agua). Los bioensayos también se pueden usar para determinar la concentración de una constitución particular de una mezcla que puede causar efectos dañinos. Puede llevarse a cabo en organismos vivos o tejidos, células, proteínas o enzimas entre otros (Bosch-Orea et al., 2017).

Para encontrar efectos biológicos mediante bioensayos se utilizan sistemas biológicos escalados a nivel molecular, celular (in vitro) o de organismo completo (in vitro) (Ekelund & Häder, 2018). Los ensayos in vitro específicos del modo de acción miden los efectos a nivel celular y son apropiados para aplicaciones de alto rendimiento en el laboratorio, en vivo los bioensayos permiten establecer la toxicidad letal y subletal para modelar individuos expuestos en sistemas estáticos o de flujo continuo (Kienle et al., 2022).

Las ventajas de utilizar este tipo de ensayos se describen a continuación (Wieczerek et al., 2016):

- Es posible realizar pruebas in situ.
- No es necesario comprar reactivos de alta pureza y materiales de referencia.
- La realización de la mayoría de los bioensayos no requiere personal altamente cualificado.
- Las pruebas proporcionan información sobre el impacto de los contaminantes en los organismos vivos y ecosistemas.
- Coste por análisis relativamente bajo.
- Posibilidad de realizar análisis cualitativos y cuantitativos de contaminantes individuales presentes en las muestras analizadas.

En la actualidad se realizan varias investigaciones con el fin de revisar la calidad de los principales ecosistemas ambientales (agua, suelo y aire), por lo que en la tabla 6 se hace una compilación de literatura enfocada en la aplicación de bioensayos.

Tabla 6. Casos de aplicación de bioensayos

Tipo de ecosistema	Organismo de prueba	Aplicación	Referencia
Acuático	Nematodos ( <i>C. elegans</i> ), algas ( <i>S. oblicuo</i> ), dáfidos ( <i>D. magna</i> ) y peces ( <i>D. rerio</i> )	Evaluación de lixiviados plásticos	(Gao et al., 2022)
	Crustáceos ( <i>D. magna</i> )	Evaluación de efectos de colorantes azoicos de efluentes textiles sintéticos	(Lach et al., 2022)
	Crustáceos ( <i>G. fossarum</i> y <i>D. magna</i> ) y peces ( <i>D. rerio</i> )	Evaluación de riesgos ambientales del agua del río (Sava, Croacia)	(Malev et al., 2022)
	Peces	Evaluación de toxicidad de los sedimentos marinos del área de Byfjorden alrededor de la ciudad de Bergen (Noruega)	(Goksøyr et al., 2021)
	Crustáceos ( <i>D. magna</i> )	Evaluación de la toxicidad y mutagenicidad de un efluente sintético que contiene colorante azo	(Alderete et al., 2021)
	Bacterias Gram-positivas y Gram-negativas ( <i>Aliivibrio fischeri</i> , <i>Bacillus subtilis</i> <i>Escherichia coli</i> )	Detección de antibióticos	(Jonkers et al., 2020)
Suelo	Especies de ocho grupos taxonómicos ( <i>Magnoliopsida</i> , <i>Liliopsida</i> , <i>Clitellata</i> , <i>Entognatha</i> , <i>Entomobryomorpha</i> , <i>Chromadorea</i> , <i>Chlorophyceae</i> , <i>Trebouxiophyceae</i> )	Evaluación de la toxicidad del propilparabeno	(Kienle et al., 2022)
Suelo	Algas ( <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Palmaria palmata</i> , <i>Ulva</i> spp., <i>Cladophora rupestris</i> )	Evaluación del impacto de las fuentes de nutrientes de la acuicultura y la agricultura	(Streicher et al., 2021)
Aire	Bacteria <i>Vibrio fischeri</i>	Evaluación de la ecotoxicidad de las sustancias húmicas atmosféricas	(Kiss et al., 2021)

Fuente: Autores

## 2.4 Bioindicadores

Son especies animales o vegetales que sirven para evaluar la calidad ambiental a lo largo del tiempo (Comess et al., 2021), se usan para la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de las condiciones ambientales y del grado de transformación ambiental (Radziemska et al., 2019).

Tienen requerimientos ambientales específicos en relación a ciertas variables físicas o químicas, de esta manera la especie expuesta puede presentar cambios en su presencia y

distribución espacial, número, morfología o conducta cuando las condiciones del sistema ecológico se alteran. De esta manera estos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales se encuentran adaptados y cualquier cambio en dichas condiciones afectará en la estructura, composición y dinámica de las comunidades (Terneus & Yáñez, 2018).

Estos organismos pueden presentar varias respuestas a cambios ecológicos como variación en la densidad de población, especies clave y diversidad de especies, cambios de comportamiento como alteración en las actividades de alimentación, movilidad, etc., y cambios fisiológicos como acumulación de metales pesados, producción de CO<sub>2</sub>, actividad microbiana entre otras (Manickavasagam et al., 2019).

Los bioindicadores se pueden emplear a diversas escalas, desde la célula hasta el nivel del ecosistema, tanto en áreas naturales urbanas como remotas y para todos los compartimentos ambientales, es decir, los océanos, las aguas dulces, los suelos y la atmósfera, como por ejemplo, los árboles, líquenes y musgos suelen utilizarse como bioindicadores de la contaminación atmosférica; plantas terrestres y pequeños animales para suelos; y peces, mamíferos, invertebrados, algas o plantas para las aguas (Polechońska & Klink, 2021). Los más comunes en el sistema acuático son: microbios, fitoplancton y algas, macro-invertebrados, zooplancton, macrófitos y otros animales como peces, mamíferos y aves (Manickavasagam et al., 2019).

El zooplancton brinda ciertas ventajas como indicadores de la calidad ambiental tanto en lagos como en ríos: como grupo, tienen una distribución mundial y la composición de especies y la estructura de la comunidad son sensibles a los cambios en las condiciones ambientales, el enriquecimiento de nutrientes y los diferentes niveles de la contaminación (Abdulwahab & Rabee, 2015). Dentro de este grupo se encuentran los cladóceros que son un grupo importante de consumidores primarios en los ecosistemas acuáticos y se utilizan con frecuencia como bioindicadores de perturbaciones en los ecosistemas y ecotoxicología (Clark et al., 2021).

*Daphnia* es un género de pequeños crustáceos planctónicos del orden Cladocera, la especie más grande de este grupo es *Daphnia magna*, tiene una longitud entre 0,2 mm a 5 mm (Lee et al., 2019), comúnmente conocidos como pulgas de agua.

## **Daphnia magna**

Es utilizada en la evaluación de la toxicidad de contaminantes químicos ya que presenta elementos favorables en las pruebas de biotoxicidad, tales como: estabilidad genética generando poblaciones uniformes, fácil manejo en laboratorio y estimación de efectos agudos y crónicos de químicos tóxicos (Koslowski et al., 2020). Este organismo filtra grandes cantidades de agua y partículas en suspensión ya que de esta manera se alimenta, lo que permite un mayor potencial de verse afectado por la ingestión de contaminantes en comparación con otros organismos acuáticos (Trompeta et al., 2019).

Tiene dos grandes ojos compuestos y antenas extendidas, posee un exoesqueleto semitranslúcido que permite ver el corazón latiendo, así como los huevos en una bolsa de huevos abdominal en las hembras, como se puede observar en la ilustración 5. Están

cubiertas por un caparazón con un espacio ventral para los cinco o seis pares de patas, la cabeza está fusionada con el caparazón (Häder & Erzinger, 2018).



Ilustración 5. Daphnia magna

Fuente: Häder & Erzinger, 2018

Se alimentan de distintas bacterias, cianobacterias unicelulares y filamentosas y protozoos, manteniendo así en equilibrio las relaciones tróficas, y a su vez sirven de alimento para los peces (Taipale et al., 2018).

Se reproducen de manera asexual en condiciones favorables mediante partenogénesis y de forma sexual mediante huevos encapsulados latentes en ambientes desfavorables (Seyoum et al., 2020).

Según Díaz et al. (2004) esta especie presenta un corto ciclo de vida en donde producen un alto número de crías, la longevidad promedio óptima de esta especie es de aproximadamente 40 a 60 días, además recomienda establecer ciclos de renovación del cultivo de estos organismos cada 5 semanas.

### **Criterios para la selección de bioindicadores**

Manickavasagam et al. (2019) señala los siguientes lineamientos para escoger una especie como bioindicador.

- El organismo debe tener una relación causal con el criterio de valoración ecológico significativo.
- El organismo debe ser sensible y específico.
- Debe ser de amplia distribución temporal y espacial.
- Disponible todo el año, tolerancia moderada a perturbaciones y estrés, pequeño y fácil de identificar y muestrear, autóctono o representativo.
- Debe tener resultados que sean transparentes y reproducibles.
- Fácil de recolectar y debe ser rentable.

## 2.5 Pruebas de toxicidad

Hace referencia a pruebas estándar aceptadas internacionalmente, comprende la exposición de organismos de prueba a distintas concentraciones de un compuesto químico o diluciones de una muestra ambiental durante un período de tiempo definido en condiciones experimentales, estas muestras pueden ser efluentes, suelos, sedimentos, y generalmente poseen distintas sustancias químicas (Planes & Fuchs, 2015). Las respuestas biológicas en diferentes niveles de la organización biológica como por ejemplo: inducción o represión de la expresión génica, inhibición enzimática, daño en el ADN, la inhibición del crecimiento o la reproducción, la muerte, los cambios de comportamiento, etc., se pueden utilizar como punto final medido. Como resultado de la prueba se presenta una curva de concentración-respuesta, que describe la relación entre la concentración de la muestra ambiental y la magnitud de los efectos biológicos que ocurren en la población expuesta de la especie de prueba, estimándose de esta manera los índices de toxicidad como por ejemplo en valores concentración sin efecto observado (NOEC) y la concentración que produce la muerte de la mitad de los organismos de prueba (CL<sub>50</sub>) entre otros (Viegas, 2021).

Estas pruebas pueden utilizar organismos de diferentes niveles tróficos que van desde bacterias, protozoos, crustáceos, hasta animales mayores como ranas, peces, ratas, ratones, células de humanos, entre otros (Agudelo et al., 2018).

### 2.5.1 Criterios para la selección de las pruebas toxicológicas

En la tabla 7, se describen los criterios que se debe tomar en cuenta para efectuar las pruebas toxicológicas.

Tabla 7. Criterios para la selección de las pruebas toxicológicas

<b>Del objetivo</b>	Necesidad de la prueba
<b>Factibilidad</b>	Bajo costo Disponibilidad de materiales y métodos Tiempo Interpretación simple de resultados
<b>De la especie de prueba</b>	Obtención sencilla Fácil mantenimiento Sensibilidad a bajas concentraciones Representatividad ecológica Información disponible sobre su biología
<b>De la prueba</b>	Técnicamente seguro y no contaminante Exactitud y precisión Factibilidad de estandarización Significado ecológico de los resultados Validación de la salud de los animales de experimentación

Fuente: Moscoso, 2014

## 2.5.2 Clasificación de las pruebas de toxicidad

Autores como Blas (2018) y Escobar & Pérez (2016), señalan una clasificación de ensayos toxicológicos en medio acuático de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 8. Clasificación de pruebas toxicológicas

Según su respuesta	
Aguda	Los individuos son expuestos a un agente tóxico durante un corto periodo de tiempo, no mayor a 96 horas y se realiza una sola ocasión.
Subaguda	Los individuos son expuestos a un agente tóxico diariamente durante periodos que oscilan entre 15 días y 4 semanas.
Crónica	A largo plazo, el tiempo de exposición corresponde al menos a una generación de individuos de prueba. Permiten determinar efectos como alteraciones en el desarrollo, periodo de vida y en la reproducción.
Subcrónica	Los individuos son expuestos a un agente tóxico por un tiempo de al menos la décima parte del periodo de generación de los mismos.
Según su técnica	
Estáticos	Ubicar a los individuos en cámaras de prueba con sus respectivas concentraciones de análisis.
Semi-estáticos	Se renueva regularmente el medio de ensayo, generalmente cada 24 horas.
De Flujo Continuo	Se renueva constantemente el medio de ensayo
De reproducción	El tiempo de exposición corresponde al menos 3 generaciones del organismo. Evalúa la reproducción del individuo.
De Recuperación	Luego del periodo de exposición, los individuos son trasladados a un medio no tóxico.

Fuente: Blas (2018) y Escobar & Pérez (2016)

## 2.5.3 Parámetros establecidos mediante las pruebas de toxicidad

Las directrices 202 (OCDE, 2004) y 211 (OCDE, 2012) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, establecen las siguientes definiciones de los parámetros que se pueden encontrar mediante el uso de sus protocolos estandarizados:

**Concentración con el efecto más bajo observado (LOEC):** es la concentración más baja analizada a la que se observa que la muestra tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la reproducción y la mortalidad de los padres (a  $p < 0.05$ ) en comparación con el control, dentro de un período de exposición establecido. Sin embargo, todas las concentraciones de prueba por encima de la LOEC deben tener un efecto nocivo igual o mayor que los observados en la LOEC.

**Concentración sin efecto observado (NOEC):** es la concentración de prueba inmediatamente por debajo de la LOEC, que cuando se compara con el control, no tiene un

efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), dentro de un período de exposición establecido (OCDE, 2012).

**Concentración letal media (CL<sub>50</sub>):** Es la concentración estimada para inmovilizar el 50 por ciento de los organismos de prueba, dentro de un período de exposición establecido que generalmente puede ser de 24 o 48 horas (OCDE, 2004).

## 2.6 Normativa Nacional para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público

En Ecuador a fin de cumplir con el objetivo de prevenir y controlar la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua, se ha establecido el Anexo I del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Su finalidad primordial es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Entre los parámetros analizados en esta norma se encuentran: pH, temperatura, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO), Nitrógeno total de Kjeldahl (NTK), grasas y aceites, sulfatos, fósforo total, cromo hexavalente, cobre y metales pesados, cuyos límites establecidos para la descarga al sistema de alcantarillado público se detallan a continuación (tabla 9):

Tabla 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades	6-9
Temperatura		°C	< 45
Nitrógeno Total	N	mg/l	60
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	400
Fósforo Total	P	mg/l	15
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B. O <sub>5</sub>	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Grasas y aceites	Sust. solubles en hexano	mg/l	50

Fuente: Ministerio del ambiente, 2015

## Capítulo III. METODOLOGÍA

### 3.1 Tipo de Investigación

El presente estudio se centra en investigar la ecotoxicidad de efluentes provenientes de procesos serigráficos y la afección de las descargas a la red pública de alcantarillado.

Se realizó un estudio descriptivo debido a que los datos recolectados permitieron analizar las concentraciones del contaminante y su efecto en el bioindicador *Daphnia magna*.

### 3.2 Sitio de muestreo

Empresa localizada en el cantón Cuenca en la avenida Miguel Ortega y Calle del Retorno, específicamente en las coordenadas: 2°53'58.94"S 79°2' 6.27"O (ilustración 6).

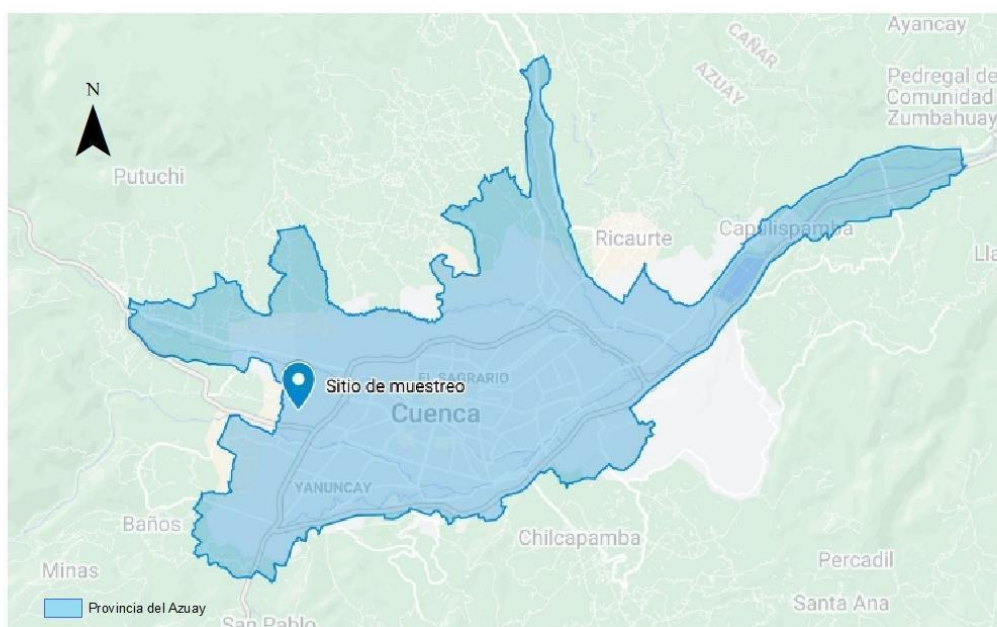


Ilustración 6. Ubicación del sitio de muestreo

Fuente: Autores

### 3.3 Determinación de los procesos productivos de la empresa

Se realizaron inspecciones in situ a la empresa, así como consultas al jefe de la planta sobre detalles y datos de los insumos y procesos productivos a analizar. La composición de los insumos fue obtenida de las correspondientes fichas técnicas. En la ilustración 7, se muestra el proceso productivo serigráfico, en función de cada una de las operaciones unitarias.



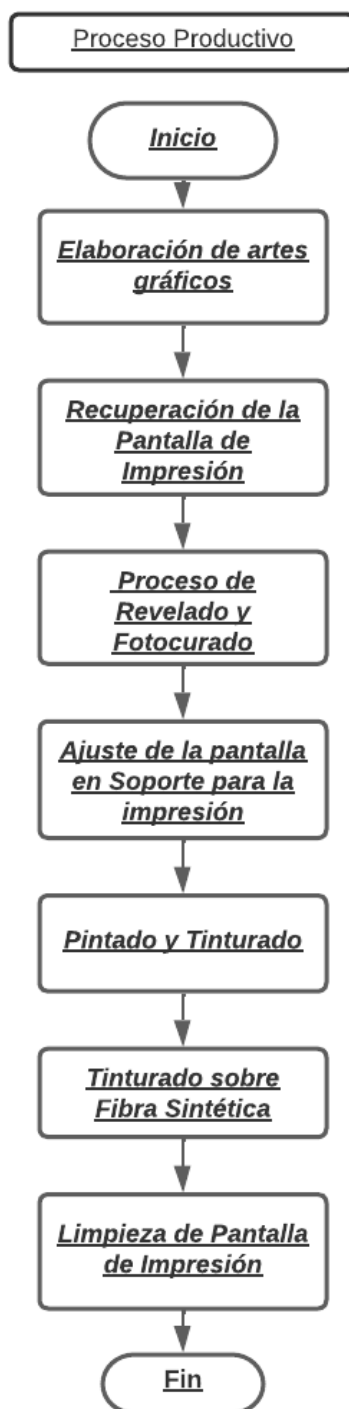


Ilustración 7. Flujograma del proceso productivo serigráfico

Fuente: Autores

Para definir entradas y procesos, es importante mencionar que la elaboración de artes gráficas, recuperación de pantalla de impresión, revelado - foto curado y ajuste de la pantalla de impresión, son todos procedimientos previos para el pintado y tinturado de textiles, cualesquiera que sean los tres subprocesos posteriores a realizar por la empresa. En la tabla 10, se muestran las entradas según cada operación unitaria del proceso productivo textil.

Tabla 10. Insumos serigráficos según cada operación unitaria

Elaboración de artes gráficos	Recuperación de la Pantalla de Impresión	Proceso de Revelado y Fotocurado	Ajuste de la pantalla en Soporte para la impresión	Pintado y Tinturado	Limpieza de Pantalla de Impresión
Hoja de Papel Bond Hoja de Papel Calco Transparente Cinta Adhesiva. Tinta de Impresión CMYK	Gasolina ECOPAÍS (20 ml) Disolvente Común (40 ml) Jabón Azul (5 g) Agua (10 l) Detergente (10 g) Cloro (10 ml) Cinta Adhesiva. Hoja de Papel Calco.	Emulsión Fotosensible (10ml) Bicromato de Amonio (2 ml)	Cinta Adhesiva. Papel Calco Transparente	Tinta PVC (200 g) Solvente PVC (150 ml). Tinta Hipóxica (200g) Catalizador (60 ml). Tinta Plastisol (200 g) Diluyente Plastisol (100 ml). PlastiPuff (50 g)	Jabón Azul (5 g) Cloro (10 ml). Agua (15 l)

Fuente: Autores

Todas las entradas de materias primas y sus respectivas medidas, siendo estos volúmenes o masas, fueron recuperadas de las recetas secretas de preparación de la empresa en mención. En cada uno de los subprocesos de tinturado, se obtuvo cantidades de insumos, en base a una producción estándar de 3000 unidades de producto finalizadas, según la naturaleza de la superficie a imprimir. Es importante recalcar que los lotes de producción estándar a considerar son de 3000, 5000 y 10000 unidades de producto terminado, los mismos que cuentan con recetas de elaboración estrictamente cumplidas. Al sufrir modificaciones y alteraciones, puede alterar considerablemente la calidad del producto finalizado, en función de la fijación y resistencia.

### 3.3.1 Valoración cualitativa de los subprocesos de pintado y tinturado

De carácter subjetivo, refleja la importancia del impacto, midiendo la trascendencia de la acción sobre el factor alterado mediante determinados atributos. Evalúa el impacto en función del grado de manifestación cualitativa del efecto, a través de la Matriz de Importancia o Índices de incidencia, donde los valores obtenidos pueden verse reflejado por medio de una matriz de cruces entre acciones y factores, analizando los siguientes parámetros: Importancia del impacto según tipo de efecto, duración, persistencia, acumulación y periodicidad de aparición.

### 3.3.2 Valoración cuantitativa de los subprocesos de pintado y tinturado

Este tipo de valoración mide la magnitud del impacto provocado, para lo que se requiere de indicadores numéricos para proporcionar una medida de la magnitud del impacto. Consiste

en evaluar el nivel de relevancia ambiental en función del volumen de descarga según el proceso productivo a analizar (Evaluando subprocesos e insumos). En función de la naturaleza de los insumos mencionados se elaboró la escala del criterio cuantitativo, donde el volumen o masa y su naturaleza determinará su clasificación, entre bajo, moderado, severo y crítico.

La determinación previa de la Matriz de Importancia, sirve como objeto de análisis en comparación con el criterio cuantitativo, para obtener un criterio final entre criterios cualitativos y cuantitativos, del cual se desprende según los insumos y subprocesos una valoración final, para la determinación del subproceso con mayor relevancia ambiental. Esta metodología fue desarrollada por Vicente Conesa Fernandez en 1997. Donde se muestra una matriz causa-efecto, llamada la matriz de Conesa-Fernandez que considera e incluye los conceptos de las matrices de Leopold y del Instituto Batelle-Columbus.

### 3.3.3 Evaluación de Impactos

La Matriz de Impacto Ambiental, es un método analítico, con el que, se le puede otorgar la importancia (I) a cada impacto ambiental posible en cada una de las etapas de ejecución de un Proyecto, se basa en la Matriz de Conesa Fernández, de la guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental (Conesa Fernández, 2009).

**Ecuación para el Cálculo de la Importancia (I) de un impacto ambiental:**

$$\text{IMPORTANCIA} = \pm(3In + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc)$$

Dónde:

$\pm$  =Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

Se consideran 11 factores en la determinación de la importancia del impacto, las mismas que poseen una valoración cualitativa en función de la magnitud del impacto identificado.

#### **Signo (+/-)**

El signo se refiere a la naturaleza del impacto siendo este beneficioso (+) o perjudicial (-) en función de las acciones que actúan sobre los factores a considerar. La escala de valoración del signo del impacto se divide entre (+) beneficioso y (-) perjudicial.

## Intensidad (In)

Hace alusión al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa. La escala de valoración estará comprendida entre 1 y 12, en el que 12 expresa una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y el 1 una afección mínima. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias.

## Extensión (Ex)

Hace referencia al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto. Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter Puntual (1).

Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será Total (8), considerando las situaciones intermedias, según su grado, como impacto Parcial (2) y Extenso (4).

Tabla 11. Escala de valoración de extensión del impacto

Extensión (Ex)	Valor
Puntual	1
Parcial	2
Extenso	4
Total	8
Crítica	12

Fuente: Autores

## Momento (Mo)

Hace alusión al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto (ti) sobre el factor del medio considerando el plazo de manifestación del impacto. De esta manera, cuando el tiempo transcurrido sea nulo, el momento será Inmediato, asignándole un valor (4). Si es un periodo de tiempo que va de 1 a 3 años, Medio Plazo (2), y si el efecto tarda en manifestarse más de tres años. Largo Plazo, con valor asignado (1).

Tabla 12. Escala de valoración del momento del impacto

Momento (Mo)	Valor
Largo Plazo	1
Medio Plazo	2

Inmediato	4
Crítico	8

Fuente: Autores

## Persistencia (Pe)

Hace referencia al tiempo en el que, supuestamente, pertenecería al efecto a partir de su aparición. Si dura menos de un año, consideramos que la acción produce un efecto fugaz, asignándole un valor (1). Si dura entre 1 y 3 años, Temporal (2); entre 4 y 10 años, Permanente (4) y si el efecto tiene una duración superior a los 10 años, consideramos el efecto como permanente, asignándole un valor (8).

Tabla 13. Escala de valoración de persistencia del impacto

Persistencia (Pr)	Valor
Fugaz	1
Temporal	2
Permanente	4

Fuente: Autores

## Reversibilidad (Rv)

Los intervalos de tiempo que comprenden estos períodos son los mismos que asigna en el parámetro anterior. Cuando el Impacto es Irrecuperable (alteración imposible de reparar, tanto por la acción natural, como por la humana) le asignamos el valor (20). Si es a Corto Plazo, se le asigna el valor (1), si es a Medio Plazo (4), si es a Largo Plazo (3) y si es Irreversible le asignamos el valor (8).

Tabla 14. Escala de valoración de reversibilidad del impacto

Reversibilidad (Rv)	Valor
Corto Plazo	1
Medio Plazo	2
Irreversible	4

Fuente: Autores

## Sinergia (Si)

Se refiere a que el efecto global de dos o más efectos simples es mayor a la suma de ellos, es decir a cuando los efectos actúan en forma independiente.

Tabla 15. Escala de valoración de sinergia del impacto

Sinergia (Si)	Valor
Sin Sinergismo	1
Sinérgico	2
Muy Sinérgico	4

Fuente: Autores

## Acumulación (Ac)

Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Se clasifica en Simple (1) y Acumulativo (2).

## Efecto (Ef)

Se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Se clasifica en Indirecto (1) y Directo (4).

## Periodicidad (Pr)

La periodicidad hace referencia a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

Tabla 16. Escala de valoración de periodicidad del impacto

Periodicidad (Pr)	Valor
Irregular	1
Periódico	2
Continuo	4

Fuente: Autores

## Recuperabilidad (Mc)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

Tabla 17. Escala de valoración de recuperabilidad del impacto

Extensión (Ex)	Valor
Recuperación inmediata	1
Recuperable	2
Mitigable	4
Irrecuperable	8

Fuente: Autores

Como indica la tabla 18 el rango de importancia de los diferentes impactos se clasifica de acuerdo a la puntuación obtenida.

Tabla 18. Escala de Importancia de los Impactos Ambientales

Rango de importancia	Tipo de impacto
<25	Irrelevante
25-50	Moderado
50-75	Severo
> 75	Crítico

Fuente: Autores

### 3.3.4 Selección del proceso productivo con mayor relevancia ambiental.

Por medio del análisis de la valoración cualitativa y cuantitativa, se determinó la relevancia ambiental del proceso productivo de la empresa serigrafía textil más agresivo. Cabe recalcar que el proceso de recuperado y preparación de la pantalla de impresión es un proceso complementario a los procesos de tinturado, por lo que se definirá entre los subprocesos de tinturado, pudiendo determinar que el proceso de tinturado sobre cuero sintético es el proceso más relevante. Las muestras que se tomaron posteriormente, fueron el resultado de la suma del proceso de recuperación y preparación de la pantalla de impresión y del subproceso de tinturado sobre cuero sintético.

### 3.4 Caracterización del efluente

Se realizó la evaluación del efluente generado en el proceso productivo de mayor incidencia de la industria serigráfica.

El muestreo que se realizó fue de tipo manual, de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 para calidad de agua. Este proceso se llevó a cabo durante 3 días martes desde las 9 am hasta las 11 am. Se seleccionó el día y hora mencionada, dado a que la empresa realiza los 3 procesos simultáneamente este día. Se realizó en las fechas 01, 09 y 16 de febrero de 2022.

Las muestras fueron tomadas directamente de un reactor químico que posee la empresa para el almacenamiento de los efluentes de los procesos productivos, de donde se obtuvieron las muestras simples, de un volumen de 1000 ml cada una. Dando un total de 3 muestras durante los 3 días de muestreo. Estas se tomaron durante la jornada de trabajo de la empresa. Se recolectaron a través de botellas de cuello ancho de plástico, manteniendo en condiciones de refrigeración y oscuridad a 4° C.

Finalmente, fueron almacenadas por separado con su respectivo sellado y rotulado con la finalidad de su preservación, para su posterior traslado al laboratorio de análisis de la calidad de agua de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, en donde se llevó a cabo su análisis.

A la muestra del proceso productivo de mayor relevancia ambiental, se sometió al análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas, de acuerdo al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente como: temperatura, DBO, DQO, NTK, SST, Grasas y Aceites. Los metales pesados y fenoles se analizaron en función de los insumos utilizados en el proceso productivo. Todos estos parámetros fueron comparados con los límites establecidos para la descarga al sistema de alcantarillado público.

Los estudios se realizaron en el laboratorio de análisis de la calidad de agua de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, que da servicio al público externo. El equipo técnico responsable de este laboratorio realiza la calibración de los equipos y se rige a los siguientes procedimientos: Potencial de Hidrógeno MNE 2320-B, Temperatura MNE 2550-B, Nitrógeno Total MNE 4500-B, Sulfatos MNE 5310-D, Fósforo Total MNE 3500-D, Cromo hexavalente MNE 3500-D, Cobre MNE 3500-E, Demanda Bioquímica de Oxígeno MNE 5210-A, Demanda Química de Oxígeno MNE 5220-D, Grasas y aceites MNE 5520-B.

### **3.5 Cultivo de Daphnia magna**

Se seleccionó el bioindicador *Daphnia magna*, debido a su ciclo de vida corto, alta sensibilidad a varios contaminantes, facilidad de cultivar, mantener y observar en condiciones de laboratorio.

El diseño experimental del presente estudio, siguió la guía planteada por Díaz et al. (2004) y se basó en las normas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE (2004) y OCDE (2012), que establece el protocolo estandarizado de bioensayo para el desarrollo de las pruebas de toxicidad aguda y crónica con *Daphnia magna*. Agudelo et al., (2018) señala que estos procedimientos son usados para determinar la toxicidad de aguas residuales industriales contaminadas con colorantes y pigmentos.

Los organismos se mantuvieron en agua reconstituida con una dureza entre 160 y 180 mg CaCO<sub>3</sub>/l, y en recipientes con una densidad poblacional de alrededor de 12 individuos por litro. Los cultivos se mantuvieron de acuerdo a las condiciones de tabla 19, se usó *Espirulina* como fuente de alimento cada 48 horas.



Tabla 19. Condiciones recomendadas para el mantenimiento de cultivos de *Daphnia magna*

Temperatura	21 ± 2 °C
Calidad de luz Fluorescente	Blanco-frío
Intensidad luminosa	800 luxes (luz blanca fría) en la superficie del líquido
Fotoperíodo	16 horas luz y 8 horas oscuridad
Recipientes mantenimiento	de Recipientes de 2 litros de vidrio transparentes
Alimentación	Cultivos puros de <i>Selenastrum capricornutum</i> u otras algas verdes unicelulares como por ejemplo <i>Espirulina</i> .
Densidad poblacional	No mayor de 12 individuos/l
Limpieza	Diariamente se retiran las mudas y los restos formados en el fondo de los recipientes. Semanalmente se cambió el agua de los acuarios, se lavó con una esponja y enjuagar con agua desionizada. No se empleó jabón ni otros detergentes.
Recolección de neonatos	Diariamente con una pipeta Pasteur de plástico con una abertura lo suficientemente ancha para no ocasionar daños a los neonatos.

Fuente: Díaz et al. (2004)

### 3.6 Pruebas de toxicidad

#### 3.6.1 Pruebas de toxicidad Aguda

En la siguiente ilustración 8, se observa el flujograma de las actividades realizadas para el desarrollo de la presente prueba con el bioindicador *Daphnia magna*.

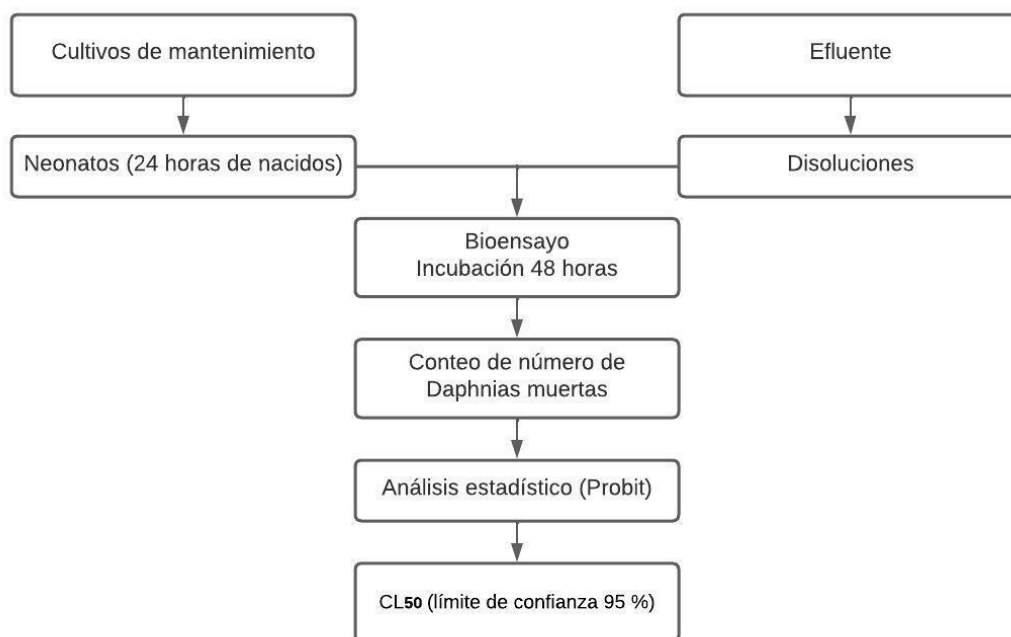


Ilustración 8. Flujograma de actividades vinculadas al desarrollo del ensayo de toxicidad aguda

Fuente: Autores

Esta prueba se realizó de acuerdo a la directriz 202 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2004), que es una guía para la ejecución de la prueba de toxicidad aguda para evaluar los efectos de los productos químicos en *Daphnia magna*.

Principio de la prueba: Los dáfidos jóvenes, de menos de 24 horas al comienzo de la prueba, se exponen a la sustancia de prueba en un rango de concentraciones por un período de 48 horas. La inmovilización se registró a las 48 horas y se compara con los valores de control. Los resultados se analizan para calcular la  $CL_{50}$  a las 48 horas (OCDE, 2004).

Los neonatos se exponen a intervalos de concentración, y a una como la serie control (positivo y negativo) estas soluciones se realizaron de acuerdo a lo definido por Díaz et al. (2004). Para las diferentes concentraciones de la muestra del efluente del proceso serigráfico, se realizaron 5 diluciones en intervalos de concentración de: 100, 50, 25, 12.5 y 6.25 %. Además, se prepararon dos disoluciones control: un control negativo con agua destilada y un control positivo en donde se usó como tóxico de referencia el dicromato de potasio en solución de 0.21 mg/ml. De esta manera el número total de disoluciones fue de 7, cada una de ellas de 100 ml. Posteriormente, se tomó una alícuota de 30 ml y se colocó en vasos en donde se transfirieron diez neonatos a cada uno de los recipientes, y se cubrieron con papel film (ilustración 9).

Una vez terminado el período de tiempo establecido, se revisaron las muestras y se contabilizaron los organismos muertos es decir aquellos que carecían de movimiento, además se realizaron 4 réplicas.

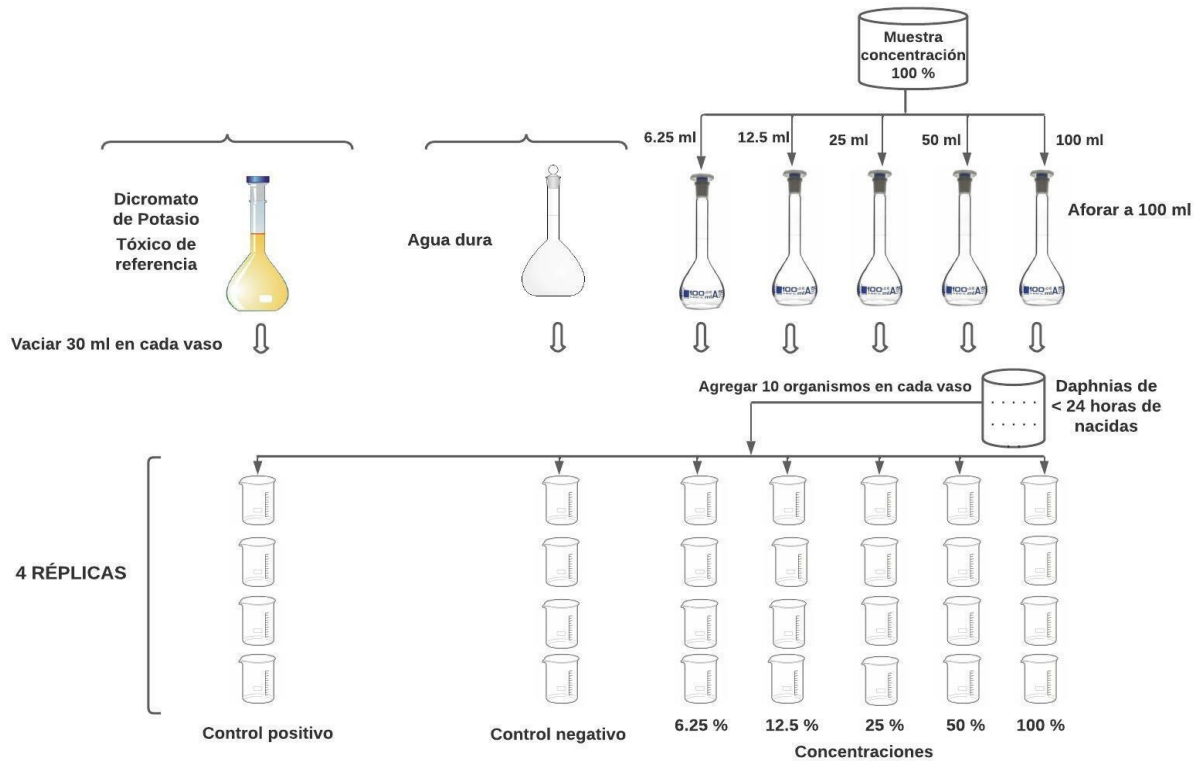


Ilustración 9. Procedimiento para disoluciones en el ensayo de toxicidad aguda

Fuente: Díaz et al. (2004)

En la tabla 20 se detallan los lineamientos seguidos para el desarrollo de la prueba de toxicidad aguda según la OCDE (2004).

Tabla 20. Lineamientos prueba de toxicidad aguda

Criterios de validez de la prueba	No más del 10 % de los dáfidos de control deben mostrar inmovilización u otros signos de enfermedad o estrés.
Recipientes de prueba	Deben ser enteramente de vidrio u otro material químicamente inerte, pueden ser tubos de ensayo o vasos de precipitación.
Organismos de prueba	Especies de Daphnia, al comienzo de la prueba, los animales deben tener menos de 24 horas de edad derivado de un stock saludable y que no sean progenie de primera cría.
Agua de retención y dilución	El agua natural (superficial o subterránea), el agua reconstituida o el agua del grifo sin cloro, o cualquier agua que cumpla con lo siguiente: Materia particular <20 mg/l Carbono orgánico total < 2 mg/l Amoníaco sindicalizado (NH <sub>3</sub> ) < 1g/l Cloro residual <10 g/l Plaguicidas organofosforados totales < 50 ng/l Plaguicidas organoclorados totales más bifenilos policlorados < 50 ng/l Cloro orgánico total < 25 ng/l
Soluciones de prueba	Las soluciones de prueba de las concentraciones elegidas generalmente se preparan por dilución de una solución madre
Alimentación	Sin alimentación durante la prueba
Número de concentraciones de prueba	Al menos 5 concentraciones de prueba, más la serie control.
Efecto medido	Inmovilización (mortalidad)
Temperatura	18 – 22 °C
Duración	48 horas
Aireación	Sin aireación
Fotoperiodo	16 horas luz y 8 horas oscuridad

Fuente: OCDE (2004)

### 3.6.2 Prueba de toxicidad Crónica

Esta prueba se realizó según el protocolo estandarizado establecido en la directriz 211 de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).

En la ilustración 10, se observa las actividades realizadas para el desarrollo de la prueba de toxicidad crónica con Daphnia magna, este procedimiento se repitió por 4 ocasiones.

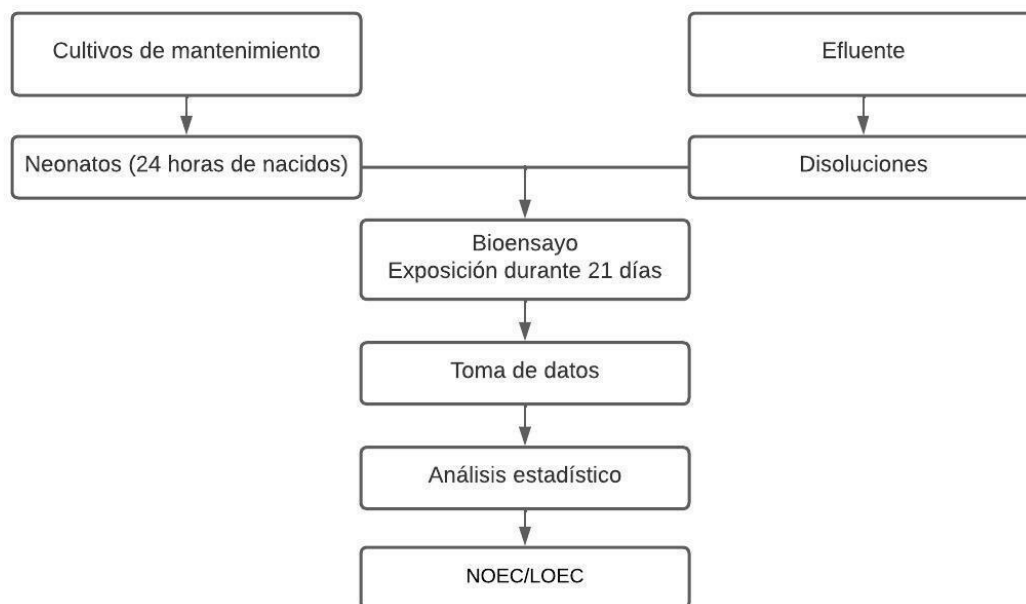


Ilustración 10. Flujograma de actividades vinculadas al desarrollo del ensayo de toxicidad crónica

Fuente: OCDE (2012)

Principio de la prueba: El objetivo principal de la prueba es evaluar el efecto de los productos químicos en el rendimiento reproductivo de *Daphnia magna*. Con esta finalidad, los dáfidos con menos de 24 horas de edad al comienzo del ensayo, fueron expuestos a la sustancia de ensayo añadida al agua en una gama de concentraciones. La duración de la prueba fue de 21 días. Al final de la prueba, se evaluó el número total de descendientes vivos producidos. El efecto tóxico de la sustancia de prueba sobre el rendimiento reproductivo puede expresarse como el valor de concentración a la cual no se observan efectos (NOEC) y la mínima concentración a la cual se observa un efecto (LOEC) obtenidos mediante análisis estadísticos (OCDE, 2012).

Se observa en la ilustración 11, el procedimiento realizado para el bioensayo crónico, este se llevó a cabo en un periodo de 21 días, se evaluó el número total de descendientes vivos producidos. Se expusieron a neonatos de menos de 24 horas (1 por recipiente) a distintos intervalos de concentración mediante disoluciones del efluente serigráfico, así como su respectiva muestra control. Posteriormente se colocó individualmente a los organismos en vasos de 100 ml. Se hizo recambio del medio y se abasteció de alimentación (Espirulina) cada 48 horas. Finalmente se registraron todos los cambios observados diariamente. Se utilizaron los mismos intervalos de disolución de la prueba de toxicidad aguda, se realizaron 4 réplicas del ensayo.

La respuesta evaluada al final del bioensayo fue la reproducción mediante la concentración a la cual no se observan efectos (NOEC) y la mínima concentración a la cual se observa un efecto (LOEC).

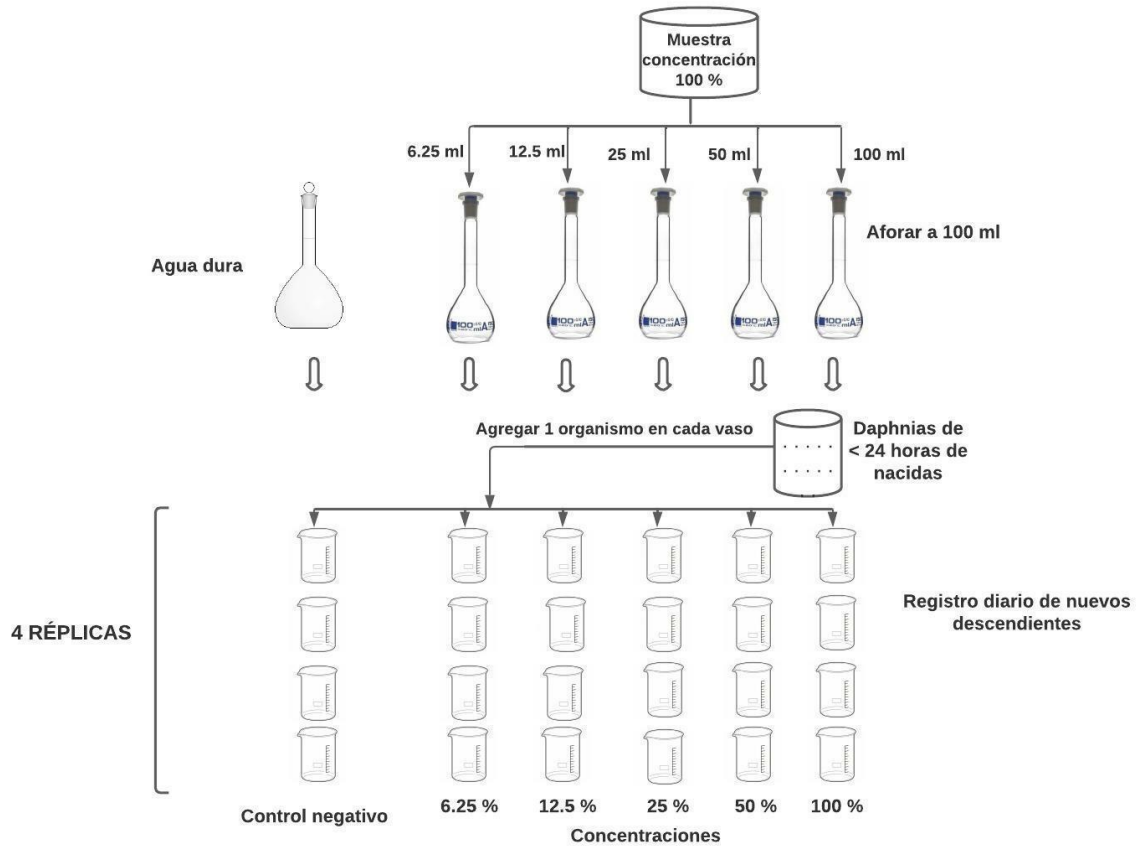


Ilustración 11. Procedimiento para disoluciones en el ensayo de toxicidad crónica

Fuente: Autores

En la tabla 21 se detallan las pautas seguidas para el desarrollo de la prueba de toxicidad crónica establecidos en la guía 211 de la OCDE.

Tabla 21. Lineamientos prueba de toxicidad crónica para *Daphnia magna*

Criterios de validez de la prueba	La mortalidad de los animales progenitores no supere el 20 % al final del ensayo. El número medio de crías vivas producidas por animal parental sobreviviente al final de la prueba es $\geq 60$ .
Recipientes de prueba	Deben ser enteramente de vidrio u otro material químicamente inerte, pueden ser tubos de ensayo o vasos de precipitación.
Organismos de prueba	Especies de <i>Daphnia</i> , al comienzo de la prueba, los animales deben tener menos de 24 horas de edad derivado de un stock saludable y que no sean progenie de primera cría.
Soluciones de prueba	Las soluciones de prueba de las concentraciones elegidas generalmente se preparan por dilución de una solución madre.
Alimentación	Cada 48 horas, la dieta consistió de <i>Espirulina</i> que es un alga unicelular y la ración de 0,1 - 0,2 mg <i>Daphnia magna</i> /día.
Número de concentraciones de prueba	Al menos 5 concentraciones de prueba, más la serie control. Resultados de una prueba de toxicidad aguda realizada con <i>Daphnia magna</i> según la directriz 202 de OCDE, puede ser útil para seleccionar un rango apropiado de concentraciones en las pruebas de reproducción.
Efecto medido	Reproducción
Temperatura	18 - 22 °C
Duración	21 días
Aireación	Los recipientes de prueba no deben airearse
Fotoperiodo	16 horas luz

Fuente: OCDE (2012)

### 3.7 Análisis estadístico

Se empleó el software IBM - SPSS STATISTICS 25, para el análisis de las pruebas de toxicidad agudas y crónicas se utilizó la prueba de Kruskal Wallis y para el análisis Post Hoc el test de Bonferroni para evaluar las diferencias estadísticas de las medias entre las concentraciones y el control, además para la prueba aguda se usó el análisis Probit, en donde se estimó la concentración que produce la muerte al 50% de la población de neonatos ( $CL_{50}$ ).

Las diferencias estadísticas se determinaron a  $p$  (valor de significancia)  $< 0.05$  y los datos se presentaron como promedio  $\pm$  desviaciones estándar.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Proceso Productivo

En la ilustración 12, se observa el diagrama de procesos de la empresa en análisis, con las respectivas entradas por cada operación unitaria. Donde se hace énfasis en el análisis individual de los subprocesos de Pintado y Tinturado. Todos los insumos y cantidades detallados, forman parte de los datos oficiales de las recetas de preparación para un lote estándar de 3000 unidades serigráficas finalizadas.

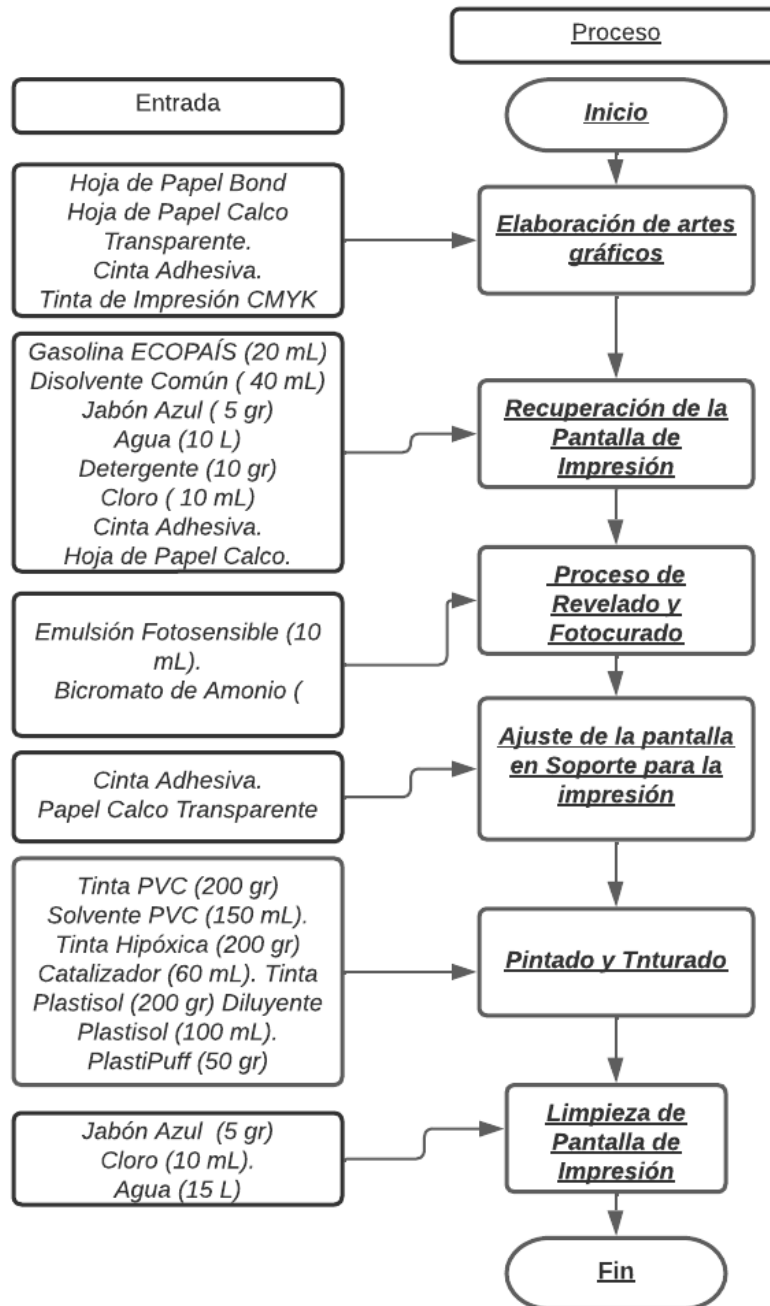


Ilustración 12. Diagrama de Procesos con Entradas (Volumen y Masa)

Fuente: Autores



## 4.2 Valoración Cualitativa de los subprocesos de pintado y tinturado

En la Tabla 22, se muestran los resultados de la Matriz de Importancia del Impacto Ambiental. Basada en dos procesos principales, el recuperado y preparación de la pantalla de impresión y el Pintado y/o Tinturado y sus respectivos insumos, evaluados según los parámetros señalados en la ecuación para el cálculo de la importancia.

Tabla 22. Matriz de Importancia del Impacto Ambiental

Proceso	Subproceso	Insumo	Signo	Extensión (EX)	Persistencia (PE)	Sinergia (SI)	Efecto (EF)	Recuperabilidad (MC)	Intensidad (I)	Momento (MO)	Reversibilidad (RV)	Acumulación (AC)	Periodicidad (PR)	Importancia	Criterio	
<b>Recuperado y Preparación de la Pantalla de Impresión</b>	Recuperación de la Pantalla de Impresión	Gasolina Ecopaís	-	1	2	2	4	4	12	4	2	1	2	59	<b>Severo</b>	
		Disolvente Común	-	2	2	2	4	2	12	4	2	1	2	59	<b>Severo</b>	
		Jabón Azul	-	2	1	4	1	1	1	1	2	1	4	1	22	<b>Bajo</b>
		Detergente Común	-	2	2	2	1	1	1	1	2	1	4	1	21	<b>Bajo</b>
		Cloro	-	4	2	4	4	2	1	1	2	2	4	2	33	<b>Moderado</b>
	Revelado y Fotocurado	Emulsión Fotosensible	-	1	2	2	1	2	12	2	2	2	1	2	52	<b>Severo</b>
		Bicromato de Amonio	-	1	2	2	4	8	12	8	2	2	1	2	67	<b>Severo</b>
<b>Pintado y Tinturado</b>	Tinturado sobre Cuero Sintético	Tinta PVC	-	4	4	4	4	4	12	4	2	4	4	74	<b>Severo</b>	
		Solvente PVC	-	4	2	4	4	2	12	4	2	1	4	67	<b>Severo</b>	
	Tinturado sobre Fibra Sintética	Tinta Hipóxica	-	4	4	4	4	4	12	4	2	4	4	74	<b>Severo</b>	
		Catalizador	-	4	2	4	4	2	12	4	2	1	4	67	<b>Severo</b>	
	Tinturado Sobre Textiles	Tinta Plastisol	-	4	4	4	4	4	12	4	2	4	4	74	<b>Severo</b>	
		Diluyente Plastisol	-	4	2	4	4	2	12	4	2	1	4	67	<b>Severo</b>	
		PlastiPuff	-	4	2	4	4	2	12	4	2	1	4	67	<b>Severo</b>	

Fuente: Autores

A diferencia de la matriz de Conesa-Fernández (2009) que evalúa el compartimento afectado, siendo aire, suelo, agua, fauna y flora,

individualmente. En esta matriz se valoran los insumos utilizados en cada operación unitaria, con el objetivo de determinar la importancia de los mismos.

Como se mencionó anteriormente la subjetividad afecta la valoración según el observador, por lo que podría existir diferencia en las puntuaciones asignadas. Es importante subrayar que todos los insumos provocan una afectación (Signo -), por lo que la suma de los mismos en el cálculo de la ecuación dependerá netamente de su naturaleza y su posterior efecto con la naturaleza y los seres vivos.

El jabón azul y el detergente común, al ser un insumo cotidiano que son tratados en las plantas de tratamientos de agua sin problema en volúmenes pequeños, reciben un criterio Bajo. El cloro para desinfección recibe un criterio final de moderado. Finalmente, el resto de insumos entran en la escala de Severo, donde las tintas Hipóxica, Plastisol y PVC tienen la mayor importancia sobre el resto de insumos (74), siendo sujetos de análisis. Ponce (2011), señala que la matriz sintética de impacto ambiental es una manera sencilla de jerarquizar y resumir los impactos ambientales, existe un pequeño rango para la subjetividad, lo que puede afectar en la importancia según el evaluador.

## 4.2 Valoración Cuantitativa de los subprocesos de pintado y tinturado

En la Tabla 23, se muestran los resultados de la Matriz de Valoración Cuantitativa. Se analizan los insumos utilizados en las operaciones unitarias, según su naturaleza y cantidad (Masa o Volumen).

Tabla 23. Matriz de Valoración Cuantitativa

	Matriz de Valoración Cuantitativa
--	-----------------------------------

Subproceso	Insumo	Volumen	Masa	Criterio Cuantitativo	Criterio Cualitativo	Criterio Final	Valoración según Subproceso
		(ml)	(gr)				
Recuperación de la Pantalla de Impresión	Gasolina Ecopaís	20	-	Severo	Bajo	Moderado	<b>Moderado</b>
	Disolvente Común	40	-	Severo	Moderado	Moderado	
	Jabón Azul	-	5	Bajo	Bajo	Bajo	
	Detergente Común	-	10	Bajo	Bajo	Bajo	
	Cloro	10	-	Moderado	Bajo	Bajo	
Revelado y Fotocurado	Emulsión Fotosensible	10	-	Severo	Moderado	Moderado	
	Bicromato de Amonio	1	-	Severo	Bajo	Moderado	
Tinturado sobre Cuero Sintético	Tinta PVC	-	200	Severo	Severo	Severo	<b>Crítico</b>
Tinturado sobre Fibra Sintética	Solvente PVC	150		Severo	Severo	Severo	<b>Severo</b>
	Tinta Epóxica	-	200	Severo	Severo	Severo	
	Catalizador	60		Severo	Bajo	Moderado	
Tinturado Sobre Textiles	Tinta Plastisol	-	200	Severo	Severo	Severo	<b>Severo</b>
	Diluyente Plastisol	100	-	Severo	Moderado	Moderado	
	PlastiPuff	-	50	Severo	Bajo	Moderado	

Fuente: Autores

Ante la falta de métodos validados para evaluar insumos y materias primas de procesos productivos. Se plantea la comparación entre los criterios cualitativos y cuantitativos. Por medio de una valoración ponderada entre ambos criterios, para obtener el criterio final de cada insumo. Posteriormente promediar entre los insumos de cada subproceso. Con ello llegar a la valoración por cada subproceso, respecto a la escala definida en la Matriz de Impacto Ambiental, y así determinar el subproceso más relevante para el estudio.

En la tabla 23, se determinaron los criterios de carácter cuantitativo en función de su naturaleza y el impacto que causa en el medio ambiente, considerando las recetas y cantidades de los insumos detallados. Estos valores pertenecen a recetas elaboradas en base a lote estándar de producción de 3000 unidades, independiente de la superficie sobre la cual se imprima. Se estableció una escala de carácter cualitativo por cada uno de los insumos. por medio de una valoración individual y un promedio por cada subproceso. De esta manera se determinó que el subproceso más agresivo, en relación de los criterios mencionados, fue el subproceso de tinturado sobre Cuero Sintético, que obtuvo una valoración final, de Crítico. Es importante añadir que los dos subprocesos restantes también reciben valoraciones en una escala Severo, que llaman la atención para posteriores estudios, para determinar el efecto de los mismos. Al contar con similares preparaciones y recetas, la naturaleza de los insumos, definió la valoración final, para la asignación del proceso más relevante.

En base a los lotes de producciones estándar y sus respectivas recetas de preparación, se identificaron los volúmenes y masas de cada insumo requeridos para los subprocesos de tinturado, donde los tres subprocesos de tinturado requieren volúmenes similares de tinta y aditivos necesarios. Por lo que se otorgó una valoración de Severo todos los insumos, ya que dependerá de la naturaleza del insumo, en el estado del arte se determinó la toxicidad de los mismos, estableciendo una escala que va desde bajo, moderado severo y crítico. Además, el subproceso mencionado en base al tinturado sobre cuero sintético, es la superficie más común de impresión, es decir, es el subproceso que más se reproduce en la empresa, por lo que además de la valoración tanto cualitativa y cuantitativa, es necesario analizarlo a profundidad.

La empresa en análisis cuenta con producciones estandarizadas de 3000, 5000 y 10000 unidades de producto de serigrafía finalizado. Siendo el primer lote mencionado el más común. Los insumos utilizados previo al proceso de tinturado, son descargados en el mismo reactor, que finalmente son descargados a la red pública de alcantarillado sin tratamiento previo. El análisis se enfocó directamente en el proceso de pintado y tinturado, y los tres subprocesos, tinturado en cuero sintético, fibra sintética o textiles, debido a que, en esta etapa, se da la generación de efluentes a base de insumos que resultan nocivos en la salud de los seres humanos y producen efectos negativos en el medio ambiente. Los mismos que son descargados a la red pública de alcantarillado, por lo que produce el interés de ser sujeto de análisis.

Pernía et al. (2018) y Nava & Méndez (2011) indican que la naturaleza de los insumos juega un rol fundamental, donde los tintes y aditivos, se constituyen particularmente por resinas constituidas a partir de formaldehído, sustancias plastificantes constituidas

por ftalatos que ocasionan lesiones renales y disfunción del sistema hormonal y cáncer, sustancias pigmentos a partir de metales pesados que generalmente producen bioacumulación en el organismo, sustancias estabilizantes como el cadmio y el plomo que son de alta toxicidad, sustancias solventes como el bencol que produce efectos en los glóbulos rojos y sustancias emulsionantes donde resaltan los alquifenoles etoxilados.

Según Lazo (2011), la estructura órgano clorada del PVC, le da la cualidad de ser considerado un veneno ambiental, presente en los tintes del subproceso de tinturado de cuero sintético considerado el más agresivo en la presente investigación, debido a que al ser incinerado emite dioxinas al medio, resultando de alta toxicidad ambiental y el efecto que produce en seres humanos, generando bioacumulación en el organismo, generando afectaciones en el sistema endocrino al ser considerados disruptores, son causantes enfermedades graves como el cáncer y malformaciones fetales. El PVC es considerado dañino durante todo su ciclo de vida desde su creación, su aprovechamiento y su disposición final y/o reutilización.

#### **4.3 Caracterización del efluente**

En la Tabla 24, se observa los resultados del análisis del agua residual de la industria serigráfica comparados con la legislación ecuatoriana establecida en el Anexo 1 del libro VI del Texto unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, se evidencia que todos los parámetros no sobrepasan los límites estipulados. Además, se analizó un parámetro adicional denominado dureza que no es considerado en esta norma, sin embargo, se lo toma en cuenta ya que *Daphnia magna* requiere un intervalo de 160 y 180 mg CaCO<sub>3</sub> /l para su supervivencia (Díaz et al., 2004), como resultado se obtuvo un valor de 265 ± 66.1 mg CaCO<sub>3</sub> /l, por lo que se supera la cantidad indicada y podría señalar una alteración para el bioindicador de estudio en la realización de las pruebas de toxicidad aguda y crónica.

Tabla 24. Resultados caracterización del efluente

Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor hallado	Límite máximo permisible TULSMA	Resultado
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades	7.36 ± 0.12	6-9	Cumple
Temperatura		°C	17.67 ± 1.2	< 45	Cumple
Nitrógeno Total	N	mg/l	7.8 ± 2.6	60	Cumple
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	9.33 ± 1.5	400	Cumple
Fósforo Total	P	mg/l	2.21 ± 0.6	15	Cumple
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0.49 ± 0.1	0.5	Cumple
Cobre	Cu	mg/l	0.20 ± 0.06	1	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub>	mg/l	47.8 ± 9.6	250	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	238.57 ± 47.4	500	Cumple
Grasas y aceites	Sust. solubles en hexano	mg/l	0.08 ± 0.04	50	Cumple

Fuente: Autores

Methneni et al. (2021) en su estudio recolectaron muestras de aguas residuales con presencia de colorantes provenientes del teñido de textiles en empresas ubicadas en Monastir-Túnez (África), se sometieron a análisis químicos para determinar sus características fisicoquímicas, en donde se obtuvo valores de pH dentro de un rango alcalino (7.13–8.08) similar a esta investigación; por otra parte se encontró concentraciones de DQO (388-511 mg/l), DBO (167-257 mg/l) y Cromo (0.06-0.068 mg/l) que superan los estándares de descarga de Túnez, este resultado difiere de los resultados de la presente investigación en donde si se cumple con la legislación vigente en el TULSMA.

Resultados similares han sido encontrados por Romero et al. (2016), en donde se evaluó las características físico químicas de las aguas residuales con colorantes derivados de los procesos de teñido de una industria textil cubana, cuyos parámetros presentan valores como: pH de 9.5, temperatura 35.5 °C, DBO<sub>5</sub> 300 mg/l y DQO 522 mg/l, mismos que son inferiores a los valores permitidos por la normativa aplicable a la ciudad NC 27:1999 para su vertimiento al alcantarillado.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados en el proceso de impresión de una industria gráfica en Costa Rica por Villalobos et al. (2021) presentaron valores: pH de 7.2 ±

0.04, grasas y aceites < 5 mg/l, DQO  $136.3 \pm 6.0$  mg/l, DBO<sub>5</sub>  $53.7 \pm 4.0$  mg/l y temperatura  $25.5 \pm 0.3$  °C que se encuentran dentro de los límites establecidas en el decreto N.º 33601-MINAE-S al igual que lo encontrado en la presente investigación.

Gómez & Saldaña (2016) al igual que Croce et al. (2017) señalan que existe un número limitado de estudios acerca de la toxicidad de las sustancias utilizadas en los procesos de teñido de textiles como son los colorantes, ya que estos representan una fuente potencial de preocupación ambiental, en particular para los ecosistemas acuáticos de agua dulce.

Monsalve & Cardona (2014) indican que en los procesos de impresión se generan residuos de las tintas que contienen productos químicos tales como cromo, razón por la cual se puede atribuir el valor elevado de este parámetro de los resultados en el tercer análisis del presente estudio (Anexo 1), en donde alcanza un valor de 0.625 mg/l que sobrepasa los límites máximos permisibles (0.5 mg/l) establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Zhou et al. (2021) evalúan los efectos del Cromo hexavalente sobre la especie *Daphnia*, demostrando que este metal pesado representa una amenaza para la población del bioindicador afectando especialmente en la reproducción, debido a características como la capacidad de transferirse a grandes distancias y acumularse durante años en ambientes acuáticos.

Sykora et al. (2020) evaluaron la calidad del agua en la cuenca del arroyo Cañuelas (Buenos Aires, Argentina) a partir de determinaciones fisicoquímicas cuyos resultados fueron: el pH se mantuvo dentro del intervalo alcalino (7.97 - 8.66), DBO<sub>5</sub> (14.0 mg/l) y DQO (60.7 mg/l) cumpliendo con los niveles guía de la ACUMAR para Protección de Biota, resultado similar al del presente estudio ya que también cumple con la normativa correspondiente TULSMA. Además, estos autores proponen a los bioensayos como herramienta útil complementaria para evaluar el impacto de la contaminación en los cuerpos de agua, concordando con este planteamiento se considera relevante para esta investigación, una valoración total del efluente es decir a partir de las características físico químicas y eco toxicológicas para determinar sus efectos y posible contaminación ya que en el Anexo 1 del TULSMA se establecen más parámetros como por ejemplo tensoactivos y metales (Plata, Mercurio, Plomo, Cadmio entre otros) para valorar el agua residual de los evaluados en este estudio.

#### **4.4 Prueba de Toxicidad Aguda**

En la tabla 25, se detallan los valores del conteo final de *Daphnia magna* luego de la exposición durante 48 horas al efluente de mayor relevancia ambiental.

Se observa que a medida que las concentraciones del efluente son mayores, el número de daphnidos disminuye, de esta manera se podría asumir que el agua residual contiene elementos dañinos que afectan la supervivencia de los organismos. En promedio de las cuatro réplicas realizadas, los porcentajes de mortalidad son los siguientes: un 25 % de organismos muere con una concentración del efluente al 100 %, un 17.5 % muere con una concentración del efluente al 50 %, un 15 % muere con



una concentración del efluente al 25 %, y finalmente un 12.5 % de individuos muere con las concentraciones del efluente al 12.5 % y 6.25 %.

Los porcentajes de mortalidad de los individuos, no son elevados esto debido probablemente a la naturaleza de la empresa de tipo pequeña en donde la elaboración de productos no se realiza a mayor escala y por ende no genera una gran cantidad de elementos dañinos para la existencia de la especie.

El número de Daphnias muertas contabilizadas en cada réplica presentan valores similares, y los porcentajes de mortalidad siguen el mismo patrón.

La mortalidad en el control positivo en promedio de todas las réplicas se encontró que un 55 % de la población inicial del bioindicador muere al estar expuesta al Dicromato de potasio como tóxico de referencia, de esta manera se verifica la sensibilidad de *Daphnia magna*, coincidiendo con Kikuchi et al. (2017) que indica que las pruebas de toxicidad con este compuesto de referencia proporcionan un valioso índice de referencia de la salud relativa de los daphnidios a lo largo del tiempo.

La mortalidad en el control negativo en todas las réplicas de los ensayos, no superó el 10 % de los organismos, corroborando así lo establecido en la guía 202 de la OCDE, (2012) que considera este valor para la aceptabilidad de los resultados. En esta prueba el número de Daphnias muertas es casi nulo, de esta manera se verifica el adecuado estado de salud y vitalidad de la especie para la realización de este estudio.

Tabla 25. Resultados de la Prueba de Toxicidad Aguda

Concentración del efluente (% v/v)	Número de Daphnias muertas
100	2.5 ± 0.6
50	1.75 ± 0.5
25	1.5 ± 0.6
12.5	1.25 ± 0.5
6.25	1.25 ± 0.5
Prueba control positiva	5.5 ± 1
Prueba control negativa	0.25 ± 0.5

Fuente: Autores

En la tabla 26 se observa en resumen el análisis estadístico realizado mediante la prueba de Kruskal Wallis en el programa IBM - SPSS STATISTICS 25, cuyo resultado se evidencia en el anexo 7.5, se encontró un valor de significación igual a 0.002 siendo menor al nivel de confianza 0.05 lo que indica que existe una diferencia estadísticamente notoria en los grupos de estudio, es decir las medianas de los valores de Daphnias muertas son desiguales entre cada intervalo de concentración del efluente.

Tabla 26. Prueba Kruskal Wallis- Toxicidad aguda

Hipótesis nula	Valor de significancia	Decisión
La distribución de Daphnias magna muertas es la misma entre las categorías de concentraciones.	0.002	Rechazar la hipótesis nula

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

En la tabla 27 se observa en resumen el resultado de la prueba Post Hoc de Bonferroni, para realizar las comparaciones múltiples entre pares de concentraciones (anexo 7.5), se encontró diferencias significativas al presentarse valores de p menores al nivel de confianza 0.05 entre las muestras de Daphnias muertas en: control negativo-concentración 100% del efluente y control negativo-control positivo. En los demás análisis por parejas las distribuciones se muestran sin cambios.

Tabla 27. Prueba Bonferroni-Toxicidad aguda

Muestra 1 – Muestra 2	Valor de significación
Control negativo – Concentración 12.5 %	1
Control negativo – Concentración 6.25 %	1
Control negativo – Concentración 25 %	1
Control negativo – Concentración 50 %	0.66
Control negativo – Concentración 100 %	0.04
Control negativo – Control positivo	0.01
Concentración 12.5 % – Concentración 6.25 %	1
Concentración 12.5 % – Concentración 25 %	1
Concentración 12.5 % – Concentración 50 %	1
Concentración 12.5 % – Concentración 100 %	1
Concentración 12.5 % – Control positivo	0.10
Concentración 6.25 % – Concentración 25 %	1
Concentración 6.25 % – Concentración 50 %	1
Concentración 6.25 % – Concentración 100 %	1
Concentración 6.25 % – Control positivo	0.10
Concentración 25 % – Concentración 50 %	1
Concentración 25 % – Concentración 100 %	1
Concentración 25 % – Control positivo	0.36
Concentración 50 % – Concentración 100 %	1
Concentración 50 % – Control positivo	1
Concentración 100 % – Control positivo	1

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

Con el método dosis-respuesta denominado Probit, se obtuvieron las concentraciones letales medias  $CL_{50}$  con sus límites de confianza al 95 % de los resultados de cada réplica realizada como se puede observar en la tabla 28, en promedio se obtuvo un valor de 68.12 % v/v. Estos porcentajes indican la concentración del contaminante que produce la muerte de la mitad de la población de organismos de estudio, entre las 4 réplicas se presentan valores relativamente cercanos, sin embargo, es mayor en la cuarta, esto debido a una mayor adaptación de los individuos a un efluente

probablemente con presencia de características apropiadas para la supervivencia y con menor cantidad de elementos tóxicos.

Methneni et al. (2021), en su estudio evaluó la toxicidad de los efluentes con presencia de colorantes de tres industrias textiles tunecinas utilizando cuatro bioindicadores, incluido *D. magna*, quien mostró una concentración que produce inmovilización en el 50 % de la población de 44.8 a 59.4 %, este autor indica que a estos valores se produce un efecto tóxico, de esta manera el resultado hallado en esta investigación evidencia afecciones en *Daphnia magna*.

Tabla 28. Concentración letal media

Número de réplicas	Concentración letal media 48 h CL <sub>50</sub> (% v/v)
1	65.59
2	62.70
3	67.40
4	76.79

Fuente: Autores

Barrios et al. (2016), en su estudio realizó una prueba de toxicidad aguda, exponiendo a *Daphnia magna* durante 48 horas a un efluente con presencia de colorantes y pigmentos proveniente de una empresa industrial del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Colombia) encontrando una CL<sub>50</sub> de 28 %, estos autores señalan que mientras menor sea el porcentaje de la concentración letal media, mayor es la toxicidad que representa, es decir que con una cantidad pequeña de contaminante se logra un efecto letal para la mitad de la población. Bajo este criterio se puede decir que el efluente de mayor relevancia ambiental de la industria serigráfica al presentar valores de CL<sub>50</sub> superiores no representa un nivel alto de toxicidad.

La prueba de toxicidad aguda realizada en la India por Verma (2007) mediante la exposición de *Daphnia magna* a aguas residuales tratadas de ocho industrias productoras de colorantes demostró que valores de CL<sub>50</sub> entre 10-100 % indica un nivel bajo de toxicidad, dentro de este rango se encuentran los resultados de este estudio presentados en la Tabla 27, concluyendo que el efluente presenta baja toxicidad. Además, este autor sugirió que el ensayo con esta especie es un excelente método para la evaluación de la toxicidad acuática de tintes y colorantes que contienen los efluentes industriales.

López et al. (2016) evaluó la calidad del Arroyo Cañabe, en la República de Paraguay debido a descargas de origen agropecuario, urbano e industrial que contaminan sus aguas. Se colectaron muestras en los meses de Julio y septiembre del año 2014 y se analizaron sus características eco toxicológicas mediante ensayos de toxicidad aguda con *Daphnia magna* donde se determinó una CL<sub>50</sub> de 86,5 %, con intervalos de confianza al 95 %, se produjeron escasos efectos adversos detectables este resultado

indica que el agua presenta baja toxicidad, concordando con lo obtenido en el presente estudio.

Valores bajos de  $CL_{50}$  en alrededor del 5%, han sido encontrados en estudios realizados por Lach et al. (2022) y Alderete et al. (2021) en donde se evalúa la toxicidad aguda en *Daphnia magna* al ser expuesta a efluentes textiles con colorantes de tipo azo señalando alta toxicidad. Esto contrapone a la presente investigación en donde los valores de  $CL_{50}$  se exponen en la tabla 28 y se indicaría que representan una baja toxicidad.

En base a los resultados alcanzados mediante el desarrollo de esta prueba de toxicidad aguda y en la comparación con los estudios mencionados, se muestra que el efluente serigráfico produce un nivel bajo de ecotoxicidad en *Daphnia magna*.

#### 4.5 Prueba de Toxicidad Crónica

En la tabla 29, se muestran los resultados obtenidos de la exposición de *Daphnia magna* al efluente de mayor relevancia ambiental durante 21 días, en donde se evidencian afectaciones reproductivas a medida que el tiempo de exposición transcurre y a partir de concentraciones mayores al 50 %. Pudiendo atribuir este comportamiento al resultado encontrado en el apartado 4.3 es decir a los valores elevados de dureza.

Se aceptan los resultados debido al cumplimiento de los parámetros establecidos por la guía OCDE (2012), la supervivencia de la especie > 80% y la reproducción > 60 neonatos por hembra al final del test.

Se observa que la longevidad decrece a medida que aumenta la concentración, además después de 21 días de prueba, *Daphnia magna* produjo un número considerablemente menor de neonatos a mayor concentración del efluente.

Los valores de la máxima concentración de efluente que no causó efecto (NOEC) en *Daphnia magna* fue en 6.25 % v/v y la concentración menor a la cual se observó un efecto (LOEC) en los organismos de prueba se encontró en la concentración del 12.5 % v/v del efluente de la industria serigráfica.

Abe et al. (2019) en su estudio evalúa el comportamiento de *Daphnia magna* al estar expuesta a un efluente con colorantes usados a nivel de la industria textil durante 21 días, encontrando que la primera reproducción se presentó a 8-9 días de edad, siendo la reproducción el aspecto principal que se ve afectado en esta prueba de toxicidad crónica y por ende se genera una reducción en el número de neonatos. Similar a lo revelado en el presente bioensayo en donde los parámetros reproductivos disminuyeron al aumentar la concentración del tóxico evaluado y el inicio de la madurez sexual se retrasó.

Duarte et al. (2018) evaluó a *Daphnia magna* en soluciones de tintes textiles mediante prueba de toxicidad crónica encontrando que la toxicidad está relacionada principalmente con la disminución de la fecundidad. Concordando con lo señalado en

tabla 29 en donde también se observa que a mayores concentraciones la cantidad de neonatos es menor, la concentración 100 % obtuvo una disminución de la producción de neonatos con respecto al control de alrededor de un 27 %, un 14 % para la concentración de 50 %, un 11 % para la concentración de 25 %, un 5 % para la concentración de 12.5 % y finalmente para la concentración de 6.25 % se reduce en un aproximado de 1 %. De esta manera este resultado indica que el efluente si afecta la reproducción de *Daphnia magna*, para cada concentración se disminuye progresivamente el número de crías con respecto a la muestra control.

Tabla 29. Resultados de la Prueba de Toxicidad Crónica

Valor promedio	Concentración % v/v					
	100	50	25	12,5	6,25	Control negativo
Madurez sexual (días)	15.25 ± 0.5	13.5 ± 0.6	11,75 ± 0.5	11 ± 0	10.75 ± 0.5	10.25 ± 0.5
Número neonatos/21 días	71 ± 0.8	83 ± 2.6	87.25 ± 1.7	92 ± 1.2	95 ± 1.4	96.5 ± 1.9
Número neonatos/día	5 ± 0	5 ± 0	6 ± 0	6.5 ± 0.6	7.25 ± 0.5	7.75 ± 0.5
Longevidad (días)	15.5 ± 0.6	17.25 ± 0.9	18.75 ± 0.5	19.25 ± 0.5	20.25 ± 0.5	20 ± 0

Fuente: Autores

En la siguiente tabla también se observa que a mayores concentraciones se muestra menor cantidad de neonatos, la concentración 100 % obtuvo una disminución de la producción de neonatos con respecto al control de alrededor de un 27 %, un 14 % para la concentración de 50 %, un 11 % para la concentración de 25 %, un 5 % para la concentración de 12.5 % y finalmente para la concentración de 6.25 % se reduce en un aproximado de 1 %. De esta manera este resultado indica que el efluente si afecta la reproducción de *Daphnia magna*, para cada concentración se disminuye progresivamente el número de crías con respecto a la muestra control.

Villegas et al. (1999) utilizó el crustáceo *Daphnia magna* como organismo sensor para evaluar la toxicidad de las aguas residuales textiles en México, obteniendo como resultado que las cinco industrias textiles de análisis eliminan agua tóxica. En contraparte de lo encontrado en la industria serigráfica de este estudio debido a que ésta representa un nivel de escala industrial menor que la del autor y por ende genera descargas en menor magnitud.

Un estudio realizado en Chile por Brito (2013), evaluó el efecto potencial de los efluentes de celulosa en los organismos zooplanctónicos como *D. magna* en los ambientes dulceacuícolas, los resultados de toxicidad de tipo crónica evidenciaron alteraciones en todo el ciclo de vida, observados en parámetros como la reproducción,

similar a la tendencia encontrada en la presente investigación.

Croce et al. (2017) en su estudio investiga la toxicidad acuática de alrededor de 40 colorantes comerciales utilizados para teñido de textiles, impresión de papel entre otros. Se realizaron ensayos ecotoxicológicos agudos y de largo plazo con daphnidos para evaluar el impacto potencial de estos productos, en donde se pudieron identificar estructuras con ecotoxicidad potencial, de esta manera concuerda con los resultados de estas pruebas.

En la tabla 30 se muestra en resumen el análisis estadístico de la variable madurez sexual de *D. magna*, cuyo resultado en el programa empleado se evidencia en el anexo 7.6, mediante la prueba Kruskal Wallis se puso de manifiesto que la distribución de los datos entre cada intervalo de concentración del efluente no es la misma, se presentó un valor p de 0.001 menor al nivel de significancia de 0.05. Mediante la comparación múltiple con la prueba Bonferroni (tabla 31) se determinó diferencias significativas entre los pares de concentraciones: control negativo-concentración 100% del efluente, control negativo-concentración 50% del efluente y concentración 6.25 % del efluente-concentración 100% del efluente, determinando que en estos grupos los valores de significancia son menores a 0.05.

Tabla 30. Prueba Kruskal Wallis Variable Madurez sexual

Hipótesis nula	Valor de significancia	Decisión
La distribución de la variable madurez sexual es la misma entre las categorías de concentraciones.	0.001	Rechazar la hipótesis nula

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

Tabla 31. Prueba Bonferroni Variable Madurez sexual

Muestra 1 - Muestra 2	Valor de significación
Control negativo - Concentración 12.5 %	1
Control negativo - Concentración 6.25 %	1
Control negativo - Concentración 25 %	0.79
Control negativo - Concentración 50 %	0.04
Control negativo - Concentración 100 %	0.002
Concentración 12.5 % - Concentración 25 %	1
Concentración 12.5 % - Concentración 50 %	0.74
Concentración 12.5 % - Concentración 100 %	0.08
Concentración 6.25 % - Concentración 12.5 %	1

Concentración 6.25 % – Concentración 25 %	1
Concentración 6.25 % – Concentración 50 %	0.32
Concentración 6.25 % – Concentración 100 %	0.02
Concentración 25 % – Concentración 50 %	1
Concentración 25 % – Concentración 100 %	0.94
Concentración 50 % – Concentración 100 %	1

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

En la tabla 32 se presenta en resumen el análisis con la prueba de Kruskal Wallis de la variable número de neonatos por día de estudio (anexo 7.7), se encontró un valor de significación de 0.001 menor al nivel de confianza de 0.05 indicando que la distribución de este parámetro es desigual entre los intervalos de concentración del efluente. Mediante el análisis múltiple con el test Bonferroni (tabla 33), se determinó diferencias significativas es decir valores menores al nivel de significación de 0.05 entre los pares de muestras: concentración 100% del efluente-6.25 % del efluente, concentración 100% del efluente-control negativo, concentración 50% del efluente-6.25 % del efluente y concentración 50% del efluente-control negativo.

Tabla 32. Prueba Kruskal Wallis Variable Número Neonatos/día

Hipótesis nula	Valor de significancia	Decisión
La distribución del número de neonatos por día es la misma entre las categorías de concentraciones.	0.001	Rechazar la hipótesis nula

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

Tabla 33. Prueba Bonferroni Variable N° neonatos/día

Muestra 1 – Muestra 2	Valor de significación
Concentración 100 % – Concentración 50 %	1
Concentración 100 % – Concentración 25 %	1
Concentración 100 % – Concentración 12.5 %	0.56
Concentración 100 % – Concentración 6.25 %	0.04
Concentración 100 % – Control negativo	0.008



Concentración 50 % – Concentración 25 %	1
Concentración 50 % – Concentración 12.5 %	0.56
Concentración 50 % – Concentración 6.25 %	0.04
Concentración 50 % – Control negativo	0.008
Concentración 25 % – Concentración 12.5 %	1
Concentración 25 % – Concentración 6.25 %	1
Concentración 25 % – Control negativo	0.64
Concentración 12.5 % – Concentración 6.25 %	1
Concentración 12.5 % – Control negativo	1
Concentración 6.25 % – Control negativo	1

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

El análisis estadístico por medio de la prueba de Kruskal Wallis de la variable número de neonatos a los 21 días de muestreo en resumen se presenta en la tabla 34, y se evidencia en el anexo 7.8, este indicó un valor de significación menor al nivel de confianza de 0.05 que denota que la distribución de los datos es distinta entre cada concentración del agua residual. En la tabla 35 se observa los resultados de la prueba Bonferroni para comparar los pares de concentraciones en donde se determinó diferencias estadísticamente significativas es decir aquellas que obtuvieron valores menores a 0.05 en las siguientes muestras: concentración 100% del efluente-6.25 % del efluente, concentración 100% del efluente-control negativo y concentración 50% del efluente-control negativo.

Tabla 34. Prueba Kruskal Wallis Variable Número Neonatos/21 días

Hipótesis nula	Valor de significancia	Decisión
La distribución del número de neonatos a los 21 días, es la misma entre las categorías de concentraciones.	0.001	Rechazar la hipótesis nula

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

Tabla 35. Prueba Bonferroni Variable Número neonatos/21 días

Muestra 1 – Muestra 2	Valor de significación
Concentración 100 % – Concentración 50 %	1
Concentración 100 % – Concentración 25 %	1
Concentración 100 % – Concentración 12.5 %	0.24

Concentración 100 % – Concentración 6.25 %	0.01
Concentración 100 % – Control negativo	0.002
Concentración 50 % – Concentración 25 %	1
Concentración 50 % – Concentración 12.5 %	1
Concentración 50 % – Concentración 6.25 %	0.16
Concentración 50 % – Control negativo	0.04
Concentración 25 % – Concentración 12.5 %	1
Concentración 25 % – Concentración 6.25 %	0.95
Concentración 25 % – Control negativo	0.36
Concentración 12.5 % – Concentración 6.25 %	1
Concentración 12.5 % – Control negativo	1
Concentración 6.25 % – Control negativo	1

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

Los resultados en resumen del análisis estadístico a través de la prueba Kruskal Wallis de la variable longevidad de *Daphnia magna* (tabla 36) cuya evidencia se presenta en el anexo 7.9, demostró que existen diferencias notorias entre el parámetro y niveles de concentraciones del efluente es decir que la distribución no es uniforme. Mediante la comparación múltiple realizada en el análisis Post Hoc con la prueba Bonferroni (tabla 37) puso de manifiesto la existencia de diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el siguiente detalle: concentración 100% del efluente-control negativo y concentración 100% del efluente-6.25 % del efluente.

Tabla 36. Prueba Kruskal Wallis Variable Longevidad

Hipótesis nula	Valor de significancia	Decisión
La distribución de la variable longevidad, es la misma entre las categorías de concentraciones.	0.001	Rechazar la hipótesis nula

Fuente: IBM - SPSS STATISTICS 25

Tabla 37. Prueba Bonferroni Variable Longevidad

Muestra 1 – Muestra 2	Valor de significación
Concentración 100 % – Concentración 50 %	1
Concentración 100 % – Concentración 25 %	1
Concentración 100 % – Concentración 12.5 %	0.26

Concentración 100 % – Concentración 6.25 %	0.004
Concentración 100 % – Control negativo	0.008
Concentración 50 % – Concentración 25 %	1
Concentración 50 % – Concentración 12.5 %	1
Concentración 50 % – Concentración 6.25 %	0.05
Concentración 50 % – Control negativo	0.11
Concentración 25 % – Concentración 12.5 %	1
Concentración 25 % – Concentración 6.25 %	0.85
Concentración 25 % – Control negativo	1
Concentración 12.5 % – Concentración 6.25 %	1
Concentración 12.5 % – Control negativo	1
Control negativo – Concentración 6.25 %	1

Fuente: IBM – SPSS STATISTICS 25

Olkova (2022) en su investigación no observó ningún efecto tóxico crónico en *Daphnia magna* durante el período de exposición a efluentes contaminados, con el análisis estadístico señala que las diferencias en la mayoría de las variantes como mortalidad y disminución de fertilidad no fueron significativas. Por el contrario, en este bioensayo todas las variables evaluadas mostraron diferencias significativas.

Un estudio de prueba de toxicidad crónica con *Daphnia magna* realizado por Connors et al. (2021) indica que la ausencia de diferencias significativas en los valores de toxicidad sugiere una sensibilidad de especies similar en las pruebas control, este resultado contrapone a lo expuesto en la presente investigación en donde sí se encontraron diferencias notables es decir la distribución de las variables de análisis son distintas a las de la muestra control.

Con los resultados de la prueba de toxicidad crónica mencionados anteriormente, se demuestra una afectación a nivel reproductivo de *Daphnia magna* ya que las tasas de fertilidad de la especie fueron menores que en el control, es decir el efluente serigráfico si genera un efecto tóxico a largo plazo. Con este antecedente este estudio sirve a la comunidad científica como una orientación inicial de la toxicidad de estos efluentes en los ecosistemas acuáticos debido a la poca investigación en este tema, sin embargo, aún se requieren más estudios para aclarar los riesgos y el mecanismo de toxicidad para la salud de los animales acuáticos. En el futuro, el presente estudio permitirá una aplicación más eficiente de bioindicadores en medios acuáticos tomando en cuenta los distintos niveles tróficos.

Además, este estudio al partir de un interés de la industria analizada por conocer lo que produce sus descargas al sistema de alcantarillado público, se convierte en una

base de cultura empresarial enfocada en el cuidado del medio ambiente y de procesos productivos amigables con el mismo, de esta manera como aporte adicional se realizará la difusión de los resultados a nivel de gerencia, así como empleados dentro del campo de la educación ambiental.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

Para la industria serigráfica estudiada en la ciudad de Cuenca, se identificó el proceso productivo con mayor incidencia ambiental, siendo este el subproceso de tinturado sobre cuero sintético; en función de los insumos empleados, tintes y aditivos en base de PVC, y el volumen diario de descarga del efluente generado. La naturaleza de los insumos juega un papel trascendental a la hora de determinar la relevancia de los subprocesos de tinturado y pintado. En la valoración cualitativa, mediante la Matriz de Impacto Ambiental se analizó independientemente y conjuntamente (por subproceso) la relevancia ambiental de los mismos, otorgándole un criterio crítico, al subproceso mencionado y a los dos subprocesos restantes, severo.

Los parámetros fisicoquímicos como pH, Temperatura, Nitrógeno Total, Sulfatos, Fósforo Total, Cromo hexavalente, Cobre, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Grasas y aceites del efluente de la industria serigráfica en su mayoría cumplieron con la normativa ecuatoriana para descargas de aguas residuales al sistema de alcantarillado establecida en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), únicamente se encontró valores superiores en el Cromo hexavalente, pudiendo deberse a la naturaleza de la empresa en donde para los procesos productivos se aplican tintas.

Al ser una industria pequeña, con lotes de producción entre 3000 y 10000 unidades,  
Pablo Mateo Ortiz Galarza, Erick Mateo Saavedra Bernal

no se necesita de elevados volúmenes de insumos. Por lo que el efluente no presentó mayores efectos en la mortalidad del bioindicador *Daphnia magna* en la prueba de toxicidad aguda, se determinó una concentración letal media de 68.12 % v/v.

En cuanto a la prueba de toxicidad crónica, se encontró como máxima concentración de efluente que no causó efecto (NOEC) en el gradiente de concentración de 6.25 % v/v y la concentración menor a la cual se observó un efecto (LOEC) en los organismos de prueba se encontró en la concentración del 12.5 % v/v del efluente de la industria serigráfica. En este sentido el efluente serigráfico si produce una alteración a nivel reproductivo en *Daphnia magna*, en donde la disminución en el número de crías está relacionada con que esta especie tarda un mayor tiempo al llegar a la madurez sexual conforme aumentan las concentraciones del efluente y a su vez presenta un menor tiempo de vida.

Una brecha fundamental observada en la literatura, es la falta de información acerca de los efectos de la industria serigráfica en organismos acuáticos, de esta manera este estudio aporta con una nueva base de datos a la comunidad científica sobre Ecotoxicología acuática; debido a que los resultados realizados mediante ensayos toxicológicos servirán como un diagnóstico para futuras investigaciones sobre este tipo de efluentes industriales, especialmente aquellos que contienen colorantes y ayudará a establecer nuevos planteamientos en respuesta a sustancias químicas emergentes y factores estresantes.

La información obtenida además se divulgará a nivel de la industria de estudio por medio de charlas, para establecer lineamientos sobre utilización adecuada de materia prima e insumos contribuyendo de esta manera con educación ambiental, prácticas de producción más limpia y cumplimiento de la legislación ambiental ecuatoriana.

## **5.2 Recomendaciones**

La industria serigráfica se extiende a muchas ramas y campos de aplicación, no solo el área textil. Gran parte de ellas no son sujetas de estudio. Por lo que existe una brecha de información técnica científica sobre los procesos productivos existentes y el posterior efecto que ocasionan las descargas, emisiones y desechos de sus contaminantes en el medio ambiente y al ser humano.

En relación a la presente investigación, existen dos subprocesos como son el tinturado sobre fibra sintética y textiles que no fueron estudiados a profundidad, debido a que la selección del proceso con mayor relevancia se efectuó en función de la Matriz de Importancia, basándose en parámetros cuantitativos y cualitativos según la incidencia de la naturaleza del insumo utilizado, para evaluar el desarrollo de un bioindicador a estas condiciones específicas.

En posteriores investigaciones se podría profundizar en las pruebas de evaluación del efluente serigráfico, para medir el grado de afectación en el bioindicador, dado a que existe una baja afectación en *Daphnia magna*.

Con el fin de monitorear a *Daphnia magna* para analizar la calidad de un efluente, se

# UCUENCA

recomienda tomar en cuenta otros tipos de análisis como la tasa de crecimiento de la especie, así como evaluar su desarrollo en distintos medios de cultivo y alimentación por lo que se plantea el establecimiento de baterías de ensayos que combinan diferentes pruebas toxicológicas con distintos organismos de diversos grupos taxonómicos como por ejemplo peces, que pueden reaccionar de manera desigual a la exposición de un agente contaminante y permitir una determinación más ajustada de toxicidad teniendo en cuenta diferentes niveles tróficos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A. (2016). Manual de serigráfico. <http://www.eltallerdeserigrafia.com/manual-gratis-online/fotoemulsiones/176-fotoemulsiones-con-sensibilizador-al-cromo>
- Abe, F., Machado, A., Soares, A., Oliveira, D. & Pestana, T. (2019). Life history and behavior effects of synthetic and natural dyes on *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 236, 124390. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124390>
- Abdulwahab, S., & Rabee, A. M. (2015). Ecological factors affecting the distribution of the zooplankton community in the Tigris River at Baghdad region, Iraq. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(2), 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.03.003>
- Agathokleous, E., & Calabrese, E. (2020). Environmental toxicology and ecotoxicology: How clean is clean? Rethinking dose-response analysis. *Science of The Total Environment*, 746, 138769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138769>
- Agudelo, E., Gaviria, L., Barrios, L., & Cardona, A. (2018). Técnicas para determinar toxicidad en aguas residuales industriales contaminadas con colorantes y pigmentos. *DYNA*, 85(207), 316-327. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.71915>
- Alderete, B. L., da Silva, J., Godoi, R., da Silva, F., Taffarel, S., da Silva, L., Garcia, H., Júnior, M., de Amorim, H., & Picada, J. (2021). Evaluation of toxicity and mutagenicity of a synthetic effluent containing azo dye after Advanced Oxidation Process treatment. *Chemosphere*, 263, 128291. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128291>
- Al-Ghouti, M., Li, J., Salamh, Y., Al-Laqtah, N., Walker, G., Ahmad, M. (2010). Adsorption mechanisms of removing heavy metals and dyes from aqueous solution using date pits solid adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 176(1-3), 510-520.
- Alzate, D. (2021). Tratamiento alternativo a afluente de la PTAR con presencia del colorante tipo Turquesa Remazol de la empresa Tincol SAS.
- Blas, A. (2018). Toxicidad aguda del tamarón (metamidofos) y sherpa (cipermetrina) en zooplancton de *Chydorus globosus*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Barrios, L., Gaviria, L., Agudelo, E., & Cardona, A. (2016). Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el área metropolitana del valle de Aburra. *Revista EIA*, 13(26). <https://doi.org/10.24050/reia.v13i26.742>

- Belen J. (2020). Introduction to ecotoxicology. An Introduction to Interdisciplinary Toxicology, 381-393. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813602-7.00028-4>
- Bosch-Orea, C., Farré, M., & Barceló, D. (2017). Biosensors and Bioassays for Environmental Monitoring. En *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 77, pp. 337-383). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2017.06.004>
- Brito, P. (2013). Determinación de efectos subletales y crónicos en *Daphnia magna* expuesta a efluente de celulosa Kraft. Universidad de Concepción.
- Clark, A., Labaj, A., Smol, J., Campbell, L. , & Kurek, J. (2021). Arsenic and mercury contamination and complex aquatic bioindicator responses to historical gold mining and modern watershed stressors in urban Nova Scotia, Canada. *Science of The Total Environment*, 787, 147374. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147374>
- Comess, S., Donovan, G., Gatzolis, D., & Deziel, N. (2021). Exposure to atmospheric metals using moss bioindicators and neonatal health outcomes in Portland, Oregon. *Environmental Pollution*, 284, 117343. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117343>
- Conesa Fernandez, V., (2009). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Mundi-Prensa Libros.
- Connors, K., Brill, J., Norberg, T., Barron, M., Carr, G., & Belanger, S. (2021). *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia* Have Similar Sensitivity in Standard Acute and Chronic Toxicity Tests. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41. <https://doi.org/10.1002/etc.5249>
- Croce, R., Cinà, F., Lombardo, A., Crispeyn, G., Cappelli, C., Vian, M., Maiorana, S., Benfenati, E., & Baderna, D. (2017). Aquatic toxicity of several textile dye formulations: Acute and chronic assays with *Daphnia magna* and *Raphidocelis subcapitata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.046>
- Díaz M., Pica, Y., & Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna* (Vol. 1). <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap1.pdf>
- Duarte, J., Valério, A., de Souza, S, Erzinger, G., Furigo, A., & de Souza, A. (2018). Toxicity of enzymatically decolored textile dyes solution by horseradish peroxidase. *Journal of Hazardous Materials*, 360, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.102>
- Ekelund, A., & Häder, C. (2018). Environmental monitoring using bioassays. En *Bioassays* (pp. 419-437). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811861-0.00021-8>



- Escobar, M., & Pérez, P. (2016). Manual práctico de ensayos de toxicidad en medio acuático con organismos del género *Daphnia*. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=N1z5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=tipos+de+pruebas+de+toxicidad+para+daphnia&ots=jXqn8ZwUr\\_&sig=90urYedWuPRVvr5KUp-a3qanOd8&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=N1z5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=tipos+de+pruebas+de+toxicidad+para+daphnia&ots=jXqn8ZwUr_&sig=90urYedWuPRVvr5KUp-a3qanOd8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Fang, Z., Lin, Z., Zhang, P. (2018). Preparation and characterization of low temperature curing conductive silver paste for screen printing. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1995, No. 1, p. 020020). AIP Publishing LLC.
- Florez, A., & Franco O. (2021). Revisión sistemática de los árboles como bioindicadores de la contaminación atmosférica por metales pesados.
- Gao, Z., Yu, H., Li, M., Li, X., Lei, J., He, D., Wu, G., Fu, Y., Chen, Q., & Shi, H. (2022). A battery of baseline toxicity bioassays directed evaluation of plastic leachates—Towards the establishment of bioanalytical monitoring tools for plastics. *Science of The Total Environment*, 828, 154387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154387>
- Ghaly, E., Ananthashankar, R., Alhattab, M., & Ramakrishnan, V. (2014). Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J Chem Eng Process Technol*, 5(1), 1-19.
- Goksøyr, Ø., Sørensen, H., Grøsvik, E., Pampanin, M., Goksøyr, A., & Karlsen, A. (2021). Toxicity assessment of urban marine sediments from Western Norway using a battery of stress-activated receptors and cell-based bioassays from fish. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 87, 103704. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103704>
- Gómez, M., & Saldaña, K. (2016). Estado del arte sobre la exposición al cromo en trabajadores del sector de artes gráficas. Pontificia Universidad Javeriana.
- Häder, D., & Erzinger, G. (2018). 11—Daphniatox. En *Bioassays* (pp. 221-240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811861-0.00011-5>
- INEC. (2010). Censo 2010 Población y vivienda una historia para ver y sentir. [www.ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec)
- INEN. (2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf?x42051>
- Iñiguez, M. (2022). Optimización de Residuos Serigráficos en una Industria Azulejera (Doctoral dissertation).
- Jaén, J., Marín, T., & Ortiz, M. (2020). Repercusiones sobre las empresas de sus actuaciones socialmente responsables ante la pandemia generada por el COVID-19. . . ISSN, 11.

- Jodra, S., & Fullaondo, U. (2012). La serigrafía: alta y baja tecnología. *Creative processes and childhood-oriented cultural discourses*, 229.
- Jonkers, T. J. H., Steenhuis, M., Schalkwijk, L., Luirink, J., Bald, D., Houtman, C. J., Kool, J., Lamoree, M. H., & Hamers, T. (2020). Development of a high-throughput bioassay for screening of antibiotics in aquatic environmental samples. *Science of The Total Environment*, 729, 139028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139028>
- Kienle, C., Werner, I., Fischer, S., Lüthi, C., Schifferli, A., Besselink, H., Langer, M., McArdell, S., & Vermeirssen, E. (2022). Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant with ozonation and different post-treatments using a broad range of in vitro and in vivo bioassays. *Water Research*, 212, 118084. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118084>
- Kikuchi, M., Syudo, A., Hukumori, M., Naito, C., & Sawai, J. (2017). Changes in aquatic toxicity of potassium dichromate as a function of water quality parameters. *Chemosphere*, 170, 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.158>
- Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G., Saratale, R., Ferreira, L., Bilal, M., & Bharagava, R. N. (2021). Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105012.
- Kiss, G., Gángó, M., Horváth, E., Eck-Varanka, B., Labancz, K., & Kováts, N. (2021). Assessment of ecotoxicity of atmospheric humic-like substances using the *Vibrio fischeri* bioluminescence inhibition bioassay. *Atmospheric Environment*, 261, 118561. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118561>
- Koslowski, D., Licodiedoff, S., Simionatto, E., Scharf, D., Vaz, C., & Riella, G. (2020). Assessment of the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and acute toxicity using diesel/butanol in a wet discharge pilot system for river boats. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(2), 103532. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103532>
- Lach, E., Pauli, S., Coan, S., Simionatto, L., & Koslowski, D. (2022). Investigating the process of electrocoagulation in the removal of azo dye from synthetic textile effluents and the effects of acute toxicity on *Daphnia magna* test organisms. *Journal of Water Process Engineering*, 45, 102485. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102485>
- Lazo, O., Hinojoza, D., & Pérez, R. (2011). Insumos ecológicos en la serigrafía textil: Caso peruano. *Industrial data*, 14(1), 34-41.
- Lee, B., Choi, B., Kim, M., Park, J., Jeong, C., Han, J., & Lee, J. (2019). The genome of the freshwater water flea *Daphnia magna*: A potential use for freshwater molecular ecotoxicology. *Aquatic Toxicology*, 210, 69-84.

<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.02.009>

- López, T., Fernández, F., Franco de Diana, D., Galeano, F., Alonso, S., Benítez, D., López, E., Ímas, H., Bobadilla, N., Benitez, M., & Mazó, G. (2016). Índices de calidad ambiental de aguas del Arroyo Caañabe mediante tests microbiológicos y ecotoxicológico. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11(3), 548. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1703>
- Malev, O., Babić, S., Sima, A., Stipaničev, D., Repec, S., Drnić, M., Lovrić, M., Bojanić, K., Radić, S., Čož-Rakovac, R., & Klobučar, G. (2022). Combining short-term bioassays using fish and crustacean model organisms with ToxCast in vitro data and broad-spectrum chemical analysis for environmental risk assessment of the river water (Sava, Croatia). *Environmental Pollution*, 292, 118440. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118440>
- Manickavasagam, S., Sudhan, C., Bharathi, & Aanand, S. (2019). BIOINDICATORS IN AQUATIC ENVIRONMENT AND THEIR SIGNIFICANCE. *Journal of Aquaculture In The Tropics*, 34(1-2), 73-79. <https://doi.org/10.32381/JAT.2019.34.1-2.6>
- Martínez, S. Y. (2017). Evaluación sobre el uso de arcillas para la adsorción de colorantes utilizados en la industria textil [Doctor en Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/59441>
- Merino, M., Conforme, M., & Barzola, J. L. S. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa-Ecuador. *RECIMUNDO*, 4(4), 454-467.
- Methneni, N., Morales, J., Jaziri, A., Mansour, H., & Fernandez, M. (2021). Persistent organic and inorganic pollutants in the effluents from the textile dyeing industries: Ecotoxicology appraisal via a battery of biotests. *Environmental Research*, 196, 110956. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110956>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua libro VI Anexo 1.
- Monsalve, J. , & Cardona, S. (2014). Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria papelera. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Moscoso, R. V. (2014). Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de la planta potabilizadora de el cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayos ecotoxicológicos. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20392>
- Mottillo, F. (2021). Desarrollo de tinta textil serigráfica a partir de insumos de origen natural. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/27983>

- Nambela, L., Haule, L. V., & Mgani, Q. (2020). A review on source, chemistry, green synthesis and application of textile colorants. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119036.
- Nava, C., & Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140-147.
- Nunes, K. G. (2021). Estudio de inhibidores alternativos de corrosão à base de taninos, aplicados em tinta epóxi comercial.
- Ocampo, L., & Botero, M. (2010). Growth culture evaluation of *Daphnia magna* feed with *Saccharomyces cerevisiae* enrichment with oat soy. 9.
- OCDE. (2004). Test No. 202: *Daphnia* sp. Acute Immobilisation Test | READ online. [oecd-ilibrary.org. https://read.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-202-daphnia-sp-acute-immobilisation-test\\_9789264069947-en](https://read.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-202-daphnia-sp-acute-immobilisation-test_9789264069947-en)
- OCDE. (2012). Test No. 211: *Daphnia magna* Reproduction Test. [oecd-ilibrary.org. https://read.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-211-daphnia-magna-reproduction-test\\_9789264185203-en](https://read.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-211-daphnia-magna-reproduction-test_9789264185203-en)
- Olkova, A. (2022). Chronic Toxicity Testing with *Daphnia magna* in Three Generations. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(1), 31-37. <https://doi.org/10.5755/j01.arem.78.1.30095>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Planes, E., & Fuchs, S. (2015). Cuáles son los aportes de la ecotoxicología a las regulaciones ambientales. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/48860>
- Polechońska, L., & Klink, A. (2021). Validation of *Hydrocharis morsus-ranae* as a possible bioindicator of trace element pollution in freshwaters using *Ceratophyllum demersum* as a reference species. *Environmental Pollution*, 269, 116145. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116145>
- Ponce, V. (2011). La Matriz de Leopold para la evaluación del impacto ambiental. Recuperado de [http://ponce.sdsu.edu/la\\_matriz\\_de\\_leopold.html](http://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html).
- Quijano, J. (2021). Estudio comparativo de la huella de carbono generada entre el combustible ecopaís y extra en Quito a 2850 m.s.n.m. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4823>
- Radziemska, M., Mazur, Z., Bes, A., Majewski, G., Gusiatin, Z. M., & Brtnicky, M. (2019). Using Mosses as Bioindicators of Potentially Toxic Element

Contamination in Ecologically Valuable Areas Located in the Vicinity of a Road: A Case Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 3963. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203963>

- Ramos, S. (2017). Relación entre la exposición a solventes orgánicos aromáticos desprendidos en grifos y las alteraciones neurológicas-comportamentales nocivos en sus trabajadores, Lurín 2017". 87. <http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1447/TESIS%20RAMOS%20SANTOS%20SARITA.pdf?sequence=2>
- Romero, T., Rodríguez, H., & Masó, A. (2016). Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. <https://1library.co/document/yneog3jy-caracterizacion-aguas-residuales-generadas-industria-textil-cubana.html>
- Seyoum, A., Pradhan, A., Jass, J., & Olsson, P.-E. (2020). Perfluorinated alkyl substances impede growth, reproduction, lipid metabolism and lifespan in *Daphnia magna*. *Science of The Total Environment*, 737, 139682. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139682>
- Sharma, A., Kapoor, D., Wang, J., Shahzad, B., Kumar, V., Bali, A. S., & Yan, D. (2020). Chromium bioaccumulation and its impacts on plants: an overview. *Plants*, 9(1), 100.
- Sierra, P., Berríos, C., Miranda, S., & Squella, A. (2018). Experimental and theoretical insights into the electrooxidation pathway of azo-colorants on glassy carbon electrode. *Electrochimica Acta*, 290, 556-567.
- Streicher, M. D., Reiss, H., & Reiss, K. (2021). Impact of aquaculture and agriculture nutrient sources on macroalgae in a bioassay study. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113025. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113025>
- Sumiprint. (2016). FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD Blanco Ultra Flex NF. <https://diamatex.files.wordpress.com/2017/10/hs-nb0302-blanco-ultraflex-nf.pdf>
- SunChemical. (2013). Fichas de datos de seguridad. [https://www.sugraval.com/Catalogo/Item/150\\_Item/15HC153.pdf](https://www.sugraval.com/Catalogo/Item/150_Item/15HC153.pdf)
- Sykora V., Clavijo, A., Calvo, D., Kronberg, M., Díaz, S., Gómez, C., Munarriz, E., & Rossen, A. (2020). Aplicación de bioensayos ecotoxicológicos para evaluar la calidad del agua del arroyo Cañuelas (Buenos Aires, Argentina). *Tecnología y ciencias del agua*, 12(1), 261-312. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-07>
- Taipale, S., Kahilainen, K., Holtgrieve, G. & Peltomaa, E. (2018). Simulated eutrophication and browning alters zooplankton nutritional quality and determines juvenile fish growth and survival. *Ecology and Evolution*, 8(5), 2671-2687. <https://doi.org/10.1002/ece3.3832>

- Tepner, S., Ney, L., Linse, M., Lorenz, A., Pospischil, M., & Clement, F. (2020). Studying knotless screen patterns for fine-line screen printing of Si-solar cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10(2), 319-325.
- Terneus, E., & Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. <https://www.redalyc.org/journal/4760/476054842003/476054842003.pdf>
- Tinpes. (2017). Ficha Técnica: Pastas de estampación Plastisol. <https://tinpes.com.co/wp-content/uploads/2021/01/PLASTIPUFF-Y-GAMUZADO-.pdf>
- Tiwari, A., Joshi, M., Salvi, N., Gupta, D., Gandhi, S., Rajpoot, K., & Tekade, K. (2022). Chapter 21—Toxicity of pharmaceutical azo dyes. En R. K. Tekade (Ed.), *Pharmacokinetics and Toxicokinetic Considerations* (Vol. 2, pp. 569-603). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98367-9.00004-4>
- Tkaczyk, A., Bownik, A., Dudka, J., Kowal, K., & Ślaska, B. (2021). *Daphnia magna* model in the toxicity assessment of pharmaceuticals: A review. *Science of The Total Environment*, 763, 143038.
- Toledo, A., Lopez, C., Gutierrez, C., Muttis, E., & Garcia, J. (2021). Bioensayos con entomopatógenos y uso de protocolos. En *Patología de insectos: Metodologías y técnicas de laboratorio. Un aporte al trabajo experimental*. Universidad Nacional de La Plata. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/149331>
- Torres, J., & Rodríguez, J. (2018). Propuesta para la reducción de colorante azul índigo en aguas residuales de industria textil mediante la oxidación reducción para la empresa comercial dacetex Ltda. 135.
- Trompeta, A., Preiss, I., Ben-Ami, F., Benayahu, Y., & Charitidis, A. (2019). Toxicity testing of MWCNTs to aquatic organisms. *RSC Advances*, 9(63), 36707-36716. <https://doi.org/10.1039/C9RA06672A>
- Verma, Y. (2007). Toxicity Evaluation of Effluents from Dye and Dye Intermediate Producing Industries Using *Daphnia* Bioassay. 4(2), 7.
- Viegas, C. A. (2021). Chapter Four—Microbial bioassays in environmental toxicity testing. En G. M. Gadd & S. Sariaslani (Eds.), *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 115, pp. 115-158). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2021.03.002>
- Villalobos, C., Sibaja-Brenes, P., Mora, C., Álvarez, B. (2021). Evaluación del impacto ambiental en una industria gráfica, que utiliza impresión litográfica tipo “offset”. *Uniciencia*, 35(1), 367-383. <https://doi.org/10.15359/ru.35-1.23>
- Villegas, A., Romero C., & Rosas, E. (1999). Evaluation of *Daphnia magna* as an indicator of toxicity and treatment efficacy of textile wastewaters.

Environment International, 25(5), 619-624.  
[https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(99\)00034-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(99)00034-3)

- Wieczerzak, M., Namieśnik, J., & Kudlak, B. (2016). Bioassays as one of the Green Chemistry tools for assessing environmental quality: A review. *Environment International*, 94, 341-361.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.017>
- Zaruma, P., Proal, J., Hernández, I. C., & Salas, H. I. (2018). Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (19), 38-47.
- Zhou, C., Qi, Y., Zhang, S., Niu, W., Ma, W., Wu, S., & Tang, B. (2020). Rapid fabrication of vivid noniridescent structural colors on fabrics with robust structural stability by screen printing. *Dyes and Pigments*, 176, 108226.
- Zhou, J., Du, N., Li, D., Qin, J., Li, H., & Chen, G. (2021). Combined effects of perchlorate and hexavalent chromium on the survival, growth and reproduction of *Daphnia carinata*. *Science of The Total Environment*, 769, 144676.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144676>

## 7. ANEXOS

### 7.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos

			Análisis 1	Análisis 2	Análisis 3
FECHA			01/02/2022	09/02/2022	16/02/2022
Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor hallado		
Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades	7,28	7,5	7,3
Temperatura		°C	17	17	19
Nitrógeno Total	N	mg/l	4,8	9	9,6
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	8	9	11
Fósforo Total	P	mg/l	2,84	1,84	1,94
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,420	0,426	0,625
Cobre	Cu	mg/l	0,13	0,23	0,23
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B. O5	mg/l	57,7	38,5	47,2
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	287,2	192,5	236
Grasas y aceites	Sust. solubles en hexano	mg/l	0,05	0,07	0,12
Dureza		mg/l	190	290	315



## 7.2 Cultivo *Daphnia magna*



## 7.3 Realización de pruebas toxicológicas



## 7.4 Disoluciones en ensayos toxicológicos



## 7.5 Resultados estadísticos prueba de toxicidad aguda

\*Nonparametric Tests: Independent Samples.  
NPTTESTS  
/INDEPENDENT TEST (DaphniasMuertas) GROUP (Concentraciones) KRUSKAL\_WALLIS (COMPARE=PAIRWISE)  
/MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE  
/CRITERIA ALPHA=.05 CILEVEL=95.

**Pruebas no paramétricas**

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de DaphniasMuertas es la misma entre las categorías de Concentraciones.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.002	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .05.

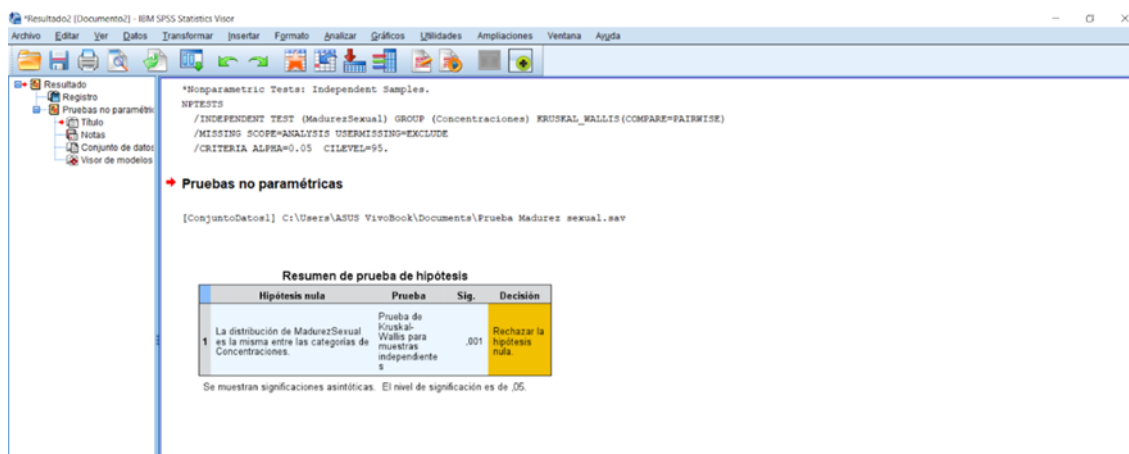
NPAR TESTS  
/K-W=DaphniasMuertas BY Concentraciones(1 7)  
/STATISTICS DESCRIPTIVES  
/MISSING ANALYSIS.

Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Concentraciones.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Control negativo-12.5%	7,250	5,578	1,300	,194	1,000
Control negativo-6.25%	7,250	5,578	1,300	,194	1,000
Control negativo-25%	9,625	5,578	1,726	,084	1,000
Control negativo-50%	12,000	5,578	2,151	,031	,660
Control negativo-100%	17,125	5,578	3,070	,002	,045
Control negativo-Control positivo	-22,875	5,578	-4,101	,000	,001
12.5%-6.25%	,000	5,578	,000	1,000	1,000
12.5%-25%	2,375	5,578	,426	,670	1,000
12.5%-50%	4,750	5,578	,852	,394	1,000
12.5%-100%	9,875	5,578	1,770	,077	1,000
12.5%-Control positivo	-15,625	5,578	-2,801	,005	,107
6.25%-25%	2,375	5,578	,426	,670	1,000
6.25%-50%	4,750	5,578	,852	,394	1,000
6.25%-100%	9,875	5,578	1,770	,077	1,000
6.25%-Control positivo	-15,625	5,578	-2,801	,005	,107
25%-50%	2,375	5,578	,426	,670	1,000
25%-100%	7,500	5,578	1,345	,179	1,000
25%-Control positivo	-13,250	5,578	-2,376	,018	,368
50%-100%	5,125	5,578	,919	,358	1,000
50%-Control positivo	-10,875	5,578	-1,950	,051	1,000
100%-Control positivo	-5,750	5,578	-1,031	,303	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es .05. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

## 7.6 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable madurez sexual

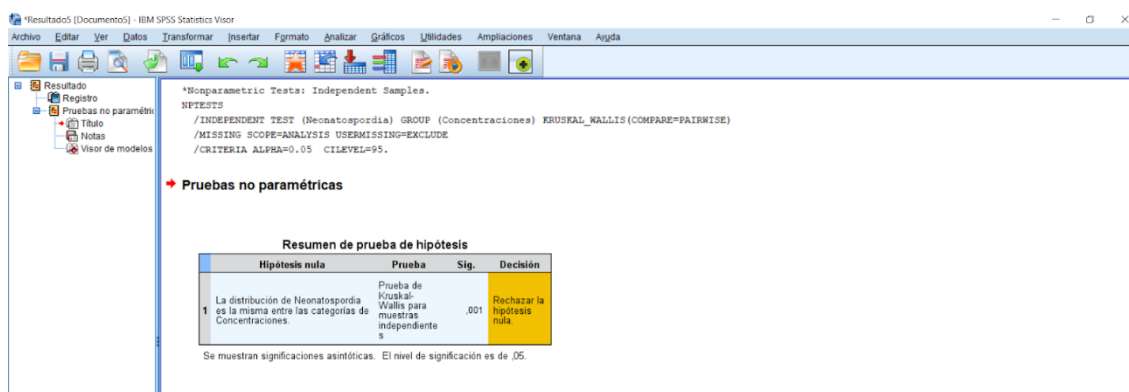


Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Concentraciones.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
Control negativo-6.25%	3,250	4,845	,671	,502	1,000
Control negativo-12.5%	4,875	4,845	1,006	,314	1,000
Control negativo-25%	9,375	4,845	1,935	,053	,795
Control negativo-50%	14,375	4,845	2,967	,003	,045
Control negativo-100%	18,375	4,845	3,792	,000	,002
6.25%-12.5%	1,625	4,845	,335	,737	1,000
6.25%-25%	6,125	4,845	1,264	,206	1,000
6.25%-50%	11,125	4,845	2,296	,022	,325
6.25%-100%	15,125	4,845	3,121	,002	,027
12.5%-25%	4,500	4,845	,929	,353	1,000
12.5%-50%	9,500	4,845	1,961	,050	,749
12.5%-100%	13,500	4,845	2,786	,005	,080
25%-50%	5,000	4,845	1,032	,302	1,000
25%-100%	9,000	4,845	1,857	,063	,949
50%-100%	4,000	4,845	,826	,409	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas. Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

## 7.7 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable neonatos/día



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Concentraciones.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
100%-50%	,000	4,818	,000	1,000	1,000
100%-25%	-7,000	4,818	-1,453	,146	1,000
100%-12.5%	-10,000	4,818	-2,075	,038	,569
100%-6.25%	-14,250	4,818	-2,957	,003	,047
100%-Control negativo	-16,750	4,818	-3,476	,001	,008
50%-25%	-7,000	4,818	-1,453	,146	1,000
50%-12.5%	-10,000	4,818	-2,075	,038	,569
50%-6.25%	-14,250	4,818	-2,957	,003	,047
50%-Control negativo	-16,750	4,818	-3,476	,001	,008
25%-12.5%	-3,000	4,818	-,623	,534	1,000
25%-6.25%	-7,250	4,818	-1,505	,132	1,000
25%-Control negativo	-9,750	4,818	-2,023	,043	,645
12.5%-6.25%	-4,250	4,818	-,882	,378	1,000
12.5%-Control negativo	-6,750	4,818	-1,401	,161	1,000
6.25%-Control negativo	-2,500	4,818	-,519	,604	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas.  
 Se muestran las significaciones asíntóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05.  
 Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

## 7.8 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable neonatos/ 21 días

Su periodo de uso temporal para IBM SPSS Statistics caducará en 4984 días.

```

GET
FILE='C:\Users\ASUS VivoBook\Documents\N Neonatos 21 dia.sav'.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
*Nonparametric Tests: Independent Samples.
NPTTESTS
/INDEPENDENT TEST (Neonatos21dias) GROUP (Concentraciones) KRUSKAL_WALLIS (COMPARE=PAIRWISE)
/MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE
/CRITERIA ALPHA=0.05 CILEVEL=95.
    
```

**Pruebas no paramétricas**

[ConjuntoDatos1] C:\Users\ASUS VivoBook\Documents\N Neonatos 21 dia.sav

Resumen de prueba de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de Neonatos21dias es la misma entre las categorías de Concentraciones.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,001	Rechazar la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Concentraciones.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Dev. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
100%-50%	-4,250	4,991	-.851	,395	1,000
100%-25%	-7,750	4,991	-1,553	,120	1,000
100%-12.5%	-12,000	4,991	-2,404	,016	,243
100%-6.25%	-17,000	4,991	-3,406	,001	,010
100%-Control negativo	-19,000	4,991	-3,807	,000	,002
50%-25%	-3,500	4,991	-.701	,483	1,000
50%-12.5%	-7,750	4,991	-1,553	,120	1,000
50%-6.25%	-12,750	4,991	-2,554	,011	,160
50%-Control negativo	-14,750	4,991	-2,955	,003	,047
25%-12.5%	-4,250	4,991	-.851	,395	1,000
25%-6.25%	-9,250	4,991	-1,853	,064	,958
25%-Control negativo	-11,250	4,991	-2,254	,024	,363
12.5%-6.25%	-5,000	4,991	-1,002	,316	1,000
12.5%-Control negativo	-7,000	4,991	-1,402	,161	1,000
6.25%-Control negativo	-2,000	4,991	-.401	,689	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas.  
 Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05.  
 Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

## 7.9 Resultados estadísticos prueba de toxicidad crónica-variable longevidad

Su periodo de uso temporal para IBM SPSS Statistics caducará en 4984 días.

```

GET
FILE='C:\Users\ASUS VivoBook\Documents\longevidad.sav'.
DATASET NAME ConjuntoDatos1 WINDOW=FRONT.
*Nonparametric Tests: Independent Samples.
NPTTESTS
/INDEPENDENT TEST (Longevidad) GROUP (Concentraciones) KRUSKAL_WALLIS (COMPARE=PAIRWISE)
/MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE
/CRITERIA ALPHA=0.05 CILEVEL=95.
    
```

**Pruebas no paramétricas**

[ConjuntoDatos1] C:\Users\ASUS VivoBook\Documents\longevidad.sav


Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de Longevidad es la misma entre las categorías de Concentraciones.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,001	Rechazar la hipótesis nula

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
100%-50%	-3,750	4,859	-,772	,440	1,000
100%-25%	-8,625	4,859	-1,775	,076	1,000
100%-12.5%	-11,500	4,859	-2,367	,018	,269
100%-Control negativo	-16,750	4,859	-3,447	,001	,008
100%-6.25%	-17,875	4,859	-3,679	,000	,004
50%-25%	-4,875	4,859	-1,003	,316	1,000
50%-12.5%	-7,750	4,859	-1,595	,111	1,000
50%-Control negativo	-13,000	4,859	-2,676	,007	,112
50%-6.25%	-14,125	4,859	-2,907	,004	,055
25%-12.5%	-2,875	4,859	-,592	,554	1,000
25%-Control negativo	-8,125	4,859	-1,672	,094	1,000
25%-6.25%	-9,250	4,859	-1,904	,057	,854
12.5%-Control negativo	-5,250	4,859	-1,080	,280	1,000
12.5%-6.25%	-6,375	4,859	-1,312	,190	1,000
Control negativo-6.25%	1,125	4,859	,232	,817	1,000

Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son las mismas.  
 Se muestran las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es ,05.  
 Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección de Bonferroni para varias pruebas.

## 7.10 Resultados análisis físico-químico de Agua



LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA Desde 1867


**Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua**

Solicitado por: *S. Pablo Ortiz* Código *060021*  
 Lugar de la toma de muestra: *Empresa XXXX*  
 Tipo de agua: *Agua residual de los procesos*  
 Dirección:  
 Teléfono:  
 Fecha de la toma: *01/02/2022* Hora de toma *8:00Hs*  
 Fecha de ingreso al laboratorio: *01/02/2022*  
 Fecha del análisis: *01/02/2022* al *07/02/2022*

PARÁMETRO		VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1	pH	7,28	Unidades	MNE 2320-B
2	Temperatura	17	°C	MNE 2550-B
3	Turbiedad	150	UNT	MNE 2130-B
4	Color	200	UCP	MNE 2120-B.
5	Olor (Concentración percepción Umbral)	24	COU	AFNOR NF EN 1622
6	Olor (valor Umbral de percepción ) **	3,5	mg/l	AFNOR NF EN 1622
7	Sólidos disueltos totales	200	mg/l	MNE 2540-C
8	Conductividad	389	uS/cm	MNE 2540-C
9	Oxígeno Disuelto OD	3.1	mg/l	MNE 4500-C
10	Nitrógeno total	4,8	mg/l N <sup>5</sup>	MNE 4500- B
11	Nitritos	0,001	mg/l NO <sup>2</sup>	MNE 4500-B
12	Nitratos	3,5	mg/ L NO <sup>3</sup>	MNE 4500-B
13	Cloro libre	0,05	mg/L Cl	MNE 4500-G
14	Cloruros y Cloro total	0,1	mg/L Cl <sup>-1</sup>	MNE 4500-G
15	Sulfatos	8,00	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	MNE 5310-D
16	Fósforo libre o reactivo	0,5	mg/L P+++	MNE 3500-D
17	Fósforo Total	2,84	mg/L P	MNE 3500-D
15	Hierro	0,001	mg/L Fe <sup>2+</sup>	MNE 3500-D
16	Cromo hexavalente	0,420	mg/L Cr <sup>6+</sup>	MNE 3500-D
17	Cobre	0,13	mg/L Cu <sup>+1</sup>	MNE 3500-E
21	Calcio	30	mg/L Ca <sup>++</sup>	MNE 3500-D
22	Magnesio	28,5	mg/L Mg <sup>++</sup>	MNE 3500-D
23	Alcalinidad Total	225	mg/L CaCO <sub>3</sub>	MNE 2320-B
24	Dureza Total	190	mg/L CaCO <sub>3</sub>	MNE 2340-C
25	Demanda Bioquímica de Oxígeno	57,7	mg/L O <sup>2</sup>	MNE 5210-A
26	Demanda química de oxígeno	287,2	mg/L O <sup>2</sup>	MNE 5220-D

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A .C.A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio




  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
desde 1867

**LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**

27	Grasa y aceites	0.05	mg/ L	MNE 5520-B
----	-----------------	------	-------	------------

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

  
Dr. Giovanni Larriva. MSc.

TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A .C A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio


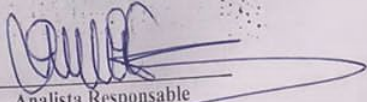

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: S. Pablo Ortiz Código 030022  
 Lugar de la toma de muestra: Empresa de serigrafía de textiles  
 Tipo de agua: Agua residual de los procesos  
 Dirección:  
 Teléfono:  
 Fecha de la toma: 09/02/2022 Hora de toma 8:30Hs  
 Fecha de ingreso al laboratorio 01/02/2022  
 Fecha del análisis 09/02/2022 al 14/02/2022

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 pH	7,5	Unidades	MNE 2320-B
2 Temperatura	17	°C	MNE 2550-B
3 Turbiedad	160	UNT	MNE 2130-B
4 Color	300	UCP	MNE 2120-B.
5 Olor (Concentración percepción Umbral)	28	COU	AFNOR NF EN 1622
6 Olor (valor Umbral de percepción) **	3,7	mg/l	AFNOR NF EN 1622
7 Sólidos disueltos totales	196	mg/l	MNE 2540-C
8 Conductividad	386	uS/cm	MNE 2540-C
9 Oxígeno Disuelto OD	4,52	mg/l	MNE 4500-C
10 Nitrógeno total	9	mg/l N <sup>15</sup>	MNE 4500- B
11 Nitritos	0,003	mg/l NO <sup>2</sup>	MNE 4500-B
12 Nitratos	7,3	mg/ L NO <sup>3</sup>	MNE 4500-B
13 Cloro libre	0,31	mg/L Cl	MNE 4500-G
14 Cloruros y Cloro total	0,6	mg/L Cl <sup>-1</sup>	MNE 4500-G
15 Sulfatos	9,00	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	MNE 5310-D
16 Fósforo libre o reactivo	0,27	mg/L P <sup>+++</sup>	MNE 3500-D
17 Fósforo Total	1,84	mg/L P	MNE 3500-D
15 Hierro	0,17	mg/L Fe <sup>2+</sup>	MNE 3500-D
16 Cromo hexavalente	0,426	mg/L Cr <sup>6+</sup>	MNE 3500-D
17 Cobre	0,23	mg/L Cu <sup>+1</sup>	MNE 3500-E
21 Calcio	32,6	mg/L Ca <sup>++</sup>	MNE 3500-D
22 Magnesio	28,5	mg/L Mg <sup>++</sup>	MNE 3500-D
23 Alcalinidad Total	205	mg/L CaCO <sub>3</sub>	MNE 2320-B
24 Dureza Total	290	mg/L CaCO <sub>3</sub>	MNE 2340-C
25 Demanda Bioquímica de Oxígeno	38,5	mg/L O <sup>-2</sup>	MNE 5210-A
26 Demanda química de oxígeno	192,5	mg/L O <sup>-2</sup>	MNE 5220-D
27 Grasa y aceites	0.07	mg/ L	MNE 5520-B

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

**TÉRMINOS Y CONDICIONES:** La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio

		LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA		
UNIVERSIDAD DE CUENCA <small>desde 1867</small>				
27	Grasa y aceites	0.05	mg/ L	MNE 5520-B
Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados				
<p>UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS</p> <p><b>Dr. Giovanni Larriva, MSc.</b></p>  <p>Analista Responsable</p>				
				
<p><small>TÉRMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio</small></p>				



Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: S. Pablo Ortiz Código 060022  
Lugar de la toma de muestra Empresa de serigrafía de textiles  
Tipo de agua Agua residual de los procesos de serigrafía  
Dirección:  
Teléfono:  
Fecha de la toma: 16/02/2022 Hora de toma 8:30Hs  
Fecha de ingreso al laboratorio 16/02/2022  
Fecha del análisis 16/02/2022 al 21/02/2022

PARÁMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1 pH	7,3	Unidades	MNE 2320-B
2 Temperatura	19	°C	MNE 2550-B
3 Turbiedad	235	UNT	MNE 2130-B
4 Color	380	UCP	MNE 2120-B.
5 Olor (Concentración percepción Umbral)	34	COU	AFNOR NF EN 1622
6 Olor (valor Umbral de percepción) **	3,9	mg/l	AFNOR NF EN 1622
7 Sólidos disueltos totales	207	mg/l	MNE 2540-C
8 Conductividad	420	uS/cm	MNE 2540-C
9 Oxígeno Disuelto OD	3,69	mg/l	MNE 4500-C
10 Nitrógeno total	9,6	mg/l N <sup>3</sup>	MNE 4500- B
11 Nitritos	0,004	mg/l NO <sup>2</sup>	MNE 4500-B
12 Nitratos	7,6	mg/l NO <sup>3</sup>	MNE 4500-B
13 Cloro libre	0,4	mg/L Cl	MNE 4500-G
14 Cloruros y Cloro total	0,7	mg/L Cl <sup>1</sup>	MNE 4500-G
15 Sulfatos	11	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2</sup>	MNE 5310-D
16 Fósforo libre o reactivo	0,32	mg/L P+++	MNE 3500-D
17 Fósforo Total	1,94	mg/L P	MNE 3500-D
15 Hierro	0,19	mg/L Fe <sup>2+</sup>	MNE 3500-D
16 Cromo hexavalente	0,625	mg/L Cr <sup>6+</sup>	MNE 3500-D
17 Cobre	0,23	mg/L Cu <sup>1</sup>	MNE 3500-E
21 Calcio	34,5	mg/L Ca <sup>++</sup>	MNE 3500-D
22 Magnesio	29,3	mg/L Mg <sup>++</sup>	MNE 3500-D
23 Alcalinidad Total	230	mg/L CaCO <sub>3</sub>	MNE 2320-B

**TÉRMINOS Y CONDICIONES:** La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio



24	Dureza Total	315	mg/L CaCO <sub>3</sub>	MNE 2340-C
25	Demanda Bioquímica de Oxígeno	47,2	mg/L O <sub>2</sub>	MNE 5210-A
26	Demanda química de oxígeno	236	mg/L O <sub>2</sub>	MNE 5220-D
27	Grasa y aceites	0.12	mg/L	MNE 5520-B

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Métodos Normalizados

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS



Analista Responsable

**TÉRMINOS Y CONDICIONES:** La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad Internacionalmente reconocidos—El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente—Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores- las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas ineludiblemente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L.A.C.A. tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio.- Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio