

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
Facultades de Ingenierías

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial



Informe de Investigación

Título

“Eliminación del color del tinte de cochinilla mediante chorro de descarga de plasma a presión atmosférica”

PRESENTADO POR:

Mag. Arturo Quispe (UNAMBA)

Dr. Justiniano Quispe Marcatoma (UNMSM)

Mag. Luis Fernando Pérez Falcón (UNAMBA)

Abancay, Perú

2024



ÍNDICE

Resumen	VI
Introducción	1
Capítulo I	2
Planteamiento del Problema	2
1.1 Motivación	2
1.2 Antecedentes	2
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Justificación de la investigación	3
Capítulo II	4
Objetivos e hipótesis	4
2.1 Objetivos de la investigación	4
2.1.1 Objetivos generales	5
2.1.2 Objetivos específicos	5
2.2 Hipòtesis general	6
2.2.1 Hipotesis específicos	6
Capítulo III	7
Marco Teórico Conceptual.....	7
3.1 Antecedentes	8
3.2 Marco referencial	11
3.2.1 Introduccion	12
3.2.2 Fundamentos de Fisisca de plasma y metodos para su generacion	13
3.3 Colorante natural de cochinilla	16
3.3.1 Colorantes naturales	16
3.3.2 Colorante de cochinilla	17
3.4 Espectroscopia de emision optica (OES)	17



3.5 Marco Conceptual	17
Capítulo IV.....	18
Metodología.....	18
4.1 Tipo y nivel de investigación	19
4.2 Diseño de la investigación.....	19
4.3 Población y muestra.....	20
4.4 Técnicas e instrumentos.....	21
4.5 Análisis estadístico	21
Capítulo V.....	22
Resultados y Discusión	22
5.1 Análisis de la composición del plasma	22
5.2 Efectos del tratamiento de plasma sobre el pH y la conductividad eléctrica	24
5.3 Medición de la concentración de nitritos, nitratos y su papel en el proceso de decoloración de colorante	27
5.4 Análisis de espectro UV-Visible.....	28
5.5 Cinética de degradación de colorante de cochinilla.	29
Conclusiones.....	30
Recomendaciones.....	31
Referencia Bibliográfica	32



LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Clasificación típica de plasma	10
Tabla 3. Varios métodos de descarga eléctrica para la generación de plasma no térmico.....	11
Tabla 4. Técnicas e instrumentos	21
Tabla 5. Concentración de nitratos y nitritos	25
Tabla 6. Parámetros de modelo cinético de primer orden.....	28



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rúbrica de espectro molecular	14
Figura 2. Esquema de proceso de emisión de fotón.....	15
Figura 3. Dibujo esquemático de un sistema de monocromador óptico para el análisis de la fotoemisión de un plasma	16
Figura 4. Espectro de líneas de emisión (OES) plasma de aire	23
Figura 5. Cambio de pH y conductividad de colorante debido a la exposición de descarga de APPJ.....	24
Figura 6. Espectros UV-Visible con picos decrecientes con el tiempo de exposición del plasma APPJ	26
Figura 7. Porcentaje de degradación del colorante de cochinilla por descarga de plasma APPJ	27
Figura 8. Cinética de degradación de colorante de cochinilla	28
Figura 9. Descarga de plasma a presión atmosférica sobre solución acuosa de colorante de cochinilla Laboratorio-UNMSM	34
Figura 10. Proceso de hervido de cochinilla para homogenizar la solución acuosa- Laboratorio - UNMSM	35
Figura 11. Proceso de hervido de cochinilla Laboratorio-UNMSM	35
Figura 12. Medida de espectroscopia UV-Visible Laboratorio- UNAMBA	36

RESUMEN

El uso excesivo de tintes en diversas industrias ha provocado contaminación ambiental, provocando la contaminación de los cuerpos de agua. Para prevenir la contaminación ambiental, es crucial el uso de tintes ecológicos y procesos innovadores para la degradación de tintes. Este estudio tuvo como objetivo investigar el proceso de eliminación del color del tinte de cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) utilizando la técnica de descarga de plasma a presión atmosférica (APPJ: Jet de Plasma a Presión Atmosférica). El tinte extraído del insecto de la cochinilla fue tratado con APPJ y se analizó el proceso de eliminación de color resultante. Se utilizó espectroscopía de emisión óptica (OES) para investigar las líneas de emisión de plasma y espectroscopía UV-Vis para monitorear el proceso de eliminación de color. Los resultados revelaron que la decoloración del tinte de cochinilla fue resultado de un proceso de degradación oxidativa producido por la interacción de las especies reactivas (NO_3^- y NO_2^-) generadas por la descarga de plasma de APPJ con las moléculas del tinte. Este proceso de eliminación de color ocurre en un medio ácido, lo que lleva a un cambio de pH de 5.4 a 2.7. Estos cambios de pH pueden atribuirse a fluctuaciones en las concentraciones de especies reactivas como nitratos y nitritos en la fase líquida. Las mediciones de espectroscopía UV-Vis mostraron que el 90% del color de la cochinilla fue eliminado en los primeros 10 minutos de tratamiento. Este estudio mejora nuestra comprensión de la eliminación natural de color y proporciona información sobre su mecanismo, abriendo posibilidades para modificaciones controladas y aplicaciones en diversos campos.

Palabras clave: degradación oxidativa; tinte de cochinilla; técnica APPJ



ABSTRACT

The extensive utilization of dyes across diverse industries has resulted in environmental pollution, leading to the degradation of water bodies. To prevent environmental contamination, the use of eco-friendly dyes and innovative processes for dye degradation is crucial. This study aimed to investigate the color removal process of cochineal dye (*Dactylopius coccus* Costa) using the atmospheric pressure plasma jet (APPJ: Atmospheric Pressure Plasma Jet) technique. The dye extracted from the cochineal insect was treated with APPJ and the resulting color removal process was analyzed. Optical emission spectroscopy (OES) was used to investigate the plasma emission lines, and UV-Vis spectroscopy was used to monitor the color removal process. The results revealed that the decolorization of cochineal dye was a result of an oxidative degradation process caused by the interaction of the reactive species (NO_3^- and NO_2^-) generated by the APPJ plasma discharge with the dye molecules. This color removal process occurs in an acidic medium, leading to a pH change from 5.4 to 2.7. These pH changes can be attributed to fluctuations in the concentrations of reactive species such as nitrates and nitrites in the liquid phase. UV-Vis spectroscopy measurements showed that 90% of the cochineal color was removed within the first 10 min of treatment. This study enhances our understanding of natural color removal and provides insights into its mechanism, opening up possibilities for controlled modification and applications in various fields.

Keywords: oxidative degradation; cochineal dye; APPJ technique



INTRODUCCION

El uso del tinte de cochinilla ha sido ampliamente difundido en varias industrias, como la farmacéutica, la industria alimentaria, la industria textil, entre otras, debido a su intenso color rojo. Sin embargo, la eliminación y decoloración de este tinte en la industria textil ha resultado ser un desafío debido a su fuerte fijación y resistencia a los métodos de limpieza convencionales. En este estudio, se investiga la eficacia del tratamiento con chorro de plasma a presión atmosférica para eliminar el tinte de cochinilla de diferentes sustratos y medios. En el primer capítulo se plantea el problema, en el segundo se establecen los objetivos e hipótesis de trabajo, en el tercero se desarrolla el marco teórico conceptual, en el cuarto se detalla la metodología, y en el último se presentan los resultados y se discuten los hallazgos, lo que permitirá llegar a una conclusión sobre la eficacia del tratamiento con chorro de plasma para la decoloración y degradación del tinte de cochinilla. Este estudio tiene como objetivo ofrecer información valiosa sobre las posibles aplicaciones del plasma a presión atmosférica en la eliminación de tintes persistentes en diversas industrias.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El uso excesivo de colorantes en diversas industrias ha resultado en la contaminación ambiental, provocando la contaminación de los cuerpos de agua. Para prevenir la contaminación ambiental, es crucial el uso de colorantes ecológicos y procesos innovadores para la degradación de colorantes. Este estudio investigó el proceso de eliminación del colorante de cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) utilizando la técnica de chorro de descarga de plasma a presión atmosférica (APPJ: Atmospheric Pressure Plasma Jet). Los resultados de esta investigación pueden ser de gran interés para la comunidad científica y para aquellos que trabajan en el tratamiento de aguas residuales, ya que podrían contribuir a mejorar las prácticas actuales y a desarrollar tecnologías más sostenibles.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el impacto de la descarga de plasma a presión atmosférica en la eficacia de eliminación del color del tinte de cochinilla utilizado en la industria textil, considerando la viabilidad de este método para reducir la contaminación ambiental y mejorar la sostenibilidad de los procesos de tratamiento de aguas residuales textiles?

1.2.2 Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es el impacto del tiempo de exposición al chorro de plasma en la eficacia de eliminación del color del tinte de cochinilla?

- ✓ ¿Cuál es la eficacia de la degradación de los residuos de colorantes de cochinilla al interactuar con el plasma en términos de eliminación de elementos tóxicos y metales pesados?.
- ✓ ¿Cuáles son los desafíos y limitaciones que se presentan al implementar tintes ecológicos y procesos innovadores para la degradación de tintes en la industria?

1.3 Justificación de la investigación

La justificación de la investigación sobre la decoloración de colorantes de cochinilla mediante descarga de plasma a presión atmosférica radica en la necesidad de encontrar alternativas sostenibles y eficientes para la industria textil artesanal en las zonas con basta afluencia de turismo como las regiones de Cusco, Puno, entre otras.

La aplicación de plasma a estos residuos de colorantes textiles a base de cochinilla podría representar una solución innovadora y respetuosa con el medio ambiente para tratar estos desechos. La degradación de estos tintes a través de plasma a presión atmosférica puede permitir la reducción en la contaminación generada por la industria textil, contribuyendo así a la conservación del entorno natural y a la promoción de prácticas más amigables con el medio ambiente.

Además, la investigación en este campo puede abrir nuevas oportunidades para el desarrollo de tecnologías limpias y sostenibles en el sector textil artesanal, promoviendo la innovación y el avance científico en la región de Apurímac por ser la principal proveedora de materia prima como la cochinilla y fibras de lana y alpaca. Por lo tanto, la investigación sobre la decoloración de colorantes de cochinilla mediante descarga de plasma a presión atmosférica se justifica por su potencial impacto positivo en la industria textil, en el medio ambiente y en la sociedad en general.

CAPITULO II

OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la eficacia del proceso de descarga de plasma a presión atmosférica en la eliminación del color del tinte de cochinilla utilizado en la industria textil, evaluando su impacto en la reducción de la contaminación ambiental y en el mejoramiento de la sostenibilidad de los procesos de tratamiento de aguas residuales textiles.

2.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Establecer la relación entre el tiempo de exposición al chorro de plasma y la eficacia en la eliminación del color del tinte de cochinilla, considerando diferentes intervalos de tiempo y su impacto en la decoloración.
- ✓ Evaluar la eficacia de la degradación de residuos de colorantes de cochinilla al interactuar con el plasma en términos de eliminación de colorante, analizando la capacidad del plasma para descomponer estos componentes nocivos en los tintes.
- ✓ Investigar y analizar los desafíos y limitaciones que se presentan al implementar tintes ecológicos y procesos innovadores para la degradación de tintes en la industria, identificando obstáculos técnicos, económicos o regulatorios que puedan dificultar la adopción de estas prácticas más sostenibles.

2.2 Hipótesis de la investigación



2.2.1 Hipótesis general

El uso de plasma a presión atmosférica (APPJ) tiene un alto potencial para la eliminación del color en diversos tipos de tintes utilizados en aplicaciones industriales

2.2.2 Hipótesis específicas

- ✓ Mayor tiempo de exposición permitirá al plasma descomponer de manera más efectiva los componentes del colorante, logrando una eliminación más completa del color.
- ✓ La acción del plasma será fundamental para la eliminación efectiva del colorante de cochinilla, contribuyendo así a reducir la presencia de elementos como la coloración en la industria textil.
- ✓ Identificar y comprender los obstáculos existentes será fundamental para superar las barreras que limitan la adopción de procesos más amigables con el medio ambiente en la industria.



2.3 Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Variable independiente: Uso de chorro de descarga de plasma a presión atmosférica	Aplicación de tecnología de plasma para tratamiento de tejidos	Número de veces que se utiliza el chorro de descarga de plasma durante el proceso de eliminación del color del tinte de cochinilla	Frecuencia	Frecuencia de aplicación del chorro de descarga de plasma	Escala ordinal
Variable dependiente: Eliminación del color del tinte de cochinilla	Proceso de reducción del color del tinte de cochinilla en un material	Porcentaje de reducción del color del tinte de cochinilla después del tratamiento con chorro de descarga de plasma	Intensidad	Porcentaje de color eliminado	Escala de intervalo

Tabla 1. Operacionalización de variables

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

En la industria textil los residuos de teñido se tratan por procesos biológicos (biodegradación, enzimático, etc.) (Mojsov et al., 2016), procesos físicos (tratamiento de plasma, adsorción, filtración de membrana, aplicación de radiación de ondas de ultrasonido, nano-partículas, etc.) (Ahmad et al., 2015) procesos químicos (oxidación, electroquímico, etc.) (Vineta et al., 2014). Entre los procesos Físicos la aplicación de plasma a presión atmosférica actualmente es un área de investigación en rápido crecimiento tecnológico, en distintas áreas de las ciencias como: la medicina (tratamiento del cáncer, etc.) (Tanaka & Hori, 2017), la remediación ambiental (descontaminación de residuos, etc.), control de contaminantes (degradación de contaminantes, etc.), la biotecnología, procesamiento de materiales (fabricación de nuevos materiales, etc.), la electroquímica, la nanotecnología y otros campos de las ciencias.

Diversas publicaciones científicas han obtenido resultados alentadores sobre la aplicación de plasma no térmico a presión atmosférica (APPJ) en la degradación y decoloración de residuos textiles sintéticos (azul de metileno, etc.) y residuos orgánicos (tejidos antiguos a base de cochinilla, decoloración de acuarela, etc.), cuyas conclusiones más importantes se detalla a continuación (Chandana et al., 2015).

Garcia investigó la degradación de azul de metileno en una solución acuosa (agua, etc.), utilizando plasma de micro-onda no térmico (presión atmosférica). Se utilizó como gas de trabajo argón (Ar), se aplicaron la descarga de plasma a diferentes concentraciones de colorante (azul de metileno), la exposición fue de manera remota (distancia boquilla y muestra puede variar). La eficacia de degradación del colorante aumento a medida que la concentración de azul de



metileno disminuyó de 250 a 5 ppm. Igualmente, el azul de metileno se degrada después de diferentes tiempos (mayor tiempo de degradación produce mayor decoloración) de exposición (García et al. 2017).

Wu, investigó la degradación de azul de metileno, usando la configuración de equipo descarga de barrera dieléctrica (DBD), se utilizó como gas de trabajo aire, se genera plasma en un reactor, se propaga una solución de azul de metileno a través de una placa difusora donde se generan especies reactivas que interactúan con las partículas del tinte y las especies altamente reactivas producidas por la descarga de plasma que al ser inestables reaccionan para recuperar su estado de equilibrio (reacciones químicas) como consecuencia generan la degradación. Se examinaron los efectos de la velocidad de flujo de aire, la concentración inicial de azul de metileno, el pH, y la conductividad de la solución en la degradación del azul de metileno (Wu et al. 2019).

Sajed empleó descarga de plasma no térmico (atmosférico), a las fibras de lana para modificar las propiedades físicas y químicas del sustrato (fibra de lana), debido a la repulsión (potencial negativo) entre las partículas del tinte y sustrato, no es posible teñir la fibra de lana con tinte de cochinilla por proceso térmico, el tratamiento de plasma de la fibra de lana modifica las propiedades físicas de la fibra haciendo posible el teñido de tinte con fibra de lana sin fijadores o mordientes (alumbre, sal de limón, vinagre, etc.), por tratamiento térmico. Se utilizaron técnicas de FESEM, EDX, FM y FTIR para investigar los efectos de los tratamientos sobre las propiedades físicas y químicas del sustrato (lana), la rugosidad de la superficie de la fibra de lana aumentó después del tratamiento con plasma lo que se confirmó con imágenes de FESEM y AFM (Sajed et al. 2018).

Sepúlveda utilizando la técnica de SERS sobre muestras de textiles arqueológicas de la región norte de Chile teñidas con tinte de cochinilla para determinar los componentes de la cochinilla. Este análisis se realizó mediante un experimento realizado *in situ* (sin realizar extracción del material). El análisis espectroscópico (SERS) de los textiles arqueológicos reveló la presencia de bandas atribuidas a ácido carmínico y nucleobases, principalmente adenina y guanina. La identificación de estas bio-moléculas también se verificó en extracto crudo de cochinilla. También se probó el efecto de aluminio (Al) en la formación de complejos con ácido carmínico y otras biomoléculas. En particular, el residuo de



guanina parece interactuar fuertemente con el metal. Los resultados del presente trabajo de investigación son de gran utilidad para la identificación de diferentes moléculas y complejos metálicos que posiblemente sean parte del tinte cochinilla encontrado en los textiles arqueológicos (Sepúlveda et al. 2021).

3.2. Marco referencial/ Bases teóricas

3.2.1. Introducción

Irving Langmuir utilizó por primera vez el término "plasma" en 1927 para describir un gas ionizado. Las primeras aplicaciones de la tecnología de plasma se desarrollaron principalmente en el campo de la ingeniería (fusión nuclear y grabado con plasma). Sin embargo, durante las dos últimas décadas, se ha producido una gran cantidad de patentes y artículos científicos que describen las múltiples aplicaciones de la descarga de plasma entre estos tenemos la decoloración (degradación y degradación de metales pesados) de tintes sintéticos y orgánicos. El conocimiento acumulado hasta el momento ha permitido mejoras en la eficiencia del proceso de decoloración y tratamiento de metales pesados usando tecnología de plasma y una creciente conciencia de su utilidad potencial (Sakudo et al., 2019).

3.2.2. Fundamentos de Física de plasma y métodos para su generación

La materia comúnmente se encuentra en tres estados que son: sólido, líquido y gas. Cuando un sólido se calienta, se transforma en líquido y luego de líquido a gas. Si se sigue aplicando suficiente energía al gas, se convierte en un gas ionizado conocido como plasma, que representa el cuarto estado fundamental de la materia. El plasma contiene especies químicas reactivas (muy inestables) como electrones, iones, moléculas neutras y átomos, así como especies cargadas. Además, como producto se obtiene la emisión de radiación que se produce en las regiones ultravioleta (UV-Visible) e infrarroja cercano durante el proceso de generación del plasma (Fridman, 2008).

Los diferentes tipos de estado plasmático pueden ser clasificados según la temperatura que alcanza (Tabla 1). En un plasma de altas temperaturas, que es un plasma completamente ionizado, la temperatura de los electrones T_e y



los iones $T_{ión}$ son iguales, por lo que están en equilibrio térmico entre sí por colisión debido al movimiento térmico. La temperatura del gas T_{gas} del plasma es alta por lo tanto el plasma térmico es demasiado alto para el tratamiento de organismos vivos (material orgánico). Por otro lado, plasma no térmico, que comprende plasmas parcialmente ionizados, la temperatura de los electrones T_e es mucho mayor que la de los iones $T_{ión}$. La transferencia de la energía cinética mediante colisión entre electrones (partículas ligeras) e iones o partículas neutras (partículas pesadas) tiende a ser muy lenta por colisión elástica, pero las colisiones electrón-electrón alcanzan fácilmente el equilibrio termodinámico. Por lo tanto, la temperatura del gas ionizado se mantiene a la temperatura ambiente (plasma frío). Como resultado, la temperatura del gas del plasma no térmico se mantiene baja, lo que lo hace adecuado para aplicaciones biológicas (material orgánico) (Taylor & Pirzada, 1994).

Classification	Temperature [K]	Electron Density [m ⁻³]	Discharge Type	Examples
High-temperature plasma (Equilibrium plasma)	$T_e \approx T_{ion} \approx T_{gas} = 10^6-10^8$	$n_e \geq 10^{20}$	Laser fusion Tokamak	Fusion plasma for energy
Thermal plasma (Quasi-equilibrium plasma)	$T_e \approx T_{ion} \approx T_n \approx T_{gas} \leq 2 \times 10^4$	$n_e \geq 10^{20}$	Arc plasma, Plasma torch, Radio-frequency (RF) Plasma, Microwave plasma etc.	Radiation, welding and cutting, Waste treatment, Material processing, etc.
Non-thermal plasma (Non-equilibrium plasma)	$T_e \geq T_{ion} \geq T_n \approx T_{gas} = 300-1000$	$n_e \approx 10^{10}$	Glow discharge, Corona discharge, atmospheric pressure plasma jet (APPJ), dielectric barrier discharge (DBD), micro-hollow cathode discharge (MHCD), Plasma needle, Low-pressure plasma etc.	Ozonizer, Plasma medicine, Volatile organic compound (VOC) treatment, Plasma agriculture, Surface modifications (coating, etching, activation, cleaning, nitration, etc.), Illumination (plasma screen, fluorescent lamps, etc.)

T_e = electron temperature, T_{ion} = ion temperature, T_{gas} = gas temperature, n_e = electron density.

Tabla 2. Clasificación típica de plasma (Taylor & Pirzada, 1994)

Los métodos de descarga eléctrica para producir el plasma no térmico comúnmente utilizados para aplicaciones biológicas (material orgánico) se clasifican de la siguiente forma: descarga luminiscente, descarga de corona, chorro de plasma a presión atmosférica (APPJ), descarga de barrera dieléctrica (DBD), descarga de cátodo micro-hueco (MHCD), descarga de corriente continua DC, descarga de pulso o descarga de alta/baja frecuencia (Tabla 3).



El tipo de descarga depende de la frecuencia de la fuente de alimentación, como descarga de corriente continua (DC) y corriente alterna (AC), así como de la presión del gas ambiental, como plasma a baja presión y a presión atmosférica, y la forma precisa y configuración de los electrodos. Además, la forma de onda también puede afectar el tipo de descarga. Se pueden usar diferentes tipos de plasma en varios campos biológicos, incluida, la degradación, desinfección, esterilización etc. (Fridman, 2008).

Discharge Type *	Representative Conditions (V, A, Freq, Gas)	Pressure	Gas Temperature	Application	References
Direct current (DC) corona discharge	5–30 kV direct current (DC) (positive and negative); 10–250 μ A; dry or wet; O ₂ , N ₂ , Ar, He at 10 L/min	1 atm	Room temperature	Biomedical applications	
Atmospheric pressure plasma jet (APPJ) microwave	P = 2.5 W; 2.45 GHz; He/O ₂ /N ₂ at 2.0/1.2/1.5 L/min	1 atm	Max. 50.8 °C on a dentin surface; 20 °C on an agar surface	Biomedical applications	
Dielectric barrier discharge (DBD) (Flexible sheet-type)	\pm 2.5 kV; 5 kHz; air, humidity 64.4%	1 atm	Approximately 50 °C	Biomedical applications	
Micro-hollow cathode discharge (MHCD) jet	1.5–2.5 kV DC; 20 mA; air (0.1–8 L/min)	>1 atm	Room temperature (220 mL/min); >55 °C (5 mm from nozzle, 220 mL/min)	Medical applications	
Pin-to-hole spark discharge (PHD) plasma	4 kV DC; average \sim 1.8 J/pulse	1 atm	9030 \pm 320 K (by Boltzmann calculation)	Medical applications (wound healing)	

Tabla 3. Varios métodos de descarga eléctrica para la generación de plasma no térmico (Fridman, 2008).

El plasma no térmico es fácil de obtener en condiciones de baja presión debido a que las colisiones entre electrones, iones y moléculas neutras ocurren con poca frecuencia. El plasma de baja presión se puede generar mediante un voltaje de ruptura bajo en una cámara de vacío evacuada con una bomba de vacío. Los sistemas de plasma de baja presión son importantes para la fabricación de componentes semiconductores. Además, la investigación sobre sistemas de plasma de baja presión también se ha centrado en la descontaminación y esterilización de dispositivos médicos. Debido a que el plasma a baja presión genera altas concentraciones de especies reactivas (cationes, aniones, etc.) con un plasma incandescente uniforme, también



implica altos costos de mantenimiento debido a la necesidad de un sistema de vacío. El plasma a presión atmosférica requiere un alto voltaje y una temperatura relativamente alta debido a las frecuentes colisiones entre electrones e iones que acompañan a la alta densidad de partículas (Fridman, 2008). Sin embargo, es posible generar plasma en condiciones no térmicas usando una descarga de pulso y APPJ, DBD y descarga de barrera de electrodo flotante (FE-DBD) o MHCD. Estas condiciones no térmicas permiten aplicaciones que involucran la exposición del plasma con material biológico (orgánico) así como tejidos como la piel (Teschke et al., 2005).

De manera similar, el plasma no térmico se puede usar para desinfectar productos agrícolas y dispositivos médicos, con un impacto relativamente pequeño en su estructura (química e biológica). Entre ellas podemos mencionar los tratamientos mediante soluciones tratadas con plasma (H₂O, etc.), conocidas como “agua activada por plasma (PAW)”, “medio activado por plasma (PAM)”, “medio estimulado por plasma (PSM)”, “agua tratada con plasma (PTW)”, “solución salina tamponada con fosfato tratada con plasma (pPBS)”. Los componentes de estas soluciones reaccionan con las muestras y actúan como desinfectantes o agentes anticancerígenos. En los casos en que las muestras están en contacto con la masa de plasma en el área de descarga, los componentes del plasma, como la radiación UV y las especies químicas reactivas, interactúan directamente con las muestras. Por lo tanto, las especies químicas reactivas de vida corta, como las especies reactivas de oxígeno (ROS) y las especies reactivas de nitrógeno (RNS), interactúan químicamente (reacciones químicas) con los componentes de la muestra. Por el contrario, en los casos en que la muestra está en contacto con la masa de plasma lejos del área de descarga, la contribución de la radiación UV es significativamente menor. Además, hay una concentración muy reducida de especies químicas reactivas en el área posterior a la descarga debido a su corta vida media a temperatura ambiente (Sakudo et al., 2019).

3.3. Colorante natural cochinilla

3.3.1. Colorante naturales



Los colorantes naturales por su origen se clasifican en (Arroyo Figueroa, 2011) Vegetales, de estos se encuentran los carotenoides, flavonoides, antocianinas, betalainas, clorofilas. Animales, ácido carmínico y ácido Kermésico. Por su estructura los colorantes naturales animales se encuentran entre los pigmentos quinónicos ya que estos compuestos están agrupados en benzoquinonas, naftoquinonas, antraquinonas y quinonas poli-condensadas. Las antraquinonas constituyen el grupo más numeroso de las quinonas naturales. El ácido carmínico conocido químicamente como el compuesto orgánico ácido antraquinon-7-glucopiranosil-3, 5, 6, 8-tetrahidroxi-1-metil-2-carboxílico, cuya fórmula es $C_{22}H_{20}O_{13}$, forma parte del grupo de las antraquinonas (Arroyo Figueroa, 2011). Este ácido se encuentra en las hembras adultas del insecto popularmente llamado grana cochinilla, este nombre se le dio como resultado de una confusión, durante el tiempo de la Colonia, ya que algunos creyeron que era una semilla de un vegetal. En este texto al insecto se le denomina grana carmín (Arroyo Figueroa, 2011)

3.3.2. Colorane cochinilla (*Dactylopius coccus*)

El insecto *Dactylopius Coccus* Costa de la familia de los Cócidos, es conocido con el nombre de "cochinilla" que habita como huésped sobre las pencas de las tunas. De las hembras de cochinilla se obtiene el ácido carmínico y de este ácido se produce el colorante natural llamado carmín. Es originaria del Perú y México. La utilidad industrial de la cochinilla no está debidamente explotada pese a ser Perú el primer productor de cochinilla en el mundo (Arroyo Figueroa, 2011).

3.4 Espectroscopia de emisión óptica (OES)

La emisión óptica de un plasma se produce principalmente a través de la excitación por impacto de electrones de átomos o moléculas a un estado excitado, seguida de una relajación a un estado de menor energía que libera un fotón que contiene una energía igual a la diferencia entre estos dos estados de energía. Por lo tanto, el análisis de la energía del fotón (longitud de onda de la



luz) y la información de emisión espectral de las especies se pueden utilizar para identificar la presencia de especies reactivas generadas por el plasma (Fridman, 2008).

La emisión óptica de átomos es razonablemente sencilla ya que solo pueden ocurrir transiciones de estado electrónico. Por lo tanto, los espectros atómicos tienen picos nítidos, casi monoenergéticos y bien definidos que corresponden a transiciones entre varios estados electrónicos.

Las moléculas, por otra parte, a parte de los estados electrónicos tienen otros estados denominados vibracionales y rotacionales superpuestos a los estados electrónicos. Las pequeñas diferencias de energía entre los estados de vibración y rotación, la ampliación de las energías de emisión provocadas por las colisiones y el movimiento de las moléculas emisoras hacen que la emisión de energía se superponga y forme bandas en lugar de picos de emisión agudos en frecuencias fácilmente identificables. Por lo general, se observa un pico de banda nítida, como se muestra en la Fig. 19, se deben al hecho de que el estado superior está más o menos delimitado que los estados inferiores.

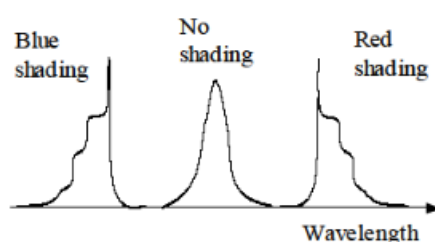


Figura 1. Rúbrica de espectro molecular.

A presiones altas, las colisiones amplían el rango de la energía de emisión, pero dicha ampliación no suele observarse en las descargas de baja presión utilizadas en el procesamiento de plasma. Otros mecanismos de emisión óptica son la quimioluminiscencia en la que el exceso de energía de una reacción química exotérmica emite luz. La emisión también puede producirse por colisiones de iones neutros, productos de pulverización catódica que se liberan en un estado excitado, productos excitados de disociación por impacto de electrones, absorción de fotones y posterior fluorescencia o fosforescencia, relajación por colisión de partículas meta-estables, etc.

En la Figura 2 muestra la excitación por impacto de electrones del estado fundamental del átomo A a un estado excitado A^* , seguida de la emisión posterior a la frecuencia ν a un nivel de energía más bajo $A1$. Las longitudes de onda usuales están en la banda óptica de $\lambda \sim 2000 - 8000\text{\AA}$. La separación de energía típica de las transiciones electrónicas, vibratorias y rotacionales se resume en la Tabla 4 (Chen y Chang 2003).

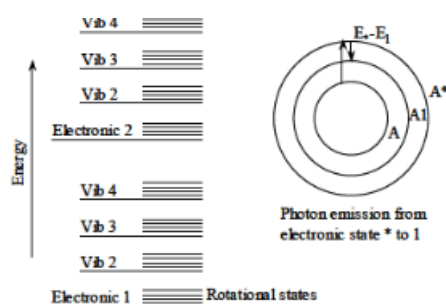


Figura 2. Esquema de proceso de emisión de fotón.

3.4.1. Espectroscopia

La espectroscopia de emisión óptica mide la luz emitida por un plasma en función de la longitud de onda, el tiempo y la ubicación. La velocidad a la que ocurren tales transiciones está determinada por la similitud mecánica cuántica de los estados. Esta similitud conduce a reglas de selección que indican las transiciones permitidas. La energía de los fotones emitidos por el plasma, por lo tanto, es característico de la composición y el estado de energía de las especies dentro del plasma. Los espectros se pueden utilizar para analizar tanto las especies químicas que componen el plasma como su estado de excitación. Debido a que no es intrusivo, es económico y se puede incorporar fácilmente a un reactor de plasma existente, rápidamente gana popularidad en la industria de la microelectrónica para monitorear el procesamiento de plasma. Sin embargo, el gran contenido de información dificulta la interpretación de los espectros. Por esta razón, se usa principalmente como “huella digital”. Como herramienta de investigación y desarrollo, puede ser muy útil para comprender

los procesos básicos dentro del plasma. Puede ser bastante efectivo y cuantitativo si se combina con otras medidas (Fridman 2008).

En la Figura 3 se muestra un esquema del análisis de emisión óptica. Las mediciones de emisión óptica generalmente se realizan a través de una ventana de cuarzo en el reactor de plasma, con un sistema mono-cromador que mide longitudes de onda de emisión entre 200 a 1000 nm mediante la rotación de una rejilla de difracción. Un escaneo típico tomaría del orden de un minuto para este rango de frecuencias.

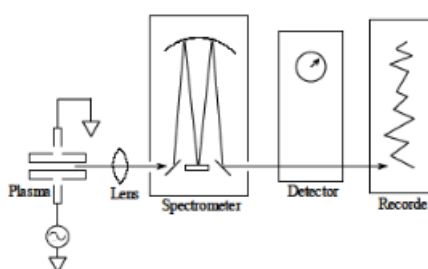


Figura. 3. Dibujo esquemático de un sistema de mono-cromador óptico para el análisis de la fotoemisión de un plasma.

Por lo tanto, se puede monitorear la energía de emisión en función del tiempo durante cada proceso experimental. También hay disponibles analizadores de emisión óptica multicanal, en los que se utilizan detectores de matriz de diodos para recopilar los espectros de un monocromador con una rejilla fija. Esta técnica tiene la ventaja de realizar el escaneo en unos pocos segundos, de modo que se pueden realizar múltiples escaneos durante un ciclo de proceso para caracterizar el comportamiento transitorio del proceso (Fridman 2008).

3.5 Marco Conceptual

De acuerdo a los términos y definiciones mencionadas en el proyecto tenemos.

Adsorción. – La adsorción es la adhesión de átomos, iones o moléculas de un gas, líquido o sólido disuelto a una superficie. Este proceso crea una película de adsorbato en la superficie del adsorbente. Este proceso difiere de la

absorción, en la que un fluido se disuelve o penetra en un líquido o sólido, respectivamente.

Análisis FTIR. – Infrarrojo Transformado de Fourier (FTIR) es una técnica de análisis espectroscópica que utiliza una parte del espectro electromagnético. Concretamente, longitudes de onda entre los 2.500 nanómetros (nm) y los 25.000 nm. Esta es la región del “Infrarrojo Medio” y es por ello que también al FTIR se le conoce como tal. Aunque de forma general la abreviatura FTIR es el nombre de una técnica matemática utilizada para convertir datos numéricos en resultados útiles, también se ha popularizado este término para denominar esta técnica analítica (Erra et al., 1997).

Grupos funcionales. – Un grupo funcional es un átomo o un arreglo de átomos que siempre reaccionan de una forma determinada; además, es la parte de la molécula responsable de su comportamiento químico ya que le confiere propiedades características. Muchos compuestos orgánicos contienen más de un grupo funcional (Yao et al., 2008).

Metales pesados. – Grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo, etc (Lamichhane et al., 2020).

Mordientes o fijadores. – Se aplica a cualquier sustancia de origen natural o sintético que sirve para fijar el colorante en la fibra (Stanciuc, 2020).

pH. – El pH es el Potencial de Hidrógeno. Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución. Con el pH determinamos la concentración de hidrogeniones en una disolución. Un hidrogenión es un ion positivo de Hidrógeno, es un «cachito con carga positiva» del Hidrógeno (Valipour, 2014).



CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación para el estudio sobre la decoloración de colorante de cochinilla mediante descarga de plasma a presión atmosférica es experimental, ya que se busca estudiar de forma controlada el efecto de la descarga de plasma en el colorante.

En cuanto al nivel de investigación es aplicada, debido a que se busca aplicar conocimientos científicos y tecnológicos para desarrollar una solución innovadora y respetuosa con el medio ambiente para tratar los residuos de tintes textiles a base de cochinilla. Además, esta investigación tiene como objetivo contribuir a la reducción de la contaminación generada por la industria textil artesanal, promoviendo así la sostenibilidad ambiental en este sector. De acuerdo a las precisiones de Tejada, (2023) precisa que la investigación aplicada tiene por fundamento resolver problemas que se describieron (Tejada Betancourt, 2023).

4.2 Diseño de la investigación

Para el diseño de la investigación desarrollada en el presente trabajo se siguió el siguiente diseño.

- ✓ **Revisión Bibliográfica:** Esta etapa implica realizar una búsqueda exhaustiva del estado del arte sobre la degradación de residuos de tintes de cochinilla

utilizando plasma a presión atmosférica. Esta revisión bibliográfica ayudará a comprender mejor el contexto actual de la investigación en este campo (Sajed et al., 2018b).

- ✓ **Caracterización de Tintes y Fibras:** En esta etapa, se preparan y caracterizan físico-químicamente los tintes a base de cochinilla. Además, se recolectan y se lleva a cabo la caracterización morfológica y estructural de las fibras que van a ser teñidas. Este paso es crucial para entender las propiedades de los materiales involucrados en el estudio (Arroyo Figueroa et al., 2021).
- ✓ **Ensayos de Teñido y Recolección de Residuos:** Aquí se realizan ensayos de teñido de las fibras con los tintes de cochinilla. También se lleva a cabo la recolección de los residuos generados durante el proceso de teñido. Estos ensayos permiten evaluar cómo interactúan los tintes con las fibras y qué residuos se generan en el proceso (Ghaisani et al., 2019; Vineta et al., 2014b).
- ✓ **Aplicación de Plasma y Evaluación de Resultados:** En esta etapa, se analiza la interacción de los residuos de tintes con el plasma a presión atmosférica. Se evalúa la decoloración y la degradación de los elementos presentes en los tintes. Esto ayudará a determinar la eficacia del tratamiento con plasma en la eliminación de colorantes de cochinilla (Ghaisani et al., 2019; Rashid et al., 2020).

4.3 Población y muestra

Población: La cochinilla, un insecto parásita en la penca de la tuna nopal *Opuntia ficus*, originaria de la región de Apurímac, Perú, a una altura de 2500 msnm.

Muestra: De los productores de la región de Apurímac se seleccionaron 20 comunidades productoras de cochinilla para llevar a cabo el experimento de



eliminación del color con chorro de descarga de plasma a presión atmosférica (Philipps, 2010).

4.4 Técnicas e instrumentos

La técnica e instrumentos utilizados en la investigación se detalla a continuación en el cuadro y esquema mostrada en la figura.

- ✓ Dispositivos de medición (equipo espectroscópico, equipo espectroscopia UV-Visible, equipo múltiple PL700, Microscopio Electrónico de Barrido (MEB), Espectroscopia por dispersión de energía (EDX))
- ✓ Material de vidrio y accesorios para ensayos químicos (vidriería, balanzas, otros).
- ✓ Prueba y análisis de concentración (O_3 , H_2O_2)

-Medición de las líneas espectrales de emisión óptica (OES).	-Equipo espectrómetro AVANTES
-Medición de Absorbancia	-Equipo espectrómetro UV-Visible LIMA S22
-Medición de FTIR	-Espectrómetro FT-IR Nicolet iS10 de Thermo Scientific
-Medición pH, conductividad, temperatura.	- Equipo múltiple PL700
- Análisis morfológico, estructural y elemental de fibras	Microscopio electrónico de barrido (MEB, EDX). Prisma E. ThermoFisher.

Tabla 4. Técnicas e instrumentos.

4.5 Análisis estadístico



Para el análisis de datos y el procesamiento de la información se empleó software ORIGIN Lab y Excel. En particular, el programa ORIGIN Lab. además de ser un programa de análisis de datos, cuenta con herramienta estadística y de modelamiento que permite simular dependencia y comportamiento.



CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de la composición del plasma

La caracterización de las líneas espectrales generadas por la descarga de plasma APPJ utilizando espectroscopia de emisión óptica (OES) muestra que las especies reactivas de oxígeno (ROS) y nitrógeno (RNS) son las responsables de las líneas espectrales de emisión (ver Figura 2). La mayoría de los picos se encuentran en la región UV-cercano, específicamente entre 200-400 nm. Las especies reactivas de nitrógeno (RNS), el segundo sistema positivo $N_2(C - B)$, se forman en longitudes de onda entre 315 y 356 nm, mientras que el primer sistema negativo de N_2^+ se forma en longitudes de onda entre 375 y 391 nm. Asimismo, se identificaron dos picos de oxígeno atómico excitados a 777 nm y 844 nm (Zhou et al., 2018). Además, se observó la emisión de OH a 309 nm. Estos resultados coinciden con investigaciones previas reportado por Sarangapani, empleando una fuente de plasma mediante descarga por barrera dieléctrica (DBD), una variante de APPJ, encontró emisiones similares de N_2, N_2^+, OH y O singlete (Sarangapani et al., 2016). La generación de estas especies reactivas primarias y secundarias generadas en el aire son de fundamental importancia para la generación de las especies terciarias que se generan al interactuar con la disolución del colorante. Por lo tanto, las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y su combinación (RONS) generadas por el plasma APPJ desempeñan un papel crucial en el proceso de degradación y decoloración de tintes y colorantes.

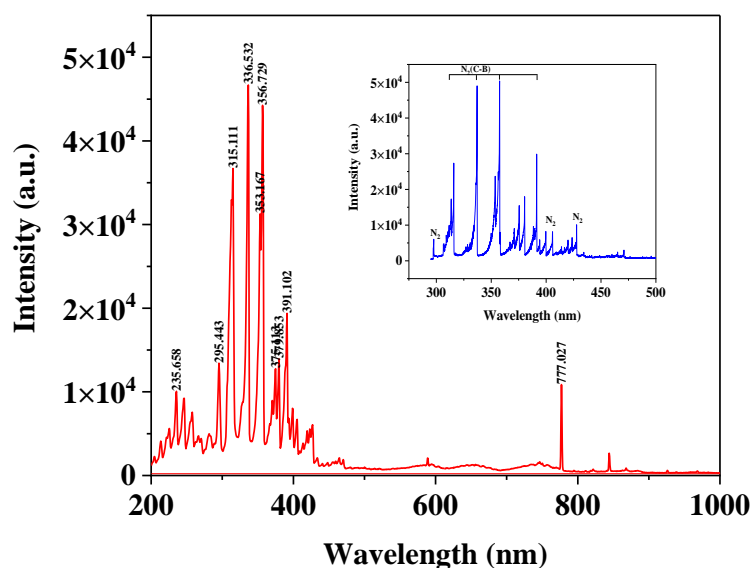
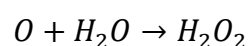
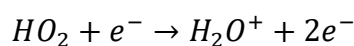
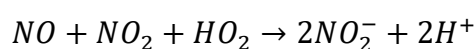
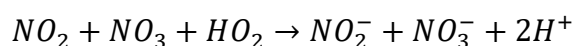


Figura 4. Espectro de líneas de emisión (OES) plasma de aire.

5.2. Efectos del tratamiento de plasma sobre el pH y la conductividad eléctrica durante la degradación del colorante

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la exposición del colorante de cochinilla a la descarga de plasma APPJ provoca una disminución exponencial del pH de la disolución de colorante a medida que aumenta el tiempo de interacción con las especies reactivas generadas por el plasma (ver Figura 3). En los primeros dos minutos, se observa una disminución significativa del pH, mientras que entre los 2 y 10 minutos, la variación del pH tiende a estabilizarse. Los valores de pH cambian de 5.4 a 2.7, lo que indica que la disolución del colorante se vuelve en colorante ácida. Estos resultados son consistentes con los hallazgos previos de Zhou y colaboradores (Miao et al., 2021), quienes también encontraron una disminución del pH (<5) asociada a reacciones químicas.



Asimismo, se encontró que la conductividad de la muestra varía entre 10 y 650 μScm^{-1} durante los primeros 10 minutos de exposición al plasma APPJ. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Zhou y colaboradores (Zhou et al., 2015), quienes informaron un aumento considerable en la conductividad eléctrica del agua después de 30 minutos de exposición al plasma. Esta modificación de la conductividad se atribuye a la formación de radicales libres como O_3 , H_2O_2 , NO_2^- y NO_3^- , los cuales contribuyen a la formación del colorante ácido y afectan la conductividad (Lu et al., 2016).

Estos resultados demuestran que la interacción entre las especies reactivas generadas por APPJ y el colorante de cochinilla tiene un impacto significativo tanto en el pH como en la conductividad de la disolución. Asimismo, sugieren que el tratamiento con plasma APPJ es efectivo para degradar el colorante de cochinilla y generar cambios químicos en la disolución.

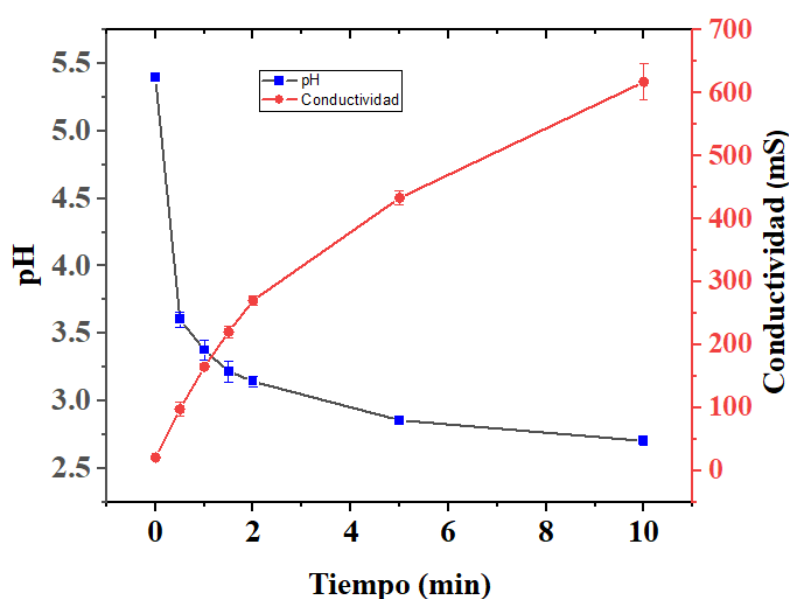
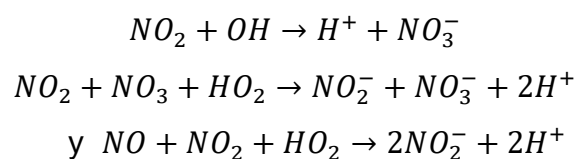


Figura 5. Cambio de pH y conductividad de colorante debido a la exposición de descarga de APPJ

5.3. Medición de la concentración nitritos, nitratos y su papel en el proceso de decoloración de colorante

Los resultados de la tabla 1 mostraron un incremento significativo de la concentración de las especies reactivas de nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- después

de 10 minutos de tratamiento con plasma APPJ. Estas especies forman parte del grupo de especies reactivas terciarias de especies reactivas de oxígeno, nitrógeno y combinaciones de estos (RONS), como O_3 , H_2O_2 , NO_3^- y NO_2^- , que se generan en fase líquida debido a la interacción de las especies reactivas secundarias con la disolución del colorante (Barjasteh et al., 2021). Según Barjasteh y colaboradores (Barjasteh et al., 2021), los nitritos y nitratos son solubles en agua y se transforman inmediatamente en NO_2^- y NO_3^- , de acuerdo con los siguientes esquemas de reacción:



Este mecanismo explicaría la formación de una solución líquida con un carácter fuertemente ácido, que es responsable de la degradación oxidativa del colorante de cochinilla (Chouchene & Bellakhal, 2015; Gibaja, 1998). Estos resultados son consistentes con los hallazgos del presente estudio, donde se observó una disminución significativa del pH de la disolución del colorante a medida que aumentaba el tiempo de exposición al plasma APPJ. Además, se observó un aumento en la concentración de especies reactivas terciarias, como los nitritos y nitratos, lo que indica un proceso de degradación oxidativa del colorante. Estos hallazgos respaldan la afirmación de que la interacción de estas especies reactivas con el colorante de cochinilla genera un medio ácido que favorece su decoloración y degradación.

Tabla 5. Concentración de nitratos y nitritos				
Parámetros	Unidad de medida	Resultados		Método
		0 minutos	10 minutos	
Nitratos (NO_3^-)	mg/100	89.20	232.0	Método espectrofotométría
Nitritos (NO_2^-)		5.80	12.20	

Tabla 5. Concentración de nitratos y nitritos.



5.4. Análisis de espectro UV-Visible

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la exposición del colorante de cochinilla a la descarga de plasma APPJ provoca la degradación gradual del colorante. Esto se observa en los espectros UV-Visible (ver Figura 4), donde se observa una disminución en la intensidad de los dos picos principales de absorción en longitudes de onda de 276 y 496 nm a medida que aumenta el tiempo de exposición al plasma APPJ. Durante los primeros 2 minutos, la disminución es rápida y luego debido al agotamiento del colorante disminuye más lentamente desde los 2 hasta los 10 minutos. Este patrón de degradación gradual es consistente con estudios anteriores realizados por Chouchene y colaboradores (Chouchene & Bellakhal, 2015), quienes encontraron que la interacción del colorante de cochinilla con una capa de birnessita tratada con plasma generó una degradación del 95% después de 24 horas.

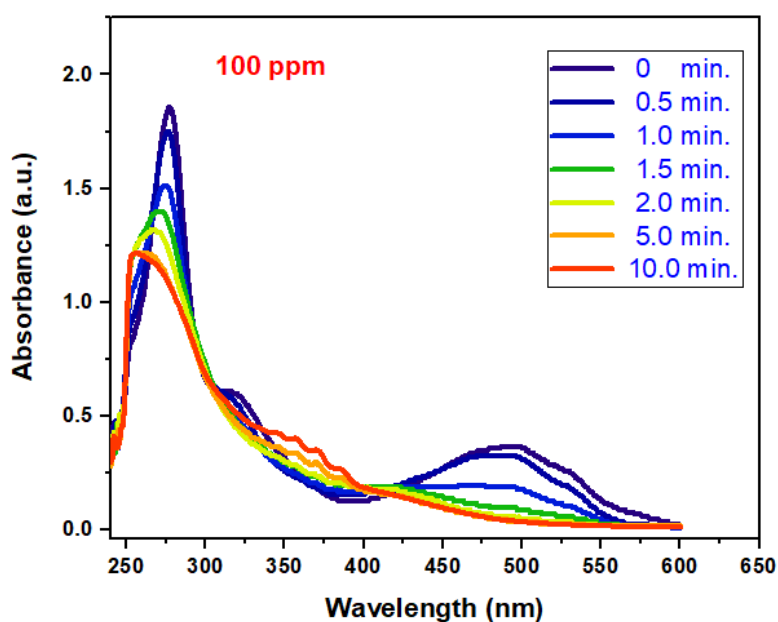


Figura 6. Espectros UV-Visible con picos decrecientes con el tiempo de exposición del plasma APPJ

Para determinar la velocidad de degradación del colorante de cochinilla durante el tratamiento con plasma APPJ, se utilizó la siguiente ecuación (2). Los resultados revelaron que aproximadamente el 90% del colorante se degradó después de 10 minutos de exposición. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este porcentaje de degradación puede variar según las condiciones específicas de cada experimento. Además, es necesario considerar algunas limitaciones de este

proceso. Uno de los aspectos importantes a considerar es que la degradación del colorante ocurre en un medio ácido, lo cual indica la generación de especies reactivas y cambios en el pH y las concentraciones de estas especies reactivas en la fase líquida. Por lo tanto, es fundamental investigar más a fondo los efectos de estas especies reactivas en la degradación del colorante y evaluar posibles implicancias ambientales. Asimismo, es necesario evaluar la eficiencia del proceso de degradación en términos de la generación de subproductos o contaminantes resultantes de la degradación del colorante de cochinilla. Esto permitirá comprender mejor los efectos ambientales de este proceso y, en consecuencia, tomar medidas necesarias para minimizar los posibles impactos negativos.

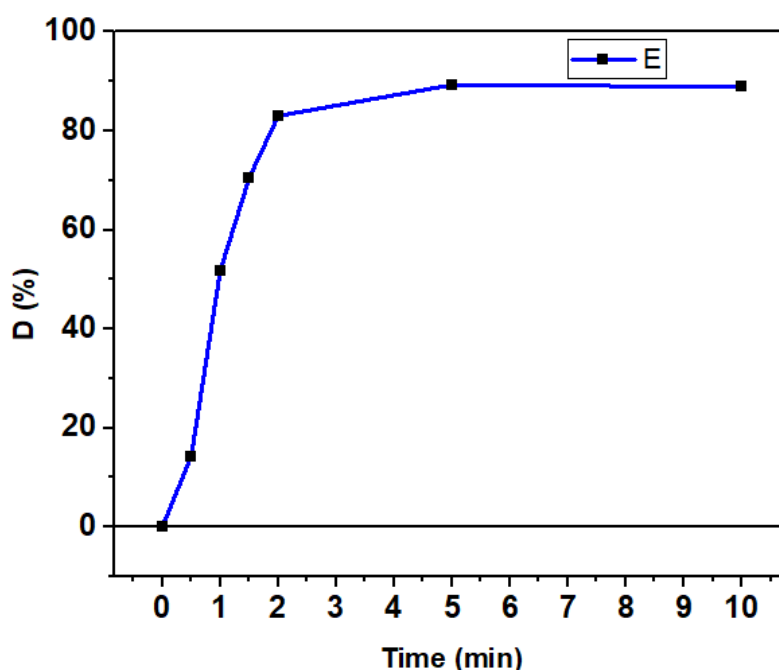


Figura 7. Porcentaje de degradación del colorante de cochinilla por descarga de plasma APPJ

5.5. Cinética de degradación de colorante de cochinilla

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio (ver Figura 6), se observó que la degradación del colorante de cochinilla sigue una cinética de primer orden, dividiéndose en dos etapas: la primera etapa de 0 a 2 minutos y la segunda etapa de 2 a 10 minutos. Durante la primera etapa, se produce una rápida reacción de degradación hasta llegar a un punto crítico de agotamiento del colorante en 2 minutos. En la segunda etapa, la degradación ocurre de

forma más lenta debido a la escasez de moléculas de colorante. En estudios anteriores, Pankaj y colaboradores (Pankaj et al., 2017) encontraron que la degradación del tinte de cochinilla también sigue una cinética de primer orden. Los parámetros del modelo calculados para la ecuación ajustada se muestran en la Tabla 2, donde se observa que la constante de velocidad cambia del primer tramo rápido (0.966) a una velocidad más lenta (0.039) en el segundo tramo debido al agotamiento del colorante.

Estos resultados son consistentes con los reportados por otros estudios, como Chouchene y colaboradores (Chouchene & Bellakhal, 2015) y Crema et al (Crema et al., 2020), quienes evaluaron la efectividad del tratamiento con descarga de plasma a presión atmosférica para degradar colorantes. Además, otro estudio desarrollado por Gibaja (Gibaja, 1998) puntualizó que el proceso de degradación de los colorantes ocurre mediante un proceso oxidativo.

Tabla 2. Parámetros de modelo cinético de primer orden					
Tinte	Tiempo (min)	Gas	Modelo	Parámetros	
Cochinilla	0-2	aire	Primer orden	k (min ⁻¹)	0.96645±0.10845
				R ² (adj.)	0.9636
Cochinilla	2-10	aire	Primer orden	k (min ⁻¹)	0.03919±0.00427
				R ² (adj.)	0.97684

Tabla 6. Parámetros de modelo cinético de primer orden

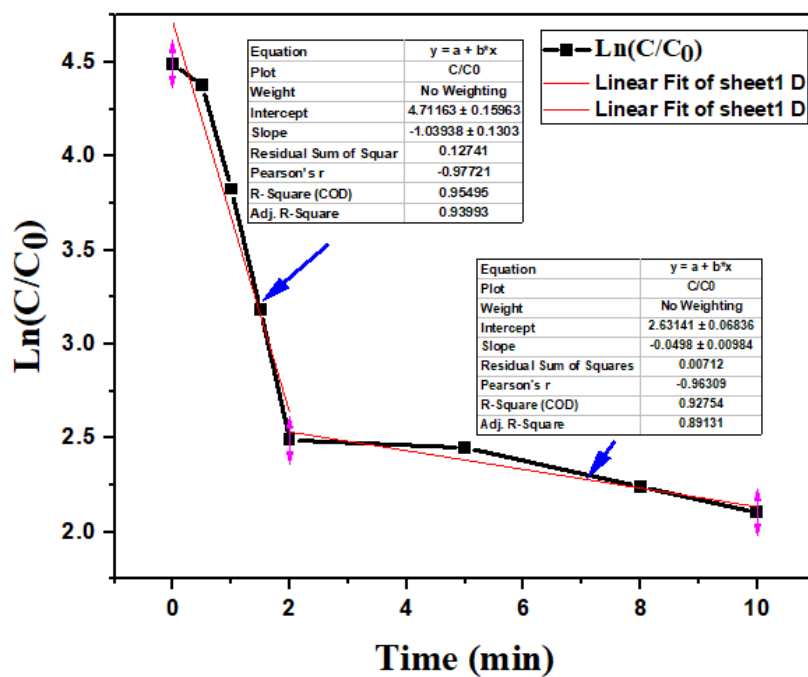


Figura 8. Cinética de degradación de colorante de cochinilla

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación demostraron que el uso de un jet de plasma a presión atmosférica (APPJ) en el tinte de cochinilla es efectivo para eliminar su color. La investigación reveló que el proceso de decoloración ocurre dentro de los primeros diez minutos de tratamiento y comprende dos etapas distinguibles caracterizadas por cinéticas de primer orden. A lo largo de todo el tratamiento de diez minutos, casi el 90% del color del tinte fue eliminado debido a la reacción entre las especies reactivas (O_3 , H_2O_2 , NO_2^- y NO_3^-) y las moléculas del tinte. Esta reacción resulta en la formación de una solución líquida altamente ácida, que puede atribuirse a la degradación oxidativa del tinte. Estos hallazgos son significativos porque demuestran que el plasma APPJ tiene potencial para la eliminación del color en diversas aplicaciones industriales, especialmente en las industrias textil y de pintura. Sin embargo, se requiere más investigación para investigar los efectos de los parámetros del plasma en la degradación de diferentes tipos de tintes y el impacto ambiental de las muestras de tintes tratadas con plasma.

RECOMENDACIONES

Basándonos en los resultados obtenidos y las conclusiones de los documentos proporcionados, se pueden sugerir las siguientes recomendaciones para aquellos que deseen continuar el estudio en otro momento, lugar o con un presupuesto mayor:

- ✓ Continuar la investigación en la eliminación del color del tinte de cochinilla mediante chorro de descarga de plasma a presión atmosférica, explorando diferentes parámetros de operación del plasma para maximizar la eficiencia del proceso.
- ✓ Ampliar el análisis de la composición del plasma y su interacción con los residuos de tintes para comprender mejor los mecanismos de degradación del colorante de cochinilla.
- ✓ Realizar estudios de espectroscopia UV-Visible para identificar los productos de degradación resultantes de la interacción entre el plasma y los tintes de cochinilla, lo que permitirá un mayor entendimiento de las transformaciones químicas involucradas en el proceso.
- ✓ Considerar la implementación de técnicas avanzadas de análisis, como la espectroscopía Raman de superficie mejorada (SERS), para identificar con mayor precisión los componentes del tinte de cochinilla y su interacción con diferentes sustratos, lo cual podría enriquecer el conocimiento sobre el proceso de degradación del colorante.
- ✓ Asegurar la disponibilidad y accesibilidad de los datos generados en la investigación, permitiendo que otros investigadores puedan acceder a la información obtenida y utilizarla como base para futuros estudios.

Estas recomendaciones buscan apoyar la continuidad y el avance en la investigación sobre la eliminación del color del tinte de cochinilla mediante plasma, promoviendo la sostenibilidad ambiental en la industria textil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A., Mohd-Setapar, S. H., Chuong Chuo, S., Khatoon, A., Wani, W. A., Kumar, R., & Rafatullah, M. (2015). Recent Advances in New Generation Dye Removal Technologies: Novel Search of Approaches to Reprocess Waste Water. *RSC Advances*, 5(39), 1–58.
- Arroyo Figueroa, G. (2011). *Caracterización fisicoquímica de una fibra de algodón teñida con grana carmín (Dactylopius coccus Costa) y tratabilidad biológica de las aguas residuales generadas en el proceso*. Cimav Posgrado.
- Barjasteh, A., Dehghani, Z., Lamichhane, P., Kaushik, N., & Choi, E. H. (2021). *Recent Progress in Applications of Non-Thermal Plasma for Water Purification, Bio-Sterilization, and Decontamination*.
- Chandana, L., Manoj Kumar Reddy, P., & Subrahmanyam, C. (2015). Atmospheric pressure non-thermal plasma jet for the degradation of methylene blue in aqueous medium. *Chemical Engineering Journal*, 282, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.02.027>
- Chouchene, W., & Bellakhal, N. (2015). Humid Air Plasma Treatment of Birnessite Surface: Application to the Removal of Cochineal Red. *Materials Sciences and Applications*, 06(11), 1014–1021. <https://doi.org/10.4236/msa.2015.611101>
- Crema, A. P. S., Piazza Borges, L. D., Micke, G. A., & Debacher, N. A. (2020). Degradation of indigo carmine in water induced by non-thermal plasma, ozone and hydrogen peroxide: A comparative study and by-product identification. *Chemosphere*, 244, 125502. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125502>
- Erra, P., Gómez, N., Dolcet, L. M., Juliá, M. R., Lewis, D. M., & Willoughby, J. H. (1997). FTIR Analysis to Study Chemical Changes in Wool Following a Sulfitolysis Treatment. *Textile Research Journal*, 67(6), 397–401. <https://doi.org/10.1177/004051759706700602>
- Fridman, A. (2008). *Plasma Chemistry*. Cambridge University Press.
- García, M. C., Mora, M., Esquivel, D., Foster, J. E., Rodero, A., Jiménez-Sanchidrián, C., & Romero-Salguero, F. J. (2017). Microwave atmospheric pressure plasma jets for wastewater treatment: Degradation of methylene blue as a model dye. *Chemosphere*, 180, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.126>
- Gibaja, S. (1998). Pigmentos naturales quinonas. In *UNMSM*.
- Lamichhane, P., Paneru, R., Nguyen, L. N., Lim, J. S., Bhartiya, P., Adhikari, B. C., Mumtaz, S., & Choi, E. H. (2020). Plasma-assisted nitrogen fixation in water with various metals. *Reaction Chemistry and Engineering*, 5(11), 2053–2057. <https://doi.org/10.1039/d0re00248h>
- Lu, X., Naidis, G. V., Laroussi, M., Reuter, S., Graves, D. B., & Ostrikov, K. (2016). Reactive species in non-equilibrium atmospheric-pressure plasmas: Generation, transport, and biological effects. *Physics Reports*, 630(April), 1–84. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2016.03.003>
- Miao, Y., Han, P., Hua, D., Zhou, R., Guan, Z., Lv, Q., & Dai, X. (2021). Cold atmospheric plasma increases IBRV titer in MDBK cells by orchestrating the host cell network. *Virulence*, 12(1), 679–689. <https://doi.org/10.1080/21505594.2021.1883933>
- Mojsov, K. D., Andronikov, D., Janevski, A., Kuzelov, A., & Gaber, S. (2016). The Application of Enzymes for the Removal of Dyes From. *Advanced Technologies*, 5(1), 81–86.



- Pankaj, S. K., Wan, Z., Colonna, W., & Keener, K. M. (2017). Degradation kinetics of organic dyes in water by high voltage atmospheric air and modified air cold plasma. *Water Science and Technology*, 76(3), 567–574. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.169>
- Philipps, Elena. (2010). Cochineal Red: The Art History of a Color. In *The Metropolitan Museum of Art Bulletin*. (Vol. 67, Issue 3, pp. 4–48). <https://www.jstor.org/stable/25701595>
- Sajed, T., Haji, A., Mehrizi, M. K., & Nasiri Boroumand, M. (2018). Modification of wool protein fiber with plasma and dendrimer: Effects on dyeing with cochineal. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(PartA), 642–653. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.038>
- Sakudo, A., Yagyū, Y., & Onodera, T. (2019). Disinfection and sterilization using plasma technology: Fundamentals and future perspectives for biological applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20). <https://doi.org/10.3390/ijms20205216>
- Sarangapani, C., Misra, N. N., Milosavljevic, V., Bourke, P., O'Regan, F., & Cullen, P. J. (2016). Pesticide degradation in water using atmospheric air cold plasma. *Journal of Water Process Engineering*, 9, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.01.003>
- Sepúlveda, M., Lemp Urzúa, C., Cárcamo-Vega, J., Casanova-González, E., Gutiérrez, S., Maynez-Rojas, M. Á., Ballester, B., & Ruvalcaba-Sil, J. L. (2021). Colors and dyes of archaeological textiles from Tarapacá in the Atacama Desert (South Central Andes). *Heritage Science*, 9(59), 1–39. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-233994/v1>
- Stanciuc, V. (2020). *Teñido mordentado de fibras naturales con colorante extraído de las hojas de Nogal*. 91. <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/5159/STANCIUC-STANCIUC-FIQ-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tanaka, H., & Hori, M. (2017). Medical applications of non-thermal atmospheric pressure plasma. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 60(1), 29–32. <https://doi.org/10.3164/jcbtn.16-67>
- Taylor, P. R., & Pirzada, S. A. (1994). Thermal plasma processing of materials: A review. *Advanced Performance Materials*, 1(1), 35–50. <https://doi.org/10.1007/BF00705312>
- Tejada Betancourt, L. (2023). Metodología de la investigación para anteproyectos. *Educación Superior*, 34. <https://doi.org/10.56918/es.2022.i34.pp206>
- Teschke, M., Kedzierski, J., Finantu-Dinu, E. G., Korzec, D., & Engemann, J. (2005). High-speed photographs of a dielectric barrier atmospheric pressure plasma jet. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 33(2), 310–311. <https://doi.org/10.1109/TPS.2005.845377>
- Valipour, P. (2014). Colorimetric properties of wool dyed with Cochineal : Effect of Dye-bath pH. *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 7(June), 1–13.
- Vineta, S., Silvana, Z., Sanja, R., & Golomeova, S. (2014). Methods for Waste Waters Treatment in Textile Industry. *International Scientific Conference "Unitech Gabrovo," November*, 248–252.
- Wu, L., Xie, Q., Lv, Y., Wu, Z., Liang, X., Lu, M., & Nie, Y. (2019). Degradation of methylene blue via dielectric barrier discharge plasma treatment. *Water (Switzerland)*, 11(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/w11091818>
- Yao, J., Liu, Y., Yang, S., & Liu, J. (2008). Characterization of Secondary Structure Transformation of Stretched and Slenderized Wool Fibers with FTIR Spectra. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 3(2), 155892500800300. <https://doi.org/10.1177/155892500800300205>
- Zhou, R., Zhang, X., Bi, Z., Zong, Z., Niu, J., Song, Y., Liu, D., & Yang, S. (2015). Inactivation of *Escherichia coli* cells in aqueous solution by atmospheric-pressure N₂,



He, air, and O₂ microplasmas. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(15), 5257–5265. <https://doi.org/10.1128/AEM.01287-15>

Zhou, R., Zhou, R., Prasad, K., Fang, Z., Speight, R., Bazaka, K., & Ostrikov, K. (2018). Cold atmospheric plasma activated water as a prospective disinfectant: The crucial role of peroxyxynitrite. *Green Chemistry*, 20(23), 5276–5284. <https://doi.org/10.1039/c8gc02800a>



ANEXOS



Figura 9. Descarga de plasma a presión atmosférica sobre solución acuosa de colorante de cochinilla Laboratorio-UNMSM.



Figura 10. Proceso de hervido de cochinilla para homogenizar la solución acuosa- Laboratorio - UNMSM.



Figura 11. Proceso de hervido de cochinilla Laboratorio-UNMSM.



Figura 12. Medida de espectroscopia UV-Visible Laboratorio- UNAMBA

“Eliminación del color del tinte de cochinilla mediante chorro de descarga de plasma a presión atmosférica”

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	%	%	15%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	1 %
2	Submitted to Technological University Dublin Trabajo del estudiante	1 %
3	Submitted to Universidad de Santiago de Chile Trabajo del estudiante	1 %
4	Submitted to International Baccalaureate Ministry of Education of Ecuador Trabajo del estudiante	1 %
5	Submitted to UNIVERSIDAD DE COLIMA Trabajo del estudiante	1 %
6	Submitted to University of Nottingham Trabajo del estudiante	1 %
7	Submitted to Universität Hohenheim Trabajo del estudiante	<1 %
8	Submitted to Adamson University Trabajo del estudiante	<1 %

9

Submitted to Filozofski fakultet

Trabajo del estudiante

<1 %

10

Submitted to University of Monastir

Trabajo del estudiante

<1 %

11

Submitted to Charles Sturt University

Trabajo del estudiante

<1 %

12

Submitted to Politeknik STT Tekstil Bandung

Trabajo del estudiante

<1 %

13

Submitted to Bilkent University

Trabajo del estudiante

<1 %

14

Submitted to University of Sydney

Trabajo del estudiante

<1 %

15

Submitted to Universidad Tecnologica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

16

Submitted to Universidad de Burgos UBUCEV

Trabajo del estudiante

<1 %

17

Submitted to 95480

Trabajo del estudiante

<1 %

18

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

19

Submitted to Universiti Malaysia Sarawak

Trabajo del estudiante

<1 %

20

Submitted to CSU, San Jose State University

Trabajo del estudiante

<1 %

21

Submitted to Lovely Professional University

Trabajo del estudiante

<1 %

22

Submitted to University of Western Ontario

Trabajo del estudiante

<1 %

23

Submitted to Colegio Internacional Tlalpan
S.C.

Trabajo del estudiante

<1 %

24

Submitted to Swinburne University of
Technology

Trabajo del estudiante

<1 %

25

Submitted to The University of Manchester

Trabajo del estudiante

<1 %

26

Submitted to Alexandru Ioan Cuza University
of Iasi

Trabajo del estudiante

<1 %

27

Submitted to Indian Institute of Technology
Roorkee

Trabajo del estudiante

<1 %

28

Submitted to Royal Holloway and Bedford
New College

Trabajo del estudiante

<1 %

29

Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS

Trabajo del estudiante

<1 %

30 Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León <1 %
Trabajo del estudiante

31 Submitted to Universidad Ricardo Palma <1 %
Trabajo del estudiante

32 Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana <1 %
Trabajo del estudiante

33 Submitted to Kennesaw State University <1 %
Trabajo del estudiante

34 Submitted to Istanbul Medeniyet Üniversitesi <1 %
Trabajo del estudiante

35 Submitted to Temple University <1 %
Trabajo del estudiante

36 Submitted to Xiamen University <1 %
Trabajo del estudiante

37 Submitted to Universidad Inca Garcilaso de la Vega <1 %
Trabajo del estudiante

38 Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola <1 %
Trabajo del estudiante

39 Submitted to unajma <1 %
Trabajo del estudiante

40 Submitted to uncedu

<1 %

41

Submitted to Pontificia Universidad Catolica de Chile

Trabajo del estudiante

<1 %

42

Submitted to University of New South Wales

Trabajo del estudiante

<1 %

43

Submitted to Queensland Academy for Science, Maths and Technology

Trabajo del estudiante

<1 %

44

Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote

Trabajo del estudiante

<1 %

45

Submitted to Rutgers University, New Brunswick

Trabajo del estudiante

<1 %

46

Submitted to Universidad de Manizales

Trabajo del estudiante

<1 %

47

Submitted to University of Huddersfield

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado