



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS COLORANTES USADOS EN EL
LABORATORIO CLÍNICO

HERRERA MAZA NICOLE STEFANIA
BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS COLORANTES USADOS EN EL
LABORATORIO CLÍNICO

HERRERA MAZA NICOLE STEFANIA
BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

MACHALA
2023



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

EXAMEN COMPLEXIVO

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS COLORANTES USADOS EN EL LABORATORIO
CLÍNICO

HERRERA MAZA NICOLE STEFANIA
BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

LEON CUEVA RICARDO VALENTIN

MACHALA, 27 DE FEBRERO DE 2023

MACHALA
27 de febrero de 2023

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS COLORANTES USADOS EN EL LABORATORIO CLÍNICO

por Nicole Stefania Herrera Maza

Fecha de entrega: 13-feb-2023 09:25a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2013114450

Nombre del archivo: NICOLE_STEFANIA_HERRERA_MAZA_0705720209.pdf (109.2K)

Total de palabras: 2880

Total de caracteres: 15180

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, HERRERA MAZA NICOLE STEFANIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado IMPACTO AMBIENTAL DE LOS COLORANTES USADOS EN EL LABORATORIO CLÍNICO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

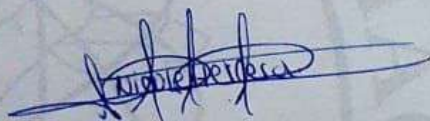
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de febrero de 2023



HERRERA MAZA NICOLE STEFANIA
0705720209

RESUMEN

En un laboratorio clínico, los colorantes son utilizados para teñir parásitos, bacterias y estructuras celulares, pues son sustancias que propician color gracias a su estructura química, la cual está conformada por el grupo cromóforo y auxocromo; sin embargo, una vez utilizados, estos son vertidos por los desagües sin tomar en cuenta el impacto ambiental que pueden ocasionar, por tal motivo, el objetivo de esta investigación es identificar las técnicas para la medición de la concentración de colorantes usados en el laboratorio clínico vertidos por los desagües, mediante revisión bibliográfica, para conocimiento del impacto ambiental que tienen los colorantes; obteniendo como resultados que la espectrofotometría UV-VIS, seguida del HPLC y HPLC-MS son las técnicas más requeridas por los investigadores y, que los colorantes mayormente estudiados en este campo, son los derivados del trifenilmetano (verde de malaquita y cristal violeta) y azul de metileno. Concluyendo así, que la espectrofotometría UV-VIS es la más accesible, precisa y rápida que entre las otras; así mismo, que el cristal violeta, azul de metileno y verde de malaquita una vez vertidos por el desagüe afectan al ecosistema acuático, en las plantas sus procesos fotosintéticos y en los animales acuáticos las alteraciones biológicas, mutaciones, toxicidad respiratoria y cáncer.

PALABRAS CLAVES: Azul de metileno, cristal violeta, colorantes, impacto ambiental, espectrofotometría UV-VIS, verde de malaquita.

ABSTRACT

In a clinical laboratory, dyes are used to stain parasites, bacteria and cellular structures, as they are substances that promote color thanks to their chemical structure, which is made up of the chromophore group and auxochrome; however, once used, they are discharged down the drains without taking into account the environmental impact they can cause, for this reason, the objective of this research, is to identify the techniques for measuring the concentration of dyes used in the clinical laboratory discharged down the drains through literature review, to know the environmental impact of dyes; obtaining as results that UV-VIS spectrophotometry, followed by HPLC and HPLC-MS are the techniques most required by researchers and, that the dyes most studied in this field, are the derivatives of triphenylmethane (malachite green and crystal violet) and methylene blue. Thus concluding, that UV-VIS spectrophotometry is the most accessible, accurate and fast than among the others; likewise, that the violet crystal, methylene blue and malachite green once poured down the drain affect the aquatic ecosystem, in plants their photosynthetic processes and in aquatic animals biological alterations, mutations, respiratory toxicity and cancer.

KEY WORDS: Methylene blue, crystal violet, dyes, environmental impact, UV-VIS spectrophotometry, malachite green.

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
1.1	OBJETIVO GENERAL	6
2.	DESARROLLO	6
2.2	Colorantes	6
2.2.1	Usos de los colorantes	6
2.3	Derivados de trifenilmetano	6
2.3.1	Verde de malaquita	6
2.3.2	Cristal violeta	7
2.4	Azul de metileno	7
2.5	Técnicas analíticas para la concentración de los colorantes	7
2.5.1	Espectrofotometría UV-VIS	7
2.5.2	Cromatografía de líquidos de alta presión acoplado a espectrometría de masas (HPLC-MS)	7
2.5.3	Voltamperometría	7
2.6	Impacto ambiental de los colorantes	7
2.6.1	Impacto ambiental del verde de malaquita	8
2.6.2	Impacto ambiental del cristal violeta	8
2.6.3	Impacto ambiental del azul de metileno	8
2.7.1.	Biorremediación	8
2.7.2	Carbón activado	8
2.7.3	filtración por membrana	9
3.	METODOLOGÍA	9
3.1	Pregunta a resolver	9
4.	RESULTADOS	9
5.	CONCLUSIONES	14
6.	RECOMENDACIONES	14

INDICE DE TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 1. Revisión bibliográfica sobre las técnicas utilizadas para medir la concentración de colorantes.	9
Tabla 2. Colorantes usados en el laboratorio	11
Tabla 3. Impacto Ambiental que tienen los colorantes.....	13

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Revisión bibliográfica sobre las técnicas utilizadas para medir la concentración de colorantes.....	10
Ilustración 2. Colorantes usados en el laboratorio	12

1. INTRODUCCIÓN

Los colorantes tanto orgánicos como sintéticos son usados por las industrias textiles, cosméticas, farmacéuticas y en laboratorios clínicos, bioquímicos, microbiológicos, etc., del cual se sabe poco sobre los daños que provocan una vez que son vertidos por el desagüe y liberadas al ecosistema ¹. Se conoce poco sobre la toxicidad que tienen en el medio ambiente, sin embargo Ardila-Leal et al. (2021) cita que, los efectos nocivos en el medio ambiente son inevitables una vez que los colorantes sean vertidos en los drenajes, inclusive sea en bajas concentraciones ². En otra búsqueda relacionada con las aguas residuales por Sarayu et al. (2012) en la India menciona que, aparte de una contaminación estética, este provoca la eutrofización, el impedimento de la fotosíntesis, inhibición del crecimiento de las plantas; y, lo más crítico para la especie acuática es que son teratogénicos o mutagénicos, cancerígenos y tóxicos ³. Sioi et al. (2006) en su estudio sobre el tratamiento fotocatalítico de las aguas residuales coloreadas de laboratorios médicos, cita que la hematoxilina, la eosina, la rosa de Bengala y la auramina O llegan a ser tóxicas o mutagénicas para los seres vivos sin importar que se use pequeños volúmenes, sin olvidar que sus aditivos también son nocivos provocando alta toxicidad en aguas residuales y alto contenido de carbono orgánico ⁴. En Polonia, de acuerdo a Tkaczyk et al. (2023) en su estudio nombra ciertos colorantes (verde malaquita y azul de metileno) no autorizados por la Unión Europea a causa de las propiedades cancerígenas y mutagénicas ⁵.

Por ello, esta investigación tiene la intención de identificar las técnicas para medir la concentración de colorantes usados en el laboratorio clínico vertidos por los desagües, Tkaczyk et al. (2022) menciona diversas técnicas para determinar los colorantes en agua, como: voltamperometría, espectrofotometría UV-vis, cromatografía líquida de alta resolución acoplado a fluorescencia y la acoplada a espectrometría de masas ⁶; tampoco hay que olvidar la colorimetría y volumetría que también cumplen el mismo fin, y, es el de conocer la cantidad y concentración de colorantes que son vertidos por los desagües y el impacto ambiental que estos provocan. Además de procurar que los laboratorios clínicos, de investigación y de otra índole apliquen técnicas para remover los colorantes en las aguas residuales, ya que, actualmente no hay una ordenanza que mencione como remover los colorantes antes de que sean vertidos al desagüe, por este motivo se plantea lo siguiente ¿Cómo se puede determinar la concentración de los colorantes? y ¿Cuál sería el impacto ambiental que pueden ocasionar?

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Identificar las técnicas para la medición de la concentración de colorantes usados en el laboratorio clínico vertidos por los desagües, mediante revisión bibliográfica, para conocimiento del impacto ambiental que tienen los colorantes.

2. DESARROLLO

2.2 Colorantes

Los colorantes son sustancias capaces de proveer su color a un material dado y esto se debe a su estructura química ⁷. Los colorantes están compuestos por un grupo cromóforo el responsable de producir color y por el auxocromo el encargado de aumentar la solubilidad del colorante y su afinidad hacia el material a teñir para fijarlo e intensificar la acción del cromóforo ⁸⁻¹⁰.

2.2.1 Usos de los colorantes

Tanto los colorantes naturales como artificiales tienen diferentes usos en las industrias textiles, farmacéuticas, alimenticias, cosméticas, etc. En el área textil se usa para teñir telas, fibras y algodones; en el área cosmética se usa para dar color a pintalabios, sombras de ojos y cejas, esmaltes, delineadores y tintes para cabello; en la industria alimentaria se usa para dar color a bebidas, snacks, cereales, dulces, postres y otros; en el área de investigación y laboratorio clínico se usa los colorantes en técnicas de tinción biológica para teñir estructuras celulares, parásitos y también se emplea como indicador de pH ².

2.3 Derivados de trifenilmetano

A partir de la síntesis del benceno se obtienen colorantes del trifenilmetano como el verde de malaquita, cristal violeta, fucsina básica y rojo fenol, al cual tienen presentes grupos halógenos y aquilos como sustituyentes ⁸.

2.3.1 Verde de malaquita

Es un colorante derivado del trifenilmetano ¹¹, de color verde oscuro, y, de acuerdo a su pH puede presentarse en dos formas: en pH ácido estará presente su forma catiónica y en pH básico predominará la forma carbinol ¹². Las aplicaciones que tienen dentro de un laboratorio es la tinción biológica e indicador de pH, además, la detección de sangre latente en el campo forense ¹¹.

2.3.2 Cristal violeta

Es un colorante orgánico sintético que se encuentra como un polvo con brillo metálico verde oscuro, usado para clasificar bacterias mediante la tinción de sus estructuras celulares ^{8,13}.

2.4 Azul de metileno

Es un colorante sintético con estructura aromática heterocíclica, tiene aplicaciones en las industrias textiles ¹⁴ y en el área de laboratorio como un colorante básico para identificar parásitos, células sanguíneas, determinación morfológica de bacterias, clasificación de bacterias Gram negativas o positivas ^{15,16}.

2.5 Técnicas analíticas para la concentración de los colorantes

2.5.1 Espectrofotometría UV-VIS

Método empleado para detectar y cuantificar compuestos de una muestra; fundamentado en la absorción de radiación monocromática de una molécula, que es la que provoca el desplazamiento electrónico y que a su vez genera el espectro (lugar donde absorbe un haz de radiación) ¹⁷.

2.5.2 Cromatografía de líquidos de alta presión acoplado a espectrometría de masas (HPLC-MS)

Técnica que combina el poder de separación de la cromatografía usando en fase reversa, con una fase estacionaria no polar (C8 o C18) y con fase móvil polar, con la espectrometría de masas que determina la masa molecular, brindando así información cualitativa y cuantitativa ¹⁸.

2.5.3 Voltamperometría

Es un método electroanalítico muy sensible y de bajo costo tanto instrumental como operacional, siendo útil para la cuantificación de colorantes, ya que se emplea un potencial eléctrico a un electrodo de trabajo dentro de una mezcla, midiendo la intensidad de corriente ^{19,20}.

2.6 Impacto ambiental de los colorantes

Por lo general el vertido de los colorantes a las aguas residuales tienen impacto al medio ambiente, como impedir el paso de la luz solar al medio acuático y como consecuencia la baja actividad fotosintética ^{21,22}, siendo esta la que garantiza el flujo de energía a niveles

tróficos superiores ²³, además, que algunos de ellos tienen microtoxicidad debido a que forman quelatos de iones metálicos y, también son considerados tóxicos, cancerígenos y mutagénicos tanto para las personas como para la vida acuática ^{21,24}.

2.6.1 Impacto ambiental del verde de malaquita

Ciertos parámetros físicos-químicos en el verde de malaquita, como el pH, la temperatura, el oxígeno y la dureza del agua incrementan o disminuyen la toxicidad de este colorante, es decir, que si la temperatura aumenta o el pH disminuye la toxicidad se ve aumentada provocando tumores hepáticos y renales ^{25,26}; otros datos mencionan que pueden ser cancerígenos y mutagénicos ¹¹.

2.6.2 Impacto ambiental del cristal violeta

Es considerado un colorante mutagénico, clastogénico y citotóxico, relacionado con un alto riesgo de contraer cáncer de vejiga en las personas y tumores tanto renales como hepáticos ^{8,27}.

2.6.3 Impacto ambiental del azul de metileno

La presencia de este colorante en los cuerpos de agua ha provocado la disminución fotosintética de la vida acuática por la baja penetración de la luz, por la demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO) ¹⁶ también, es considerado tóxico, cancerígeno, mutagénico y no degradable por la presencia del anillo aromático en su estructura molecular ¹⁴.

2.7 Métodos para el desecho de colorantes

2.7.1. Biorremediación

Es un método basado en la utilización de bacterias y hongos para la recuperación del área contaminada, a través de sus procesos catalíticos, que transforman, reducen y remueven las concentraciones de los productos tóxicos esparcidos por los suelos y los cuerpos de agua ²⁸.

2.7.2 Carbón activado

Es un método de absorción debido a las características que presenta el carbón activado, como alta área superficial y alta porosidad que permiten la remoción de colorantes disueltos en aguas residuales ^{29,30}.

2.7.3 filtración por membrana

Es un método físico sencillo y eficaz, usado para disminuir la concentración de colorantes en aguas residuales, gracias a los poros pequeños que presenta la membrana de filtración, provocando que el colorante se quede en el filtro, con la única desventaja del cambio periódico de las membranas ³¹.

3. METODOLOGÍA

Una vez que se hace uso de los colorantes por parte de los laboratorios clínicos, estos son vertidos por los desagües sin tomar en cuenta el impacto ambiental que puede ocasionar, con este enfoque se utilizó como metodología la recolección de información mediante revisión bibliográfica de sitios académicos de alto impacto como buscadores científicos, revistas (Elsevier y Scielo) y tesis, a través de la aplicación de métodos comparativos, descriptivos, analíticos y deductivos, pues esto permitirá responder si en la actualidad los laboratorios clínicos que utilizan colorantes para teñir diversos tejidos y células, están ocasionando algún tipo de impacto ambiental

3.1 Pregunta a resolver

¿Cómo se puede determinar la concentración de los colorantes? y ¿Cuál sería el impacto ambiental que pueden ocasionar?

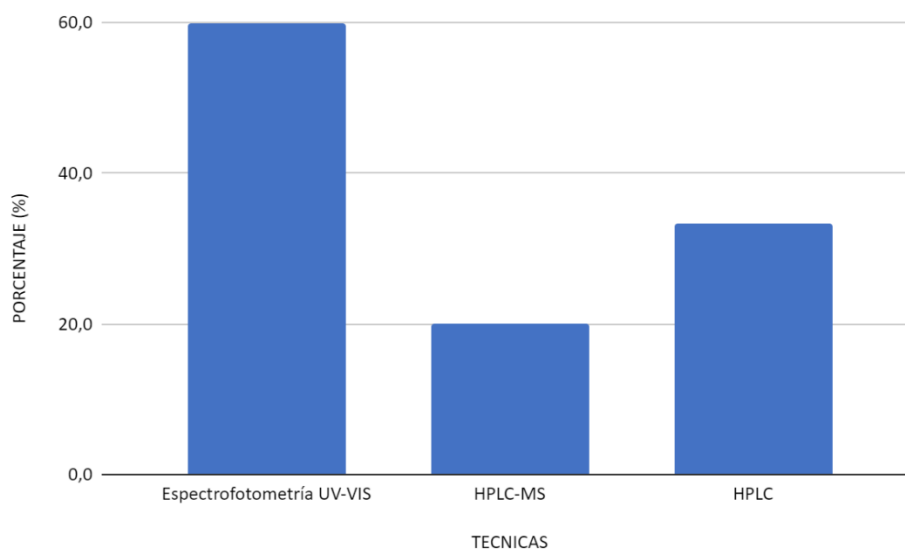
4. RESULTADOS

Tabla 1. Revisión bibliográfica sobre las técnicas utilizadas para medir la concentración de colorantes.

<i>TÉCNICAS</i>	<i>PORCENTAJE</i> (%)	<i>DESV.ESTÁNDAR</i>
<i>Espectrofotometría</i> <i>UV-VIS</i>	60,0	0,51
<i>HPLC-MS</i>	20,0	0,41
<i>HPLC</i>	33,3	0,49

Fuente: ^{17,18,27,32-43}

Ilustración 1. Revisión bibliográfica sobre las técnicas utilizadas para medir la concentración de colorantes.



Fuente: 17,18,27,32-43

Mediante la revisión bibliográfica de 15 artículos sobre las técnicas que miden la concentración de colorantes, el 60.0 % de las investigaciones se inclinan por la espectrofotometría UV-VIS; Castillo (2022) menciona que la espectrofotometría es una técnica cuantitativa con alta amplitud de investigación, cuenta con alto límite de rastreo, buena exactitud, precisión y rapidez⁴⁴; Siguiéndole de cerca el HPLC con el 33.3%, pues Rodríguez et al. (2014) cita que es una técnica que se usa mayormente para investigaciones por la característica de analizar mezclas complejas y dar con exactitud los resultados previstos de manera confiable, aunque la mayor desventaja de éste es el tiempo que se ocupa para el análisis, la cantidad de solventes contaminantes y el alto costo del equipo⁴⁵; Concordando así con lo citado por Şahin et al. (2007) y Hassaninejad et al. (2016), sobre las técnicas cromatográficas siendo usadas para determinar la concentración de colorantes en aguas residuales y las desventajas que tiene, como el tener un procedimiento muy trabajoso, el ocupar mucho tiempo y el de requerir una separación previa de la mezcla^{35,36}; y, que por lo tanto prefieren usar técnicas espectrofotométricas por ser económicas y por tener procedimientos sencillos³⁵.

Y, por último se encuentra el HPLC-MS con un 20.0 % entre las técnicas identificadas, Holčapek et al. (2001) cita que es una técnica generalmente usada para la monitorización

ambiental de colorantes por ser sensible y capaz de obtener información sobre compuestos no conocidos, sin embargo la desventaja mayor es su costo ³⁸.

4.1. Fundamento del método espectrofotométrico

Este método tiene el fin identificar o cuantificar compuestos químicos de una sustancia ya sea del tipo orgánica o inorgánica mediante la energía radiante que absorbe según la longitud de onda, así que, el color de un compuesto depende de su capacidad para absorber o reflejar radiaciones dentro del espectro UV-visible ^{46,47}. Es decir que, al momento de medir espectros UV-visible, únicamente se necesita que tenga lugar la absorbancia entre la radiación y la materia, para que se generen estos espectros.

Para que ocurra la absorbancia de una muestra, se necesita la presencia de enlaces insaturados (enlaces π) y estos son los compuestos orgánicos, algunos de estos compuestos tienen en su estructura química un grupo cromóforo, el cual está constituido por un enlace π ; aunque el entorno molecular de este grupo y de su disolvente puede generar cambios en la intensidad de la longitud de onda, también se deben tomar en cuenta otros factores (pH y temperatura) ⁴⁸.

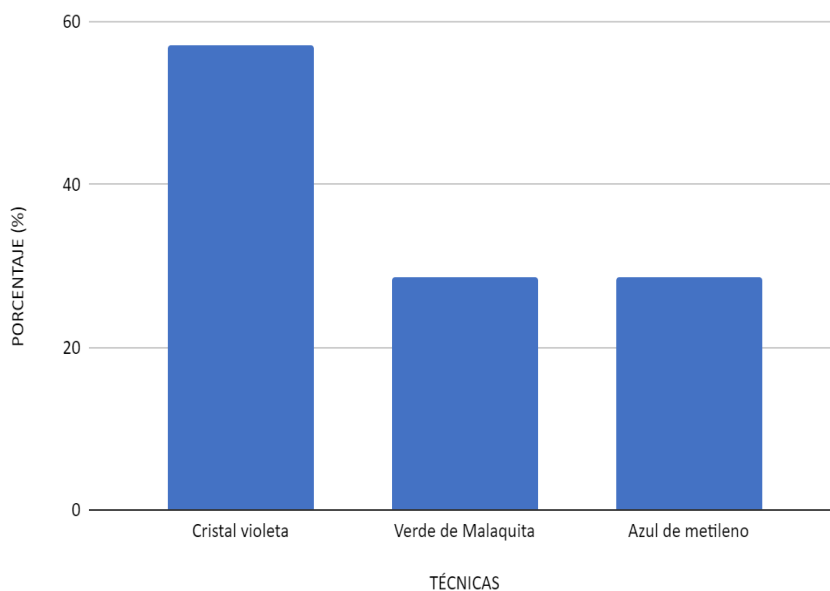
Las radiaciones que utiliza la espectrofotometría UV-visible son de 80-40 nm, siendo la de 200-400 nm el UV más cercano y 400-800 nm el de luz visible, comparando así la radiación absorbida de una muestra que tiene una cantidad no conocida de soluto, con una que tiene una cantidad conocida de las mismas características ⁴⁶.

Tabla 2. Colorantes usados en el laboratorio

<i>TÉCNICAS</i>	<i>PORCENTAJE</i> (%)	<i>DESV.ESTÁNDAR</i>
<i>Cristal violeta</i>	57,1	0,53
<i>Verde de Malaquita</i>	28,6	0,49
<i>Azul de metileno</i>	28,6	0,49

Fuente: ^{11,12,49-51}

Ilustración 2. Colorantes usados en el laboratorio



Fuente: 11,12,49–51

En la recopilación de fuentes bibliográficas acerca de los colorantes usados en el laboratorio, el 57.1% habla sobre el cristal violeta y esto es por las múltiples funcionalidades que tiene; Corrales y Caycedo cita algunas aplicaciones como: tinción biológica, indicador ácido-base, desnaturalizador de alcohol y como componente de la tinción de Gram ¹⁵ también otros autores como Llanes et al. ¹³ y Quintero ⁸ concuerdan con los usos que tiene este colorante en el laboratorio; A la par le sigue el verde de malaquita y azul de metileno con un 28.6% los cuales tienen similares funcionalidades que el cristal violeta.

Aunque la poca investigación de colorantes usados en el laboratorio y el impacto ambiental que tienen hace que este trabajo se centre únicamente en el cristal violeta, verde de malaquita y azul de metileno, no se descarta que haya otros colorantes como la hematoxilina, eosina, violeta de genciana, safranina, verde de metilo, fucsina ácida, tionina, azul de toluidina, entre otros estén teniendo el mismo impacto ambiental o aún peor estén provocando otros efectos que aún no se conocen.

En la investigación realizada por Quintero (2018) acerca del tratamiento primario de aguas residuales no domésticas provenientes de la Pontificia Universidad Javeriana cita que, los colorantes que pueden hallarse en aguas residuales, son provenientes de las universidades, mayoritariamente de los laboratorios de docencia por su uso en las

tinciones biológicas y como indicadores de pH, entre los colorantes más usados son los derivados de trifenilmetano como: el cristal violeta, fucsina básica, verde malaquita y rojo fenol, además de otro colorante reactivo como el azul de metileno ⁸.

Tabla 3. Impacto Ambiental que tienen los colorantes

<i>COLORANTES</i>	<i>IMPACTO AMBIENTAL</i>
<i>Verde de Malaquita</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Provoca cambios morfológicos, inhibe el crecimiento de las plantas acuáticas ⁵². - Afecta a la fotosíntesis debido a las alteraciones del contenido de la clorofila ⁵². - Es cancerígeno, mutagénico, teratogénico y genotóxico ^{25,49}. - Provoca toxicidad respiratoria ²⁵
<i>Cristal Violeta</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Impide el crecimiento de las plantas por su efecto tóxico en la germinación de las semillas ⁵⁰. - Afecta a la fotosíntesis debido a las alteraciones del contenido de la clorofila ⁵². - Es citotóxico y genotóxico en los animales ⁵⁰. - Es cancerígeno y mutagénico ⁴⁹.
<i>Azul de Metileno</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Obstruye tanto los procesos fotosintéticos de los sistemas acuíferos ⁵³. - Genera daños en la calidad del agua ⁵³. - Fuente abismal de contaminación y alteración de la vida acuática ⁵⁴. - Es mutagénico y cancerígeno ⁵⁴.

Fuente: ^{25,49,50,52-54}

Para conocer el impacto ambiental que tienen los colorantes que se usan en los laboratorios clínicos, se necesitó identificarlos y determinar los de mayor uso, entre ellos de acuerdo a la ilustración 2 está el cristal violeta, verde de malaquita y azul de metileno,

continuando con la recolección de información, se obtuvo la tabla 3, la cual detalla las consecuencias de cada colorante una vez que entren en contacto con los sistemas acuíferos; siendo todos altamente contaminantes, tóxicos, mutagénicos, cancerígenos para la vida acuática ^{25,49,50,52-54}. Li et al., y Paz et al., también concuerda con los daños que provocan a la vida acuática, citando que, los colorantes de alta intensidad disminuyen el paso de la luz solar al ecosistema acuático afectando al proceso fotosintético que tiene las plantas, además, generan daños al medio ambiente por su toxicidad y su tendencia a ser mutagénicos y cancerígenos ^{55,56}.

5. CONCLUSIONES

Mediante la recolección bibliográfica se identificó tres técnicas más comunes para la medición de la concentración de colorantes entre ellas está la espectrofotometría UV-VIS con 60.0% por ser las más accesible, precisa y rápida entre las otras (HPLC, HPLC-MS); así mismo se determinó que el cristal violeta, azul de metileno y verde de malaquita una vez vertidos por el desagüe afectan a la vida acuática, desde el impedimento de sus procesos fotosintéticos hasta el riesgo de causar alteraciones biológicas, mutaciones y cáncer en animales acuáticos.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar investigando sobre el impacto ambiental y tóxico que tienen los colorantes, al ser utilizados en el laboratorio y al tener contacto con el ecosistema acuático.
- Al conocer el impacto ambiental que tienen los colorantes (azul de metileno, cristal violeta y verde de malaquita) al ser vertidos por el desagüe, no se descarta que otros colorantes que aún no están investigados tengan o no las mismas características contaminantes; se recomienda seguir investigando otros colorantes que se usan en laboratorios y su impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Tkaczyk, A.; Mitrowska, K.; Posyniak, A. Synthetic Organic Dyes as Contaminants of the Aquatic Environment and Their Implications for Ecosystems: A Review. *Sci Total Environ.* Elsevier B.V. May 15, 2020, pp 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137222>.
- (2) Ardila, L. D.; Poutou, R.; Pedroza, A.; Quevedo, B. A Brief History of Colour, the Environmental Impact of Synthetic Dyes and Removal by Using Laccases. *Molecules* **2021**, *26* (3813), 1–40. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>.
- (3) Sarayu, K.; Sandhya, S. Current Technologies for Biological Treatment of Textile Wastewater-A Review. *Appl Biochem Biotechnol* **2012**, *167* (3), 645–661. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9716-6>.
- (4) Sioi, M.; Bolosis, A.; Kostopoulou, E.; Poullos, I. Photocatalytic Treatment of Colored Wastewater from Medical Laboratories: Photocatalytic Oxidation of Hematoxylin. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* **2006**, *184* (1), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2006.03.028>.
- (5) Tkaczyk, A.; Mitrowska, K. Occurrence and Ecotoxicological Risk Assessment of Pharmacologically Active Dyes in the Environmental Water of Poland. *Chemosphere* **2023**, *313* (137432). <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.137432>.
- (6) Tkaczyk, A.; Mitrowska, K.; Błądek, T. Quantification of Twenty Pharmacologically Active Dyes in Water Samples Using UPLC-MS/MS. *Heliyon* **2022**, *8* (4), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09331>.
- (7) Carrillo, J. B. F.; Hernández, M. F.; Segura, L. Tecnologías Microbianas de Remoción de Colorantes Azoicos En La Industria Textil. *RD-ICUAP* **2021**, *7* (20), 186–201.
- (8) Quintero, M. Tratamiento Primario de Aguas Residuales No Domésticas Provenientes de La Pontificia Universidad Javeriana Mediante El Uso de Tanino Modificado de Acacia, Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias, Bogotá, 2018. <https://core.ac.uk/download/pdf/162568974.pdf> (accessed 2023-01-16).
- (9) Medina, G. Evaluación Del Porcentaje de Remoción de Colorante Negro Reactivo 5, En Aguas Residuales Del Curtido de Pieles, Utilizando 2 Hongos Lignolíticos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2018. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10547> (accessed 2023-01-16).

- (10) Bojalil, J.; Hernández, M.; Segura, R. Tecnologías Microbianas de Remoción de Colorantes Azoicos En La Industria Textil. *RD-ICUAP* **2021**, 7 (20), 186–201.
- (11) Schuetze, A.; Heberer, T.; Juergensen, S. Occurrence of Residues of the Veterinary Drug Malachite Green in Eels Caught Downstream from Municipal Sewage Treatment Plants. *Chemosphere* **2008**, 72 (11), 1664–1670. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.05.036>.
- (12) Dantas, S.; Teixeira, G.; Ferrari, J.; Ruy, L.; Trindade, R.; Carmello, V. D. O. Adsorção Do Corante Verde de Malaquita Utilizando Casca de Banana e Sabugo de Milho Como Adsorvente. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação* **2021**, 5 (2), 124–139. <https://doi.org/10.18554/rbcti.v5i2.3839>.
- (13) Llanes, M.; Pérez, G.; Mesa, Z. Colorantes Más Usados En El Estudio de Estructuras Tisulares. *In cibamanz2021* **2021**.
- (14) Oladoye, P.; Ajiboye, T.; Omotola, E.; Oyewola, O. Methylene Blue Dye: Toxicity and Potential Elimination Technology from Wastewater. *Results in Engineering* **2022**, 16 (100678), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100678>.
- (15) Corrales, L.; Caycedo, L. Principios Físicoquímicos de Los Colorantes Utilizados En Microbiología. *NOVA: Publicación Científica en Ciencias Biomédicas* **2020**, 18 (33), 73–100. <https://doi.org/10.22490/24629448.3701>.
- (16) Iannacone, J.; Alvariño, L. Ecotoxicidad Acuática de Dos Colorantes y de Tres Antiparasitarios de Importancia En Acuicultura En Daphnia Magna. *Ecol. Apl.* **2007**, 6 (1), 1–10. <https://doi.org/10.21704/rea.v6i1-2.346>.
- (17) Barba, N.; Naranjo, R. Cuantificación Espectrofotométrica UV-VIS de Tartrazina E102 En Bebidas Refrescantes No Carbonatadas Sabor a Naranja En Supermercados de La Ciudad de Guayaquil, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2022. www.fcq.ug.edu.ec (accessed 2023-01-16).
- (18) Mena, R. Determinación de Colorantes Alimentarios Sintéticos En Alimentos Mediante HPLC/MS, Universidad de Jaén, 2019. https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/10439/1/TFG_Mena_Aranda_Roberto.pdf (accessed 2023-01-16).
- (19) Bolaños, K.; Nagles, E.; Arancibia, V.; Otiniano, M.; Leiva, Y.; Mariño, A.; Scarpetta, L. Optimizing Adsorption Voltammetric Technique (Adsv) in Determining of Amaranth on Carbon Printed Electrodes. Effect of Surfactants on Sensitivity. *Rev Soc Quím Perú* **2014**, 80 (2), 115–123.

- (20) Vilasó, J.; Arada, M. de los Á.; Arce, J.; Baeza, J. Study of the Potential Sweeps in the Manual Staircase Voltammetry. *Rev. Cubana Quím.* **2020**, *32* (2), 287–297.
- (21) Wang, S.; Boyjoo, Y.; Choueib, A. A Comparative Study of Dye Removal Using Fly Ash Treated by Different Methods. *Chemosphere* **2005**, *60* (10), 1401–1407. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.091>.
- (22) Hernández, D.; Puentes, C.; Mateus, J.; Pedroza, L.; Ramírez, J.; Rivera, C.; Pedroza, A. Evaluación Del Consorcio Entre *Pleurotus Ostreatus*, *Trametes Versicolor* y Bacterias Aeróbicas Para Remoción de Colorantes Sintéticos. *Rev Colomb Biotecnol* **2020**, *22* (1), 45–59. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.82735>.
- (23) Barrios, L.; Gaviria, L.; Agudelo, E.; Cardona, S. Estudio de La Toxicidad Asociada al Vertimiento de Aguas Residuales Con Presencia de Colorantes y Pigmentos En El Área Metropolitana Del Valle de Aburrá. *Revista EIA* **2017**, *13* (26), 61–74. <https://doi.org/10.24050/reia.v13i26.742>.
- (24) Castellar, G.; Angulo, E.; Zambrano, A.; Charris, D. Equilibrio de Adsorción Del Colorante Azul de Metileno Sobre Carbón Activado. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* **2013**, *16* (1), 263–271. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.882>.
- (25) Srivastava, S.; Sinha, R.; Roy, D. Toxicological Effects of Malachite Green. *Aquat. Toxicol.* **2004**, *66* (3), 319–329. <https://doi.org/10.1016/J.AQUATOX.2003.09.008>.
- (26) Culp, S.; Beland, F.; Heflich, R.; Benson, R.; Blankenship, L.; Webb, P.; Mellick, P.; Trotter, R.; Shelton, S.; Greenlees, K.; Manjanatha, M. Mutagenicity and Carcinogenicity in Relation to DNA Adduct Formation in Rats Fed Leucomalachite Green. *Mutat. Res.* **2002**, *506–507*, 55–63. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(02\)00152-5](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00152-5).
- (27) Thompson, H.; Rushing, L.; Gehring, T.; Lochmann, R. Persistence of Gentian Violet and Leucogentian Violet in Channel Catfish (*Ictalurus Punctatus*) Muscle after Water-Borne Exposure. *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.* **1999**, *723* (1–2), 287–291. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(98\)00536-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(98)00536-2).
- (28) Garbisu, C.; Amézaga, I.; Alkorta, I. Biorremediación y Ecología. *Ecosistemas* **2002**, *XI* (3), 1–2.
- (29) Ramírez, A.; Giraldo, S.; Flórez, E.; Acelas, N. Preparación de Carbón Activado a Partir de Residuos de Palma de Aceite y Su Aplicación Para La Remoción de

- Colorantes. *Rev. colomb. quím.* **2017**, *46* (1), 33–41. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n1.62851>.
- (30) Jaramillo, A.; Echavarría, A.; Hormaza, A. Diseño Box-Behnken Para La Optimización de La Adsorción Del Colorante Azul Ácido Sobre Residuos de Flores. *Ing. Cienc.* **2013**, *9* (18), 75–91. <https://doi.org/10.17230/ingciecia.9.18.4>.
- (31) Al, R.; Ali, S.; Li, F.; Okasha, K.; Mahmoud, Y.; Elsamahy, T.; Jiao, H.; Fu, Y.; Sun, J. A Critical Review on the Treatment of Dye-Containing Wastewater: Ecotoxicological and Health Concerns of Textile Dyes and Possible Remediation Approaches for Environmental Safety. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2022**, *231* (113160). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>.
- (32) de Luna, L.; da Silva, T.; Nogueira, R.; Kummrow, F.; Umbuzeiro, G. Aquatic Toxicity of Dyes before and after Photo-Fenton Treatment. *J. Hazard. Mater.* **2014**, *276*, 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.047>.
- (33) Marañón, V.; Rizo, L.; Chiu, R. Caracterización de Las Propiedades Ópticas de Betacianinas y Betaxantinas Por Espectroscopía Uv-Vis y Barrido En Z. *Superficies y Vacío* **2011**, *24* (4), 113–120.
- (34) Moreno, A.; Figueroa, D.; Hormaza, A. Diseño Estadístico Para La Remoción Eficiente Del Colorante Rojo 40 Sobre Tusa de Maíz. *Prod. Limpia* **2012**, *7* (2), 9–19.
- (35) Hassaninejad, S.; Torkamanzadeh, M. Simultaneous UV-Vis Spectrophotometric Quantification of Ternary Basic Dye Mixtures by Partial Least Squares and Artificial Neural Networks. *Water Sci. Technol.* **2016**, *74* (10), 2497–2504. <https://doi.org/10.2166/WST.2016.440>.
- (36) Şahin, S.; Demir, C.; Güçer, Ş. Simultaneous UV-Vis Spectrophotometric Determination of Disperse Dyes in Textile Wastewater by Partial Least Squares and Principal Component Regression. *Dyes Pigm.* **2007**, *73* (3), 368–376. <https://doi.org/10.1016/J.DYEPIG.2006.01.045>.
- (37) Chen, M.; Moir, D.; Benoit, F. M.; Kubwabo, C. Purification and Identification of Several Sulphonated Azo Dyes Using Reversed-Phase Preparative High-Performance Liquid Chromatography. *J. Chromatogr. A* **1998**, *825* (1), 37–44. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(98\)00695-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(98)00695-5).
- (38) Holčapek, M.; Jandera, P.; Zderadička, P. High Performance Liquid Chromatography–Mass Spectrometric Analysis of Sulphonated Dyes and

- Intermediates. *J. Chromatogr. A* **2001**, *926* (1), 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)00933-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)00933-5).
- (39) Hu, C.; Zhu, J.; Mei, H.; Shi, H.; Guo, H.; Zhang, G.; Wang, P.; Lu, L.; Zheng, X. A Sensitive HPLC-MS/MS Method for the Analysis of Fiber Dyes. *Forensic Chemistry* **2018**, *11*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.FORC.2018.08.001>.
- (40) Sotomayor, R. Extraction and Quantification of Anthocyanins from the Grain of Zea Mays L. or Purple Corn. *Cienc. Desarro.* **2013**, *16* (1), 69–74. <https://doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2013.v16i1.06>.
- (41) Villada, Y.; Hormaza, A. Simultaneous Analysis of the Removal of Brilliant Blue and Red 40 through Spectrophotometric Derivative. *Ing. Desarro.* **2015**, *33* (1), 38–58. <https://doi.org/10.14482/inde.33.1.5526>.
- (42) Almeida, C.; Debacher, N.; Downs, A.; Cottet, L.; Mello, C. Removal of Methylene Blue from Colored Effluents by Adsorption on Montmorillonite Clay. *J. Colloid Interface Sci.* **2009**, *332* (1), 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.12.012>.
- (43) Ansari, R.; Mosayebzadeh, Z. Removal of Basic Dye Methylene Blue from Aqueous Solutions Using Sawdust and Sawdust Coated with Polypyrrole. *J. Iran. Chem. Soc.* **2010**, *7* (2), 339–350. <https://doi.org/10.1007/bf03246019>.
- (44) Castillo, K. Determinación de Cianuro En Sistemas Acuáticos Aplicando Métodos Instrumentales, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2022. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18654/1/E-12591_CASTILLO%20PONCE%20KATHERINE%20YADIRA.pdf (accessed 2023-01-16).
- (45) Rodríguez, M.; Schenone, A.; Sobrero, M.; Marsili, N. Cuantificación Simultánea de Colorantes En Bebidas Deportivas Utilizando Espectroscopia Visible y PLS–1. *FABICIB* **2014**, *17*, 74–84. <https://doi.org/10.14409/fabicib.v17i0.4310>.
- (46) Arévalo, J. Propuesta de Un Extracto Colorante a Partir de Hibiscus Sabdariffa (Flor de Jamaica) Para Ser Utilizada En La Industria Textil, Universidad de el Salvador, San Sakvador, 2012.
- (47) Aguirre, D.; Diestra, E. Identificación y Cuantificación Del Colorante Artificial Azoico Tartrazina En Alimentos de Consumo Masivo de Loncheras Escolares En El Distrito de San Juan de Lurigancho. Lima. 2018, Universidad Norbert Wiener, Lima, 2022.

- https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/7262/T061_42299856_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 2023-01-16).
- (48) Owen, T. *Fundamentos de La Espectroscopía UV-Visible Moderna*; Copyright Agilent Technologies: Alemania, 2000.
- (49) Belpaire, C.; Reyns, T.; Geeraerts, C.; van Loco, J. Toxic Textile Dyes Accumulate in Wild European Eel *Anguilla Anguilla*. *Chemosphere* **2015**, *138*, 784–791. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.08.007>.
- (50) Bharagava, R.; Mani, S.; Mulla, S.; Saratale, G. Degradation and Decolourization Potential of an Ligninolytic Enzyme Producing *Aeromonas Hydrophila* for Crystal Violet Dye and Its Phytotoxicity Evaluation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2018**, *156*, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.012>.
- (51) Iannacone, J.; Caballero, C.; Relltería, J. A. La Técnica de Precoloración de Walker Para Evaluar *Plasmodium Vivax* Grassi y *Plasmodium Malariae* Laveran En Comunidades Asháninkas En Satipo (Junín, Perú). *Rev Peru Biol* **1999**, *6* (2), 171–180. <https://doi.org/10.15381/rpb.v6i2.8312>.
- (52) Gallego, C. C. E. R. A. Estudio de Los Efectos Ecotoxicológicos de Los Colorantes En Diferentes Organismos Acuáticos. *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era* **2022**, 336–346.
- (53) Carrillo, Y.; Herrera, J. Remoción de Azul de Metileno de Cuerpos de Agua Utilizando Nanopartículas Magnéticas Fe₃O₄ y Carbón Activado, Universidad Católica de Colombia, 2019.
- (54) Ticona, K.; Tola, J. Evaluación Del Proceso de Fotocatálisis Heterogénea Con Tio₂ Para La Degradación de Azul de Metileno de Los Efluentes de La Industria Textil En Arequipa, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Arequipa, 2021. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3014722> (accessed 2023-01-16).
- (55) Li, H. X.; Xu, B.; Tang, L.; Zhang, J. H.; Mao, Z. G. Reductive Decolorization of Indigo Carmine Dye with *Bacillus* Sp. MZS10. *Int. Biodeterior. Biodegradation* **2015**, *103*, 30–37. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2015.04.007>.
- (56) Paz, A.; Carballo, J.; Pérez, M. J.; Domínguez, J. Biological Treatment of Model Dyes and Textile Wastewaters. *Chemosphere* **2017**, *181*, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.046>.