

Química

La Revista Digital de Investigación Documental
Volumen 1, número 3, 2021/22



La química del plumaje

y el caso de *Cardellina rubra*
un ave venenosa en México.

p18

Quitosano y polietileno:
una alianza en contra de la contaminación

p6

La función de las hidrolasas en la degradación

bacteriana del tereftalato de polietileno: una revisión documental

p30

Sobre la revista

Química: la Revista Digital de Investigación Documental editada por profesores del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), Plantel Sur, UNAM, es una publicación trimestral arbitrada por pares, sobre contribuciones originales asociadas con los temas de agua, aire, suelo, medicamentos, alimentos, industria química, metalurgia, control de procesos químicos, petróleo y polímeros. Los manuscritos relacionados con estos tópicos serán bienvenidos. La revista brinda un espacio para que los estudiantes y profesores puedan publicar sus trabajos, impulsando la difusión de la ciencia.



Ilustración de portada:
Quinatzin Baroja Cruz

UNAM

Rector

Dr. Enrique Graue Wiechers

CCH

Director General

Dr. Benjamín Barajas Sánchez

PLANTEL SUR

Directora

Q.F.B. Susana Lira de Garay

Equipo editorial

Editores jefes

María Angelina Torres Ledesma

Bianca Xiutec Valderrama García

Ibrahim Guillermo Castro Torres

Editor creativo

Quinatzin Baroja Cruz

Comité editorial

Escuela Nacional Colegio de

Ciencias y Humanidades

Plantel Sur

María del Pilar Román Guerrero

Berenice Martínez Cuatpotzo

Ángeles Adriana Reyes Álvarez

Ailed Berenice Flores Chávez

Carmela Crisóstomo Lucas

Sandra Guzmán Aguirre

Félix Morales Flores

Jared Israel Bobadilla Montoya

Ricardo Arturo Trejo De Hita

CCH, Plantel Oriente

Griselda Chávez Fernández

CCH, Plantel Naucalpan

Miryam Yoliztli Villalpando Muñoz

Adriana Jaramillo Alcantar

Teresa Campos Tepox

Iris Alejandra Rojas Eisenring

Ivonne Retama Gallardo

Escuela Nacional Preparatoria

Plantel 2 "Erasmus Castellanos Quinto"

Luis Gerardo Sánchez Pacheco

Plantel 8, "Miguel E. Schultz"

Celia Sánchez Mendoza

Plantel 6, "Antonio Caso"

María de Jesús Beltrán De Paz

Instituto de Educación Media Superior

María de Lourdes Juárez Martínez

Diana Rosalba Vega Hernández

Jorge Sandín Gómez

Rufino Trinidad Velasco

Instituto Acatitlán-Preparatoria GEA

Víctor Alberto Castro Torres

CBTIS 253 "Miguel Hidalgo y Costilla"

Idalia Arakachi Cruz

Universidad Nacional Autónoma de México

Gabriela Josefina Mendoza Rangel

Preparatoria Xalapa

Karina Benítez Pérez

Colegio de Bachilleres, Plantel 8

María Guadalupe Luna Sandoval

Editorial

El 22 de abril fue el día internacional de la madre tierra, más que una celebración es un recordatorio anual de la gravedad con la que nuestros entornos se van deteriorando y un eco de voces que globalmente nos invitan a modificar nuestros comportamientos como sistema social por nuestro bien como especie.

En este sentido en la revista Química hemos hecho una selección de artículos que además de brindarnos un panorama claro e interesante del quehacer documental dentro del colegio, nos devuelven el optimismo y nos estimulan a seguir buscando el cambio en nuestros entornos, cuidar a la tierra es cuidar nuestro estilo de vida.

Imaginar un futuro en el que las hidrolasas puedan ayudarnos a fragmentar el polietileno a gran escala, o en el que la alianza del quitosano y polietileno pueda repercutir en la disminución de la contaminación por plástico en nuestro planeta resulta al menos entusiasmante.

Y que decir de la posibilidad de leer la perspectiva biológica-artística de un apasionado observador de aves, que además de darnos un panorama técnico de cómo se conforman químicamente los pigmentos de las plumas nos comparte un pedacito de su producción artística con magníficas fotos que podrán ver a lo largo de su artículo.

Estamos muy contentos de recibir, presentar artículos llenos de optimismo y de conocimiento pero sobre todo de que la revista sea un cruce disciplinar tan enriquecedor que nos permite ver como el talento científico se topa de frente con el talento artístico, fabricando con delicadeza nuestras páginas.

Bienvenidos todas y todos, disfrútenla.

Quinatzin Baroja Cruz



18

La química del plumaje y el caso de Cardellina rubra un ave venenosa en México.



6

La función de las hidrolasas en la degradación bacteriana del tereftalato de polietileno: una revisión documental



30

Quitosano y polietileno: una alianza en contra de la contaminación



La función de las hidrolasas en la degradación bacteriana del tereftalato de polietileno: una revisión documental

Emilio Vargas Domínguez¹
Paola Nieto Quiroz¹
Ximena Rodríguez Reyes¹
Itzel Moranchel Carranza¹

Palabras clave:

BACTERIAS DEGRADADORAS DE PET

HIDROLASAS

IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA



¹ Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Azcapotzalco, Laboratorio de Biología Molecular

Resumen

En el año 2019 la producción de polietilentereftalato (PET) en México fue de 1,013,441 toneladas para la elaboración de empaquetados, botellas, productos ortopédicos etcétera. Por lo que sus desechos se acumulan debido a que en el país no tiene una política de eliminación y su reciclaje es bajo. Ante este problema, la biodegradación es una alternativa de solución, en particular el empleo de bacterias. La identificación y clasificación de especies en los últimos años ha sido con el empleo de biocódigo de barras, que por sus costos lo hace difícil de implementar en el CCH. El empleo de hidrolasas es una alternativa para la clasificación de estas bacterias, para ello proponemos seguir cuatro pasos: separación de las hidrolasas, evaluación del peso molecular, medición de reacciones enzimáticas del analito aislado y clasificación taxonómica de la bacteria. Se concluye que hay un campo amplio en donde es posible el uso de las hidrolasas con fines prácticos, por lo que sería conveniente su análisis como una alternativa para la clasificación taxonómica de las bacterias degradadoras de PET.

INTRODUCCIÓN.

El mundo enfrenta una problemática cada vez más alarmante por la contaminación de plásticos. Como ejemplo, la producción de PET en México durante el 2019 fue de 1,013,441 toneladas (INEGI, 2019). Y el país no tiene un proyecto para su eliminación ya sea por métodos físicos, químicos o biológicos, aunque reporta que se recicla un 50% del PET fabricado (INEGI, 2019). Esto provoca un problema a nivel ambiental muy grave. Para responder a esto, a nivel mundial se han propuesto diferentes formas de degradación, como los procesos químicos, fisicoquímicos o biológicos. Dentro de las soluciones que ofrece la biología, el uso de or-

ganismos con efectos degradadores o digestores como los son plantas, bacterias y hongos, se le conoce al proceso como biorremediación (Pakdaman & Mohammadi, 2013).

Dentro del campo de la biorremediación, las bacterias han sido una opción no solo para el PET sino para otros polímeros como el polietileno (Kathiresan, 2003) o el poliuretano (Cregut et al., 2013; Peng et al., 2018; Magnin et al., 2019) esto debido a la posibilidad de fraccionar los polímeros en compuestos más pequeños que pueden ser utilizados por la industria como materia prima (Lucas et al. 2008; Shah et al. 2008; Sangale et al. 2012; Devi et al. 2016).

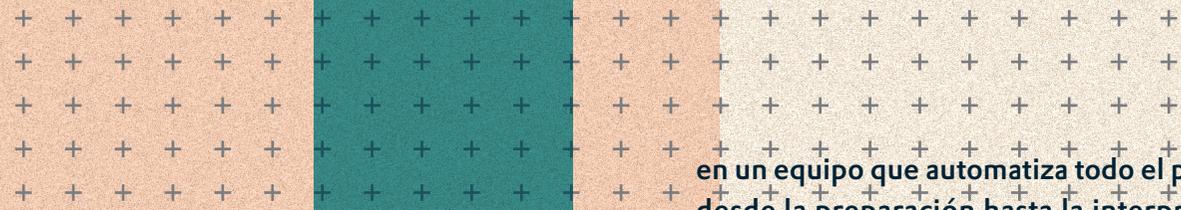
La obtención de tales materias es gracias a que el plástico no se degrada en su totalidad, sino que previamente se fracciona en “bloques” de los cuales los residuos pueden tener interés comercial. Tal capacidad de descomponer el plástico en moléculas más pequeñas se le atribuye a la hidrolasa, que participa en el catabolismo del PET.

Otra propiedad de las hidrolasas es la de la particularidad en su composición. Un ejemplo de ello son las investigaciones de Wei & Zimmerman (2017) describieron que las hidrolasas de *Thermobifida fusca* han sido reportadas como específicas de su metabolismo y que no están presentes en ninguna

otra bacteria y que este grupo de enzimas pueden repetir esta misma condición de exclusividad en otras bacterias.

La investigación en hidrolasas apunta a continuar en trabajos que expandan su definición. Pero al tratarse de moléculas con un perfil único casi como el ADN, las hidrolasas pueden ser usadas como una alternativa a la caracterización de bacterias mediante la secuenciación que trae consigo algunas problemáticas en su uso.

En el presente texto se compilan las propuestas de diversos autores en donde se reflexiona el papel de la hidrólisis en el metabolismo bacteriano para la degradación del PET.



en un equipo que automatiza todo el procedimiento, desde la preparación hasta la interpretación de los resultados.

Como el ADN es una molécula naturalmente limitada por la cantidad que pudiese contener una célula es riesgoso hacer la secuenciación con la única muestra de ADN en caso de que ocurriera la degradación de la molécula o el método vulnerara la integridad de la molécula. El PCR (*polymerase chain reaction*) resolvió esto al ofrecer una forma novedosa y segura de clonar muestras de ADN pudiendo utilizar muchas de estas copias como intentos preliminares sin riesgo a perder la molécula original.



Problemática en la caracterización de microorganismos con ADN.

Tanto la secuenciación y el biocódigo de barras son recursos innovadores con formas integrales para resolver una duda: ¿cómo caracterizar una especie? En cualquiera de los casos se utiliza el ADN como una molécula irreplicable que dota de “identidad” a los organismos, por ello, las muchas combinaciones posibles sirven como si fuera una etiqueta individual para cada organismo.

Como lo menciona Reguero (2014) “La propuesta se resume en la realización de cuatro reacciones diferentes de síntesis de ADN utilizando un dideoxinucléotido (ddNTP) distinto en cada tubo y nucleótidos normales, lo que permite la síntesis de diversos fragmentos que terminan con un ddNTP específico y posteriormente son separados por electroforesis, de acuerdo con su tamaño”. Posteriormente se introduce el cómputo automatizado para analizar las muestras con detección laser, todo ello agrupado

Y aunque la secuenciación genética rápidamente se popularizó como una forma confiable para caracterizar especies, la secuenciación ofrecía más, como la determinación de oncogenes en humanos o la prevención de enfermedades hereditarias por análisis del genoma del paciente y la tecnología comenzó a tener una demanda que ocasionó la subida de los precios de los insumos y equipos. Por otro lado, la gran capacidad de secuenciación era desperdiciada puesto que dicho estudio

analiza el genoma de forma integral. Una variante conocida como biocódigo de barras o *barcoding* retoma el estudio del ADN solo en ciertos genes conservados en la escala evolutiva, y por ello pueden usarse como una etiqueta e identificar de forma precisa a la especie. (Hebert & Gregory, 2005).

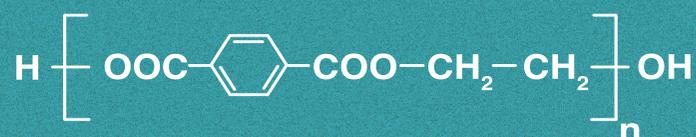
Pero el común denominador radica en dos cosas, la primera, ambas emplean el ADN como la diana a estudiar, y la segunda, ambas emplean sistemas de análisis de ADN y un complemento para

la clonación de la molécula, el PCR. Esto tiene varios problemas al momento de aplicarlo al nivel bachillerato. Ni los equipos ni los insumos requeridos están disponibles en todos los laboratorios de investigación por sus altos costos, lo cual, ocasiona que los grupos de trabajo recurran a solicitar ayuda externa pudiendo retrasar el transcurso de la investigación. Otra dificultad es que estas técnicas exigen un manejo que garantice que el ADN no sufra contaminación y la única manera de lograr esto es que quienes realicen esta labor tengan entrenamientos en el manejo del ADN y en su preparación para el análisis, que, igual que con los equipos, no todos los laboratorios disponen de personal con tales características.

En este sentido, la secuenciación o el *barcoding* deberían ser pasos presentes en las investigaciones de carácter bioquímico pero que por los puntos anteriores su uso no siempre es posible.

Propiedades del PET y similares

El tereftalato de polietileno (PET, ver figura 1) es un polímero que tal como lo menciona Pérez Parrilla (2020) "Está compuesto principalmente por etilenglicol (EG) y ácido tereftálico (TPA), unidos por enlaces éster" y su uso se ha extendido desde los años treinta (Welle, 2015). Su uso principal es en empaquetados desechables.



Polyethylene Terphthalate [n=130-150]

Molecular weight 25000

Figura 1 Molécula de PET. Extraído de Pérez Parrilla (2020).

La síntesis del PET se logra gracias a la condensación, la cual se define por McNauht (1997) como una reacción (generalmente paso a paso) en la que dos o más reactivos (o sitios reactivos remotos dentro de una entidad molecular) producen un único producto principal con la participación del agua o de alguna otra molécula pequeña.

Bacterias como opción para la degradación de plásticos

Son muchas las opciones que se han propuesto para subsanar el daño de la contaminación por plásticos, pero son las bacterias y microorganismos en general las que suponen una ventaja por el proceso tan completo de degradación, esto es, que para degradar el plástico en su totalidad recurren a diferentes pasos (Dussud & Ghiglione, 2014; lucas et al., 2008).

Biofragmentación: consta del fraccionamiento del polímero en oligómeros, dímeros o monómeros, de los cuales una parte será el nutriente para los microorganismos y otra parte será expulsada como residuo.

Asimilación: aquellas fracciones que si sean nutrimentales viajan al citoplasma y se integran al metabolismo. Estos metabolitos y por la naturaleza de los plásticos le brindan a la bacteria una fuente cuantiosa de carbono con enlaces débiles y listos para reaccionar.

Mineralización: oxidación de las moléculas asimiladas mediante vías catabólicas para la obtención de energía.

Biodeterioro: es el conjunto de los tres pasos anteriores y su resultado es la desintegración del plástico. Para llegar a esto las bacterias se forman en una biopelícula que les permita cubrir la superficie del plástico incluso llegando a penetrarlo. Si bien el término biodeterioro se refiere a toda la acción degradadora de un agente biológico, en lo que a degradación por bacterias se refiere es usado para definir el mecanismo de organización de las células y sus colonias.

Bacterias reportadas como degradadoras de PET

Esta clasificación es para aquellos organismos que puedan procesar la composición química del PET. La primera bacteria encontrada con potencial degradador fue la *Thermobifida fusca* descubierta por Müller et al. (2005). Los autores rechazan la categoría de no biodegradable que se le ha dado al PET y emprende una búsqueda de bacterias que pueden degradar este plástico. Es así que llegan a la conclusión de que el

género *Pseudomonas sp.* y la *Thermobifida fusca* son bacterias que degradan el plástico por acción de sus enzimas; aparte encontraron al hongo *Candida antarctica* con la misma posibilidad de degradar el PET. En su trabajo igualmente hallan que las hidrolasas tienen un papel crucial en la degradación, encontrando a lipasa como la hidrolasa presente en la *Thermobifida fusca*.

Then *et al.* (2015) son capaces de ahondar en la determinación de las hidrolasas, encontraron una variable de la especie *Thermobifida fusca* reportada por Müller (2005) con una hidrolasa única. Then *et al.* (2016) describen que cepas del género *Thermobifida fusca* poseen una hidrolasa característica para cada una de ellas. *Ideonella Sakaiensis* descubierta por Yoshida *et al.* (2016) en su artículo "A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)" mencionan que se pensaba que solamente los hongos eran capaces de degradar plástico por acción de las enzimas, lo cual limitó en cierta medida el desarrollo de esta línea de investigación. Además de esto, Yoshida *et al.* Son los primeros en caracterizar a nivel bioquímico la hidrolasa PETasa y MHETasa.

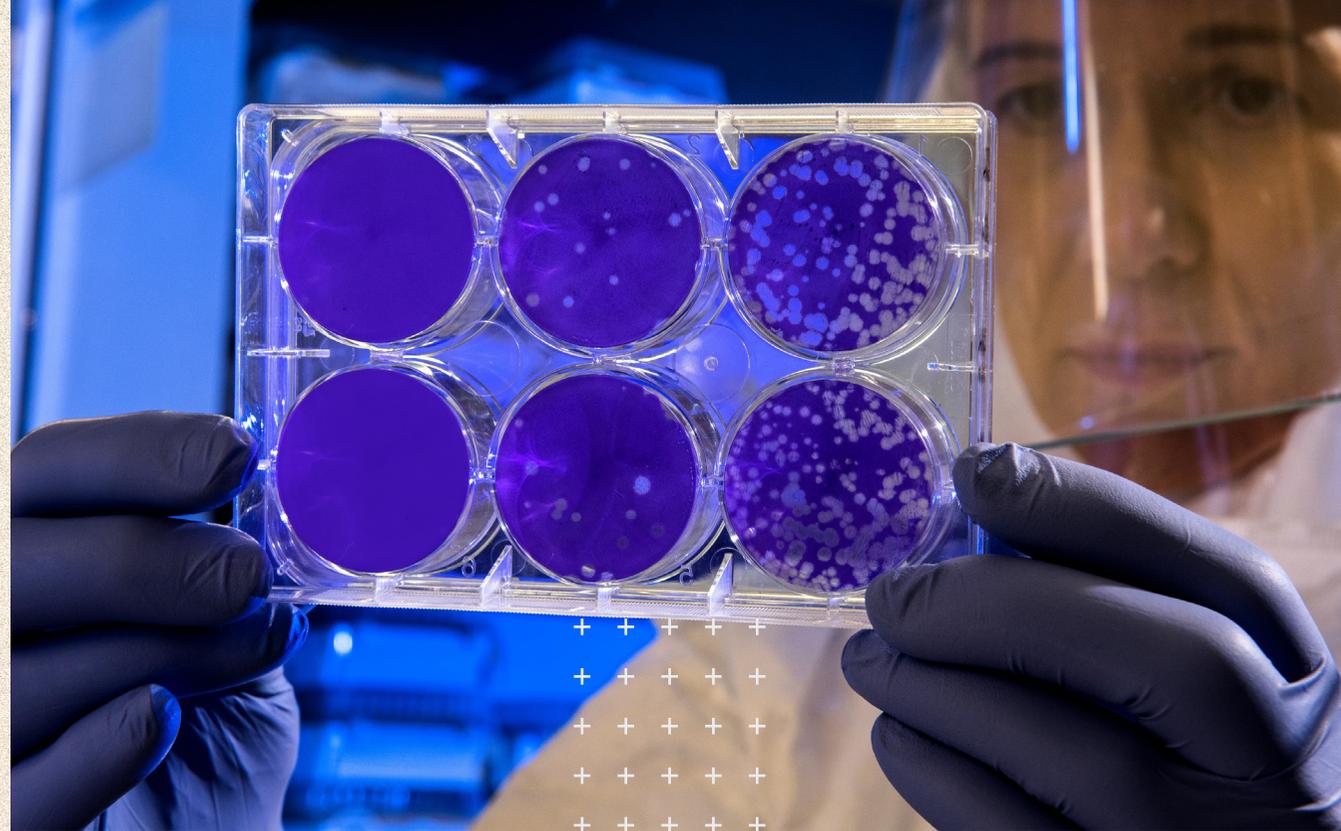


Figura 2 Hidrolasas particulares con capacidades degradadoras de PET en bacterias. Extraído de Wei & Zimmerman (2017).

Enzyme	Source	Reaction conditions		Weight loss	Crystallinity of PET	PET source and preparation	References
		Temperature	Time				
TfH	<i>Thermobifida fusca</i> DSM43793	55°C	3 weeks	≈ 50%	10%	Melt pressing of a beverage bottle (Granini AG, Nieder-Olm, Germany)	(Müller <i>et al.</i> , 2005)
TfH	<i>Thermobifida fusca</i>	55-65°C	48 h	≤ 14%	Not reported	Amorphous PET film (Goodfellow GmbH, Bad Nauheim, Germany)	(Then <i>et al.</i> , 2015)
BTA-2	DSM43793	55-65°C	48 h	≤ 4%	reported	(Goodfellow GmbH, Bad Nauheim, Germany)	(Then <i>et al.</i> , 2015)
Tfu_0882	<i>Thermobifida fusca</i> YX	55-65°C	48 h	≤ 5%			
TfCut1	<i>Thermobifida fusca</i> KW3	65-80°C	48 h	≤ 11%			
TfCut2	<i>Thermobifida fusca</i> KW3			≤ 12%			
Variants of TfCut2	<i>Thermobifida fusca</i> KW3			≤ 25%			(Then <i>et al.</i> , 2015, 2016)
A double mutant of Cut190	<i>Saccharomonospora viridis</i> AHK190	65°C 63°C	50 h 3 days	≤ 45% 13.5 0.5%	Not reported	Amorphous PET film (Goodfellow Cambridge, Ltd., Tokyo, Japan)	(Wei <i>et al.</i> , 2016) (Kawai <i>et al.</i> , 2014)
LC-cutinase	Metagenome from plant compost	50-70°C	24 h	≤ 25%	Not reported	Amorphous PET film (Sanwa Supply Inc., Okayama, Japan)	(Sulaiman <i>et al.</i> , 2014)
HIC (formerly <i>Humicola insolens</i>)	<i>Thermomyces</i> Okayama, Japan)	70°C	96 h	97 3%	7%	Amorphous PET film (Goodfellow)	(Ronkvist <i>et al.</i> , 2009)

Participación de hidrolasas en la degradación del PET.

Para responder a la duda de cómo las bacterias rompían el polímero para conservar las partes con mayor cantidad de carbono y expulsar las de menor concentración se propuso la hidrólisis como una hipótesis. Luego con estudios enfocados en comprender el proceso de fragmentación se descubren las primeras hidrolasas. Yoshida *et al.* (2016) descubren que la misma bacteria con potencial degradador dividía el PET en etilenglicol y ácido tereftálico a causa de una hidrolasa a la que después llamarían PETasa en honor al plástico (ver figura 3).

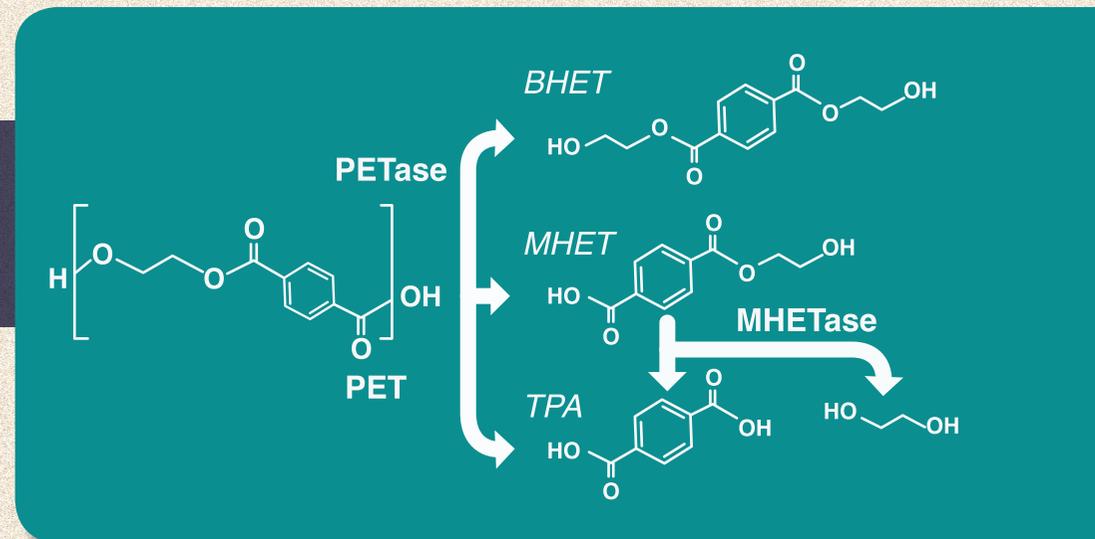


Figura 3 PETasa cataliza la despolimerización de PET a bis (2-hidroxiethyl) -TPA (BHET), MHET y TPA. MHETasa convierte MHET en TPA y EG. Extraído de Austin *et al.* (2018)

Las hidrolasas son una clase de enzimas que, tal como menciona Sutto (2012) hacen posible la ruptura de enlaces químicos por acción del agua. Estas enzimas están presentes en varios organismos, y son la lipasa, la cutinasa y la esterasa unas de las más frecuentes.

Antes de cualquier investigación sobre su metabolismo, el primer paso para llevar a cabo esto es la hidrólisis, de esta manera las bacterias son capaces de obtener compuestos ricos en carbono y expulsar secciones que no aporten nada.

Es posible notar en el apartado anterior que el descubrimiento de

nuevas bacterias ha estado estrechamente relacionado con el descubrimiento de sus hidrolasas, esto porque corresponden a la primera capa del metabolismo bacteriano y por lo tanto su estudio es más accesible.

Expectativas de las hidrolasas como etiquetas para clasificar bacterias

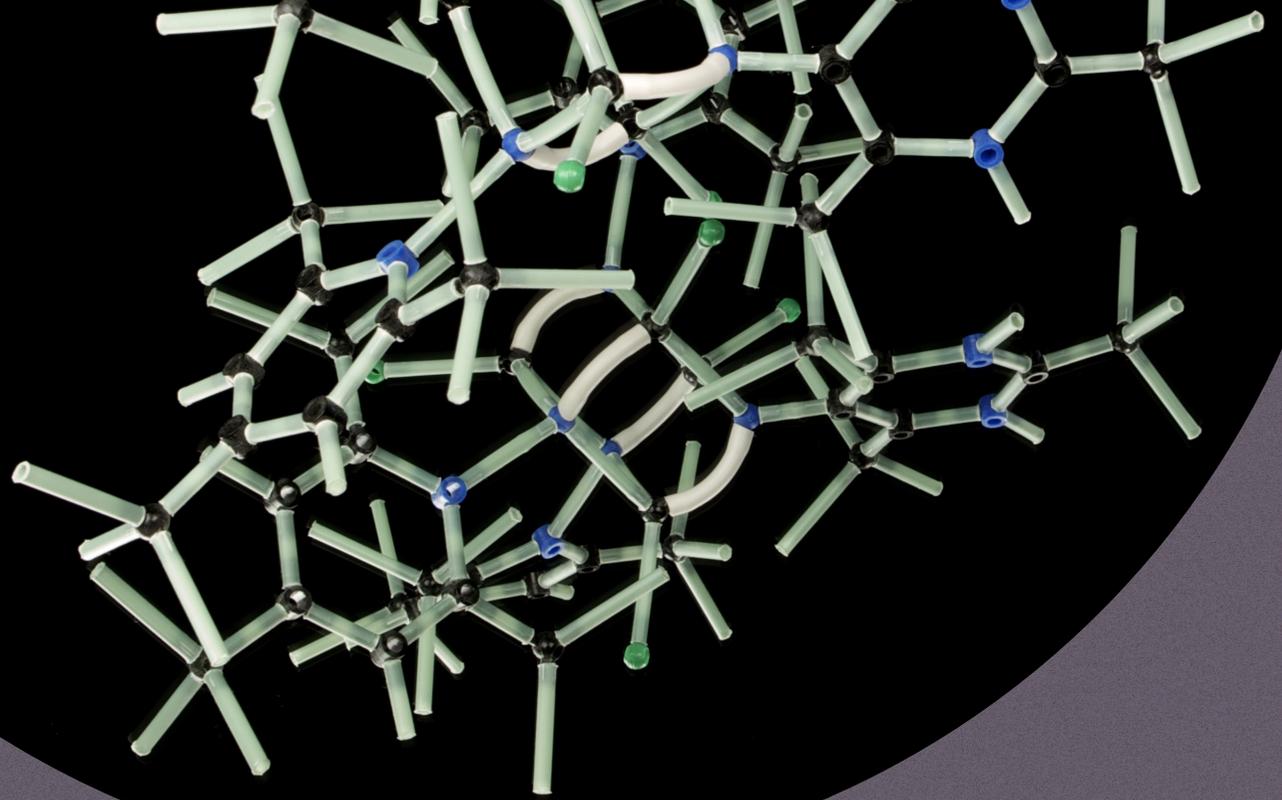
Como si de una molécula de ADN se tratara, las hidrolasas que se encuentran en bacterias degradadoras de PET son únicas y dotan de identidad a la bacteria al no existir otra especie con la misma enzima, e incluso pudiendo ahondar en la identidad de las cepas.

Igualmente se mencionó sobre los retos en el manejo de ADN y en su uso para análisis como la secuenciación o el *barcoding* relacionados con la carencia de equipos y entrenamiento para la ejecución de estas técnicas.

Por la individualidad de las hidrolasas se puede plantear a estas enzimas como si se trataran de etiquetas, las cuales solo etiquetan a una y solo una bacteria (o cepa) que las utiliza activamente en su metabolismo. Llevar esto a cabo es un trabajo mayoritariamente experimental, pero que por los resultados que algunos investigadores han tenido es posible asumir esto como una posibilidad de desarrollo.

Adentrarse en las cuestiones técnicas de la experimentación no es la intención del artículo, no obstante, vale la pena mencionar algunas consideraciones sobre un supuesto diseño experimental. Utilizar las hidrolasas como un sustituto a la secuenciación tiene un límite debido a que la caracterización depende de las bacterias e hidrolasas que ya hayan sido reportadas, si no se cuenta con algún reporte no hay manera de emplearlo. La propuesta para utilizar las hidrolasas en un etiquetado de bacterias que degradan PET debe hacerse en dos grandes secciones; investigaciones que estén enfocadas en hallar nuevas hidrolasas y caracterizarlas mediante métodos de química analítica para después reportarlos en guías y literatura, y otra parte dedicada a aplicar la metodología en donde se utilicen los resultados presentados en la guías y literatura.

A continuación, se presenta un método basado en los autores que han implementado estas técnicas



1-Separación de la enzima La electroforesis consiste en una técnica de separación de componentes de una mezcla mediante la migración forzada por una carga eléctrica (Rabindra & Raju, 2012). Es frecuente su uso en separación de ADN, análisis de proteínas y de enzimas. En particular la electroforesis en geles poliacrilamida nativos y desnaturizantes, acompañado de marcadores de peso molecular, permitirán visualizar los diferentes componentes proteicos adheridos al PET. Para identificar una hidrolasa la electroforesis ayuda a visualizar la enzima y a conocer su peso molecular simultáneamente y después se pueda cotejar en la literatura para comprobar si se trata de esa enzima o es una nueva.

2-Revisión de guías. Estudiar y analizar cuál es el peso de la posible hidrolasa cotejándola con la información de la literatura, el peso molecular al ser el factor diferencial servirá para determinar y precisar mejor manera el protocolo de separación para las hidrolasas.

3-Pruebas de reacción enzimática. Se han presentado sistemas de emulación capaces de hacer reaccionar a las enzimas fuera de una célula, con ellas se reproducen todas las condiciones internas, ejemplo de ello es la metodología aplicada por Ikenaga et al. (2016) en donde hacía empleaban un reactor enzimático *monowave 300* de microondas para hacer desencadenar la hidrólisis. En este paso se buscaría que la reacción de hidrólisis fuera de la célula se lleve a cabo y así se pueda confirmar que el analito aislado es efectivamente una hidrolasa, de lo contrario se repite el paso 1.



4- Caracterización taxonómica de la bacteria Si la enzima aislada es una hidrolasa y se conoce su peso molecular se procede posteriormente al "etiquetado". Dado que una bacteria la utiliza en el proceso de biofragmentación del PET, se puede decir que esa hidrolasa es el correspondiente a la bacteria y que no existe otra especie que la utilice, convirtiéndola en una etiqueta única.

Se espera que si el desarrollo de esta metodología tiene un resultado satisfactorio se pueda confirmar mediante pruebas de secuenciación o *barcoding* lo más pronto posible. En este sentido, el etiquetado por hidrolasas serviría como una forma provisional de obtener información sobre las bacterias.

Conclusiones

Más allá de ser una parte del metabolismo de las bacterias degradadoras de PET, las hidrolasas han demostrado tener una capacidad de fragmentar los plásticos en compuestos aprovechables como materia prima, pero también las hidrolasas que poseen son enzimas que dota de autenticidad a las bacterias que las posean.

Se espera que luego de esta revisión, se contemple a las hidrolasas más que un elemento en la degradación del PET, entenderlo como una oportunidad disponible de estudio para desarrollar métodos de análisis como el propuesto aquí, realización de reacciones enzimáticas fuera de la célula, o simplemente ampliar el conocimiento existente sobre las hidrólisis.

Referencias Bibliográficas en:
Anexo 1 p. 40

La química del plumaje

y el caso de *Cardellina rubra*
un ave venenosa en México.

Manuel Becerril-González¹

¹Profesor del Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://orcid.org/0000-0002-0245-0756>

PALABRAS CLAVE:

PLUMAJE

PIGMENTOS

AVES

CARDELLINA RUBRA

TÓXICA



RESUMEN

Las aves son un grupo de vertebrados que permiten utilizarlos como modelo de estudio para comprender aspectos que son propios de la biología, aunque también se puede realizar una serie de estudios complementarios que brinden respuestas a diversas preguntas en el área de la ornitología, particularmente este trabajo da a conocer información básica sobre la estructura química de los pigmentos y sustancias tóxicas del plumaje de algunas aves, por otro lado, es de interés actual conocer la función primaria y secundaria de dichas moléculas para entender mejor la relación color-advertencia para los depredadores y parásitos de las aves, se mencionan también las estructuras de algunas moléculas importantes que juegan un papel primordial en el conocimiento evolutivo y adaptativo de las denominadas moléculas tóxicas. Se realizó una serie de investigaciones documentales en fuentes escritas y electrónicas sobre el tema y se planearon algunas preguntas que pueden servir como punto de partida para conocer a detalle información precisa sobre el metabolismo celular de cómo las plumas presentan un color, además de conocer el caso de aves tóxicas, para culminar con la mención de la especie *Cardellina rubra* un ave considerada venenosa y que se distribuye en la CD MX.

Desarrollo del trabajo

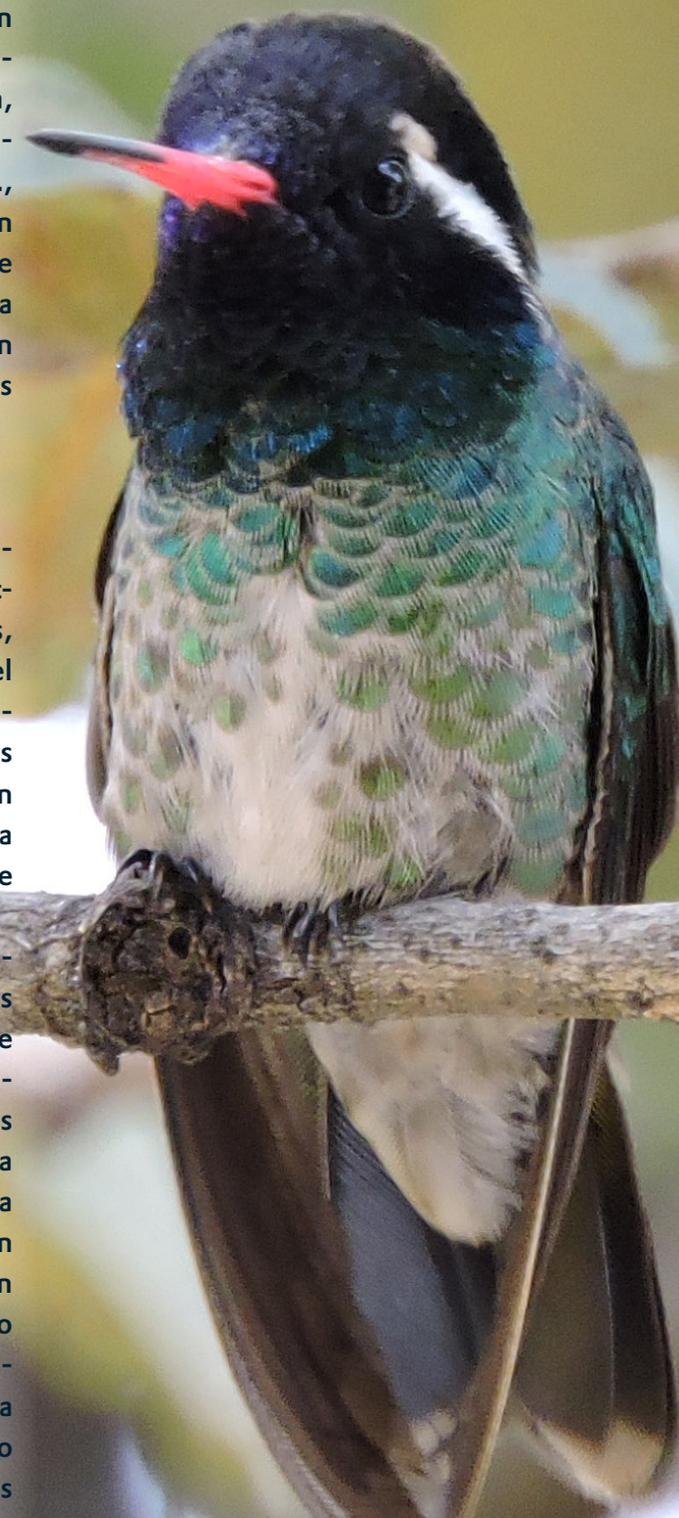
La diversidad de la Clase Aves dentro del grupo de los vertebrados es fascinante, se conocen alrededor de 10 404 especies en el mundo (Clements *et al.*, 2014) de las cuales 1 107 se encuentran en nuestro país (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014), tanto es el interés por el estudio de las aves que desde que Charles Darwin en 1859 hablara sobre ellas y la selección natural en poco más de 150 años se han escrito y publicado alrededor de 380 mil trabajos ornitológicos (Birkhead *et al.*, 2014) con diversas temáticas: bien podemos encontrar trabajos sobre la descripción de especies,

el origen y su evolución, la taxonomía del grupo, la reproducción, el cortejo, su significado en la cosmogonía, los maravillosos cantos y llamados, hasta temas de actualidad como el efecto del Cambio Climático sobre la migración de las aves, las adaptaciones fisiológicas al aumento de la temperatura, cambio de uso de suelo y la conservación de las especies prioritarias, etc., sin embargo, la importancia y función del plumaje en las aves es un tema que aunque es conocido en el área, continúa generando preguntas sobre hechos aún desconocidos para la mayor parte de los especialistas y el público en general.

¿Qué es un ave?

Las aves son un grupo de vertebrados que comparten ciertas características consideradas como únicas, y dentro de las cuales se presentan el típico pico córneo, con el cuerpo mayormente cubierto de plumas, huesos neumáticos (*i.e.*, huesos huecos con trabéculas), sacos aéreos y la mayoría de las especies están perfectamente adaptadas al vuelo

En lo referente a ciertas características se puede mencionar que las aves dependiendo del tipo de pico que presentan, se puede conocer su alimentación e importancia, muchas de ellas por ejemplo, suelen tener una dieta a base de insectos, controlado de esta manera las poblaciones que pueden ser dañinas para nuestros cultivos, son también dispersoras de semillas, por lo tanto, ayudan a la germinación y contribuyen de esta manera a modelar la arquitectura del ecosistema, incluso pueden ser especies bio-indicadoras que brindan información sobre el estado de conservación o destrucción de los hábitat, y desde luego aquellas



Fotografía de *Basilinna leucotis*, individuo macho adulto, Zafiro Orejas Blancas, Alcaldía Tlalpan, CD MX, especie nectarívora y polinizadora de flores en sitios conservados
Manuel Becerril González

lámina o vexilo



Raquis

especies (e.g. toda la Familia Trochilidae¹) que nos brindan servicios como la polinización de las flores de especies con importancia comercial y ecológica.

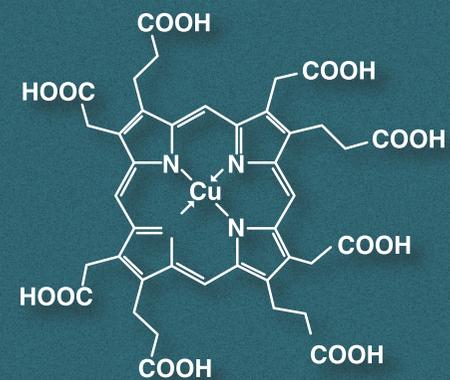
El plumaje de las aves

Comenzaremos abordando lo más básico de todas las características de las aves, sus plumas, podemos decir que hay plumas de tres tipos principales: las cobertoras o de contorno, las de vuelo y las de cortejo; las primeras son aquellas que cubren el cuerpo del ave y se reconoce su función para regular la temperatura corporal del individuo, en lo referente a las plumas de vuelo son aquellas que encontramos en las alas de las aves voladoras (i.e., para vuelo planeado o vuelo batido) y las timoneras de la cola, en las primeras la característica principal es que son asimétricas, es decir, que el raquis que es el eje principal de la pluma hace que la lámina de la misma no esté dividida exactamente por la mitad, y las de cortejo, cuya función es resalta la morfología en los períodos o épocas de exhibición de los machos por encontrar una pareja, en todos los casos, dichas estructuras se renuevan constantemente para mantener el estado de salud del ave, por ello y muchas cosas más las plumas son una parte esencial de este grupo.

En lo referente a las diversas funciones del plumaje de las aves está el camuflaje para pasar desapercibidos ante los depredadores, el resplandeciente color de las plumas también es utilizado para atraer a las hembras de las diferentes especies que utilizan dicha estrategia conductual (Perrins, 2003).

Algunos de los pigmentos de las plumas son muy particulares y presentan

una estructura química muy interesante, dentro de ellos podemos encontrar algunos muy raros propios de algunos géneros o especies como los Turacos (i.e., Familia Musophagidae²) que presentan básicamente dos grupos de pigmentos en sus plumas, ambos de origen vegetal: la turacoverdina que da como resultado el color verde y la turacina de color rojo, ambos pigmentos relacionados con el tipo de alimentación y que curiosamente se ha observado que al tener contacto con el agua se disuelven parte de los colores del plumaje, se sabe que existen partes del cuerpo que se caracterizan por presentar colores específicos, lo que falta aún por conocer es la ruta metabólica específica para generar los colores en cada pluma, aunque se entiende que pueden alojarse inicialmente en la epidermis de estas aves y que células especiales de la epidermis forman un folículo que posteriormente dará origen a una pluma nueva con el color respectivo.



Estructura química de la Turacina, pigmento rojo presente en el plumaje de algunas especies de Turacos.

En otras aves los pigmentos de las plumas están asociados al aminoácido tirosina que es un componente mayoritario en la melanina, ésta se encuentra

²Familia de aves compuesta por 23 especies con distribución endémica al centro y sur de África.



¹La Familia Trochilidae engloba a todos los colibríes, 343 especies con distribución estrictamente americana..

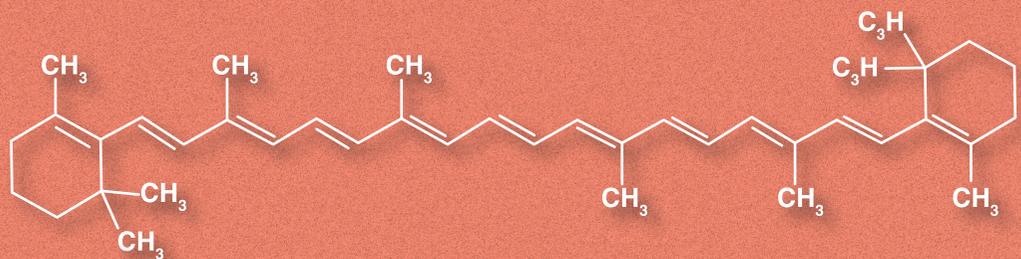


en animales vertebrados e invertebrados que genera el color negro.

Por otro lado, existen también plumas cuyos colores están relacionados con la estructura física de la misma pluma, tal es el caso de las plumas iridiscentes que cambian de color debido a la incidencia de la luz, por ejemplo, en el caso de los colibríes.

Uno de los casos más atractivos que se conocen es el color rosa intenso del Flamenco Americano, una de las observaciones iniciales que permitieron descubrir la explicación de su brillante plumaje se dio en los zoológicos de diversas partes del mundo, en donde al registrar que después de un tiempo en cautiverio los individuos presentaban procesos de "blanqueamiento", su dieta en estado silvestre incluye: algas verde-azules, invertebrados, larvas y crustáceos, particularmente de un invertebrado, la artemia (*Artemia salina* y *Artemia artemia*) la gran cantidad de pigmentos carotenoides rica en proteínas brinda el color rosado intenso de su plumaje.

Estructura de un pigmento betacaroteno:



A manera de resumen podríamos mencionar que algunos de los pigmentos de las plumas son tomados directamente del alimento, por otro lado, en algunos casos se secuestran metabolitos secundarios de algunos insectos que forman parte de su dieta y existe un factor metabólico interesante que promueve su almacenamiento, incluso su posible uso con otros fines además



Fotografías de *Phoenicopterus ruber*, individuos adultos, Flamencos Americanos, Ría Lagartos, Yucatán, especie amenazada NOM-059-SEMARNAT-2010. Manuel Becerril González

del color, finalmente hay propuestas en donde los genes y las mutaciones juegan un papel importante, hoy en día han sido tema de actualidad para comprender el leucismo³ en las aves y su efecto en la reproducción dentro de poblaciones naturales (Grouw, 2013).

¿Aves venenosas?

Cabe aclarar que cuando hablamos de animales venenosos se hace referencia a aquellos animales con estructuras morfológicas específicas para inocular venenos o toxinas, como colmillos, aguijones, picos (como en los cefalópodos, e.g. pulpos) garras y mandíbulas especiales, sin embargo, también cuando nos referimos a los venenos podemos mencionar la presencia de enzimas o sustancias que pueden ser tóxicas o que presentan un efecto

negativo para el funcionamiento del metabolismo celular, como el veneno de las serpientes, cuyo fin primero es degradar la materia orgánica y el fin último es utilizarlo como un medio de defensa contra posibles depredadores; y el caso de las plantas, en donde parte de los metabolitos secundarios utilizados como defensa se utilizan para evitar la herbivoría de hojas.

La química de la defensa de las aves es un tema que se ha discutido de manera interdisciplinaria desde mediados de los años noventa y cada vez existen más evidencias sobre la toxicidad de algunas aves. El primer caso documentado de un ave verdaderamente venenosa fue

³ Ausencia de melatonina debido a una condición genética.

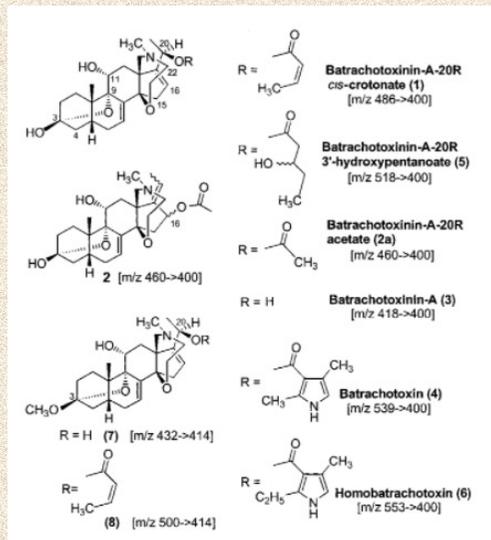
en la especie *Pitohui dichrous* conocido comúnmente como Pitohuí Encapuchado, una especie de Papúa Nueva Guinea descrita por John P. Dumbacher y colaboradores en 1992, dicha ave presenta en sus plumas, piel, estómago y músculos una molécula que había sido identificada dentro del grupo de las denominadas "ranas dardo", dichas especies se distribuyen en Centro y Sur América y generan un veneno que se almacena en la piel, en el Pitohuí Encapuchado se determinó la presencia de la batracotoxina. Posteriormente, en una segunda ocasión con la especie *Ifrita kowaldi* el mismo Dumbacher y sus colaboradores en el año 2000 descubrieron una serie de batracotoxinas interesantes. Posiblemente estas dos especies de aves al estar en contacto con los nidos y los huevos transfieran parte de estas sustancias tóxicas del plumaje para protegerlos de depredadores o parásitos.

Hoy en día se tiene registro de 95 especies de aves que producen reacciones a la salud de los humanos y están relacionadas con toxinas, algunas otras presentan reacciones a otras especies como gatos (depredadores naturales de aves), perros y ratas (Dumbacher y Pruett-Jones, 1996).

Posteriormente se han sumado a la lista otras especies que se desconocía su potencial de generar toxinas en el cuerpo, se sabe también que algunas de las especies de aves no sólo presentan dichas moléculas en las plumas, sino que se pueden encontrar alojadas en piel, músculo y órganos como el estómago, algunas de ellas lo hacen secuestrando los metabolitos secundarios de los insectos que forman parte de su dieta y a su vez dichos insectos (e.g., escarabajos) ingieren plantas tóxicas, a estos



Estructura de la batracotoxina presente en el ave *Pitohui dichrous*. Tomada del artículo de Dumbacher y colaboradores (1992). Science 258: 800.



Diferentes estructuras de la batracotoxinas y homobatrachotoxina presente en el ave *Ifrita kowaldi*. Tomada del artículo de Dumbacher y colaboradores (2000). PNAS 97: 12970.

procesos en la naturaleza se les ha denominado como Coevolución (Ehrlich y Raven, 1964).

Parte de las respuestas aún pendientes tienen que ver con casos particulares como el de la mariposa monarca *Danaus plexippus*, en donde los "pájaros cirujanos⁴" no secuestran metabolitos, por el contrario, evitan alimentarse de las partes tóxicas de la mariposa monarca. O bien el caso de los Papagayos Jacintos *Anodorhynchus hyacinthinus* cuya dieta

⁴Los pájaros cirujanos son las especies *Icterus abeillei*, *Pheucticus melanocephalus* y *Aphelocoma ultramarina* se distinguen porque son capaces de abrir el tórax y abdomen de las mariposas monarca y sólo consumen los órganos que no son tóxicos.

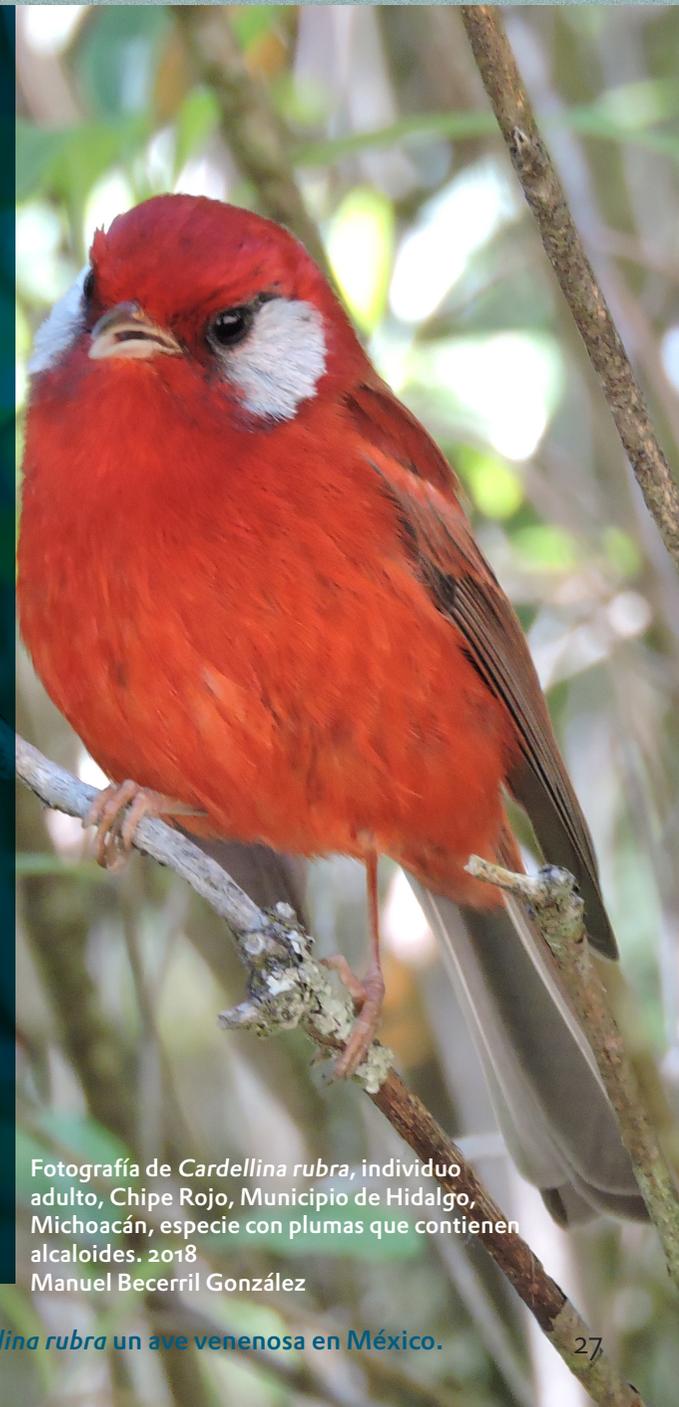
incluyen frutos y semillas tóxicas y que neutralizan el efecto venenoso al consumir lodo y barro rico en sales minerales. Estos casos ponen de manifiesto que todavía no hay generalidades en el asunto de las aves que han logrado adaptarse al consumo de alimento con sustancias tóxicas.

Sabemos también que hay registros históricos en donde el consumo de especies silvestres como la Codornis Común *Coturnix coturnix* en Europa generó problemas de coturnismo, enfermedad que se caracteriza por ser una intoxicación aguda en las personas. En este sentido cabe mencionar que se han reportado alrededor de 106 especies de plantas que son tóxicas para las aves (Gfeller y Messonnier, 1998) y que apoyan la evidencia de que aún no todo está dicho.

¡Un ave venenosa en México! El caso de *Cardellina rubra*

El denominado Chipe Rojo *Cardellina rubra* (antes *Ergaticus ruber*) es un ave de color rojo muy intenso con unas plumas de color plata a la altura de la zona auricular (Imagen 11) con una distribución en Bosques de Pino, Pino-Abeto y Pino-Encino, anteriormente se consideraba como una especie endémica del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano con registros puntuales al norte de nuestro país, sin embargo, el 09 de abril de 2018 se registró por primera vez en Tucson, Arizona EE.UU. (Base de Datos Abiertos de eBird) por lo que está a consideración como un ave con distribución cuasi-endémica para México y EE.UU. Dicha ave se puede observar en zonas arboladas y con sitios abiertos en donde atrapa insectos al vuelo (e.g., escarabajos, mariposas y avispas) y entre el follaje de árboles y arbustos.

Para dicha especie se han realizado estudios sobre su plumaje (Escalante y Daly, 1994) encontrando la presencia de alcaloides, aún no identificados de manera específica, posiblemente con efectos



Fotografía de *Cardellina rubra*, individuo adulto, Chipe Rojo, Municipio de Hidalgo, Michoacán, especie con plumas que contienen alcaloides. 2018
Manuel Becerril González

neurotóxicos graves, estos compuestos tóxicos pueden ser secuestrados de algún insecto que consume, pero además este descubrimiento apoya la teoría de la relación color-advertencia, ésta establece que los animales con colores muy llamativos son una señal de advertencia para posibles depredadores o parásitos.

Seguramente la palatabilidad para muchos depredadores puede ser muy desagradable y potencialmente venenosa, pero hasta donde sabemos *C. rubra* no tiene depredadores, siendo que convive con otras especies de aves pequeñas que son atrapadas por gavilanes de las especies *Accipiter striatus* y *Accipiter cooperii*, lo que puede apoyar la teoría de los colores de advertencia. Cabe resaltar que se sigue estudiando el caso, sin embargo, no se han encontrado publicaciones contundentes del tema.

Sólo como una curiosidad la especie cuenta con registros comunes en la zona del Ajusco en la Alcaldía Tlalpan de la CD MX y registros raros y puntuales, algunos en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México evidenciado con fotografía y la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, sitios muy próximos al Plantel Sur del CCH de la UNAM.

Finalmente está pendiente realizar una revisión detallada del Códice Florentino y el Códice Mendocino sobre la especie *C. rubra* ya que al parecer se refieren de manera muy especial y posiblemente tenga que ver con el uso de sus plumas para el "Arte Plumaria", los amantecas eran hábiles artesanos, expertos y detallistas no solo en la confección de los tocados y piezas que elaboraban con las plumas de las aves, sino que además describían de manera precisa el uso de los recursos faunísticos y brindaban información biológica importante para nuestros días.

Fotografía de *Icterus cucullatus*, macho adulto, Calandria Dorso Negro Menor, Chichén Itzá, Yucatán, ave con plumaje muy atractivo 2014, Manuel Becerril-González



Conclusiones

Como quedó de manifiesto las plumas además de su función biológica pueden ser sujetos de estudios muy detallados a nivel químico o molecular, las evidencias descritas en este trabajo pueden servir para que en el futuro se incentive el estudio de otras especies que quizá contengan estas moléculas tóxicas.

La importancia de los pigmentos en el plumaje de las aves exhibe que se trata de un tema no concluido desde el punto de vista biológico, evolutivo, ecológico y químico y que abre la puerta a una revisión mayor y más exhaustiva de dichos tópicos, cabe resaltar que este trabajo recupera información publicada por los especialistas, pero también expone la necesidad de continuar con la investigación básica para encontrar posibles respuestas aún no dadas en la ornitología (*i.e.*, estudio de las aves).

Aunque el área se centra en la descripción biológica, los profesionales de la química pueden ser un elemento muy importante en la conformación de equipos de trabajo multidisciplinario que aborden un interés en común; en otros momentos mi interés por las aves ha propiciado el trabajo con profesores de asignaturas como las matemáticas y la física, encontrando canales de intercambio de ideas y la inclusión de los alumnos en temas extraordinarios y a futuro comprender mejor el mundo que nos rodea, sin olvidar que una ciencia que no se comunica es una ciencia muerta. Agradezco al Club de Observadores de Aves del CCH Sur de la UNAM las pruebas y preguntas que me incentivan a seguir estudiando las aves, procurando dar respuesta a las inquietudes e intereses de mis estudiantes del Bachillerato Universitario.

Referencias Bibliográficas en:
Anexo 2 p. 42



Quitosano y polietileno: una alianza en contra de la contaminación

Andrea Maya-De la Rosa¹, Diana Valeria Pérez-De la Luz¹,
Ibrahim Guillermo Castro-Torres¹

Palabras clave:

QUITOSANO,
POLIETILENO,
POLÍMEROS,
CONTAMINACIÓN

¹Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades,
Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur, UNAM

Resumen

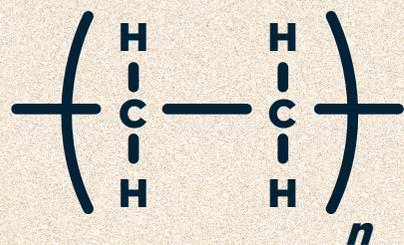
Esta investigación documental discute un tema muy importante: la mezcla entre el polietileno y el quitosano. El polietileno es el plástico más utilizado a nivel internacional, su uso indiscriminado contamina masivamente los ecosistemas y se han investigado técnicas para biodegradarlo, las cuales no han tenido gran impacto. Otra de las líneas de investigación trascendentes, consiste en acelerar su degradación mezclándolo con quitosano. Este biopolímero se encuentra en muchos crustáceos, podemos encontrarlo en abundancia y es de fácil procesamiento. En este trabajo hacemos una reflexión sobre el impacto que tendrá esta mezcla de polietileno/ quitosano, citando las ventajas y desventajas para el

ambiente, la producción industrial y su uso en humanos, partiendo del efecto negativo que ha causado la producción industrial de polietileno y la necesidad de buscar métodos que aceleren su degradación. Nuestra investigación contempla un análisis de aquéllos estudios que demuestran la contaminación por microplásticos de polietileno y la propuesta de generar una mezcla polimérica sustentable que reduzca significativamente los procesos contaminantes.



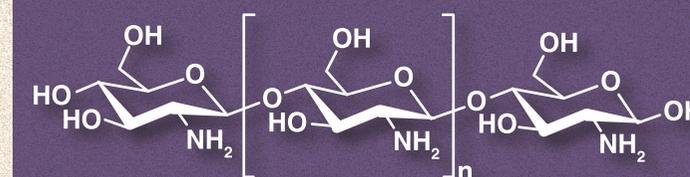
Desarrollo del trabajo

El polietileno es el polímero más abundante en todo el mundo, está clasificado como polietileno de alta y baja densidad, se utiliza para la fabricación de recipientes desechables, por ejemplo, bolsas y botellas (Figura 1) (Bardají et al., 2020). Este polímero se compone exclusivamente por átomos de carbono e hidrógeno, entre sus propiedades destacadas se encuentran: resistencia al impacto, inocuidad, importantes propiedades mecánicas, resiste a los impactos, lubricidad, entre otras (Kurtz, 1994). Una de estas características, la resistencia, es la que hace que el polietileno no pueda degradarse por microorganismos del suelo y genere una contaminación latente, incluso puede formar dioxinas que atentan contra la salud humana (Mangiarotti et al., 1994). El polietileno de baja densidad se utiliza para fabricar bolsas, que a menudo vemos en los supermercados. La bolsa de plástico se comenzó a utilizar desde los años 60's, se estima que anualmente se producen de 500 billones a un trillón de bolsas, y gran parte de ellas ha contaminado los ecosistemas (Rhodes, 2018).



La estructura química del polietileno tiene dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno repetidos a la "n" veces. Es el polímero más abundante a nivel mundial, se utiliza para elaborar las bolsas de plástico utilizadas en los supermercados.

El polietileno de alta densidad es el plástico más utilizado a nivel mundial, con él se fabrican tuberías para la distribución de agua, envases de bebidas, de líquidos para el hogar, empaques, juguetes, entre otras aplicaciones. Este polietileno puede ser más agresivo como contaminante, por ejemplo, el utilizado para fabricar botellas que almacenan un sinnúmero de productos, también contiene una tapa constituida por otro polímero, el polipropileno, convirtiéndose en un producto que contamina con dos clases de polímeros difíciles de degradar (Karaagac et al., 2021). Desde hace tiempo se ha investigado sobre la degradación microbiana del polietileno, sin embargo, no se ha llegado a una degradación total y en el ambiente tarda mucho tiempo en desintegrarse (Montazer et al., 2020). En la búsqueda de otras alternativas que disminuyan la contaminación por polietileno, se ha reportado que la mezcla entre este polímero y el quitosano puede ser un factor clave para degradarse con mayor rapidez.



El Quitosano es un biopolímero presente en el exoesqueleto de muchos crustáceos, por ejemplo, los camarones. Está formado por unidades de glucosamina.

Hay estudios que revelan que, la mezcla de polietileno y quitosano, forma un producto que se degrada fácilmente, a diferencia del polietileno que pueda tardar años; sin embargo, esta información será discutida en el desarrollo de nuestro trabajo.

Esta investigación documental se realizó con la finalidad de brindar información sobre la mezcla de polietileno/quitosano, que ha demostrado una rápida degradación, evitando contaminar el ambiente, como lo hace el polietileno, que tarda cientos de años en degradarse. Buscar alternativas para que los polímeros plásticos se degraden más rápido es un área de investigación necesaria. Está demostrado que algunos microorganismos degradan el polietileno, sin embargo, las metodologías para que se implementen en los laboratorios parecen no ser redituables, por lo que, es necesario indagar otros puntos de análisis, por ejemplo, la mezcla entre polietileno/quitosano. El quitosano es un biopolímero abundante en el exoesqueleto de crustáceos, consumidos del diario. Brindar una aplicación a los desechos de estos organismos evitaría la contaminación que se produce cuando estos o sus desechos entran en un proceso de putrefacción, aunado a que se podrían generar oficios entre las personas dedicadas a la colecta de cáscaras de crustáceos, procesamiento y obtención del quitosano, finalizando con la preparación de la mezcla con el polietileno. El nuevo polímero puede tener diferentes aplicaciones en utensilios usados por mucha gente, surgiendo una alternativa sustentable en la industria de los polímeros plásticos.

El quitosano tiene propiedades importantes que lo hacen candidato para el desarrollo de nuevos plásticos, entre ellas se encuentran, bajo peso molecular, mayor grado de desacetilación, se polimeriza rápidamente,



poco viscoso y soluble en agua (Naveed et al., 2019). Algunas de estas propiedades las comparte con el polietileno, pero este polímero es sintético y agrede nuestro entorno ecológico.

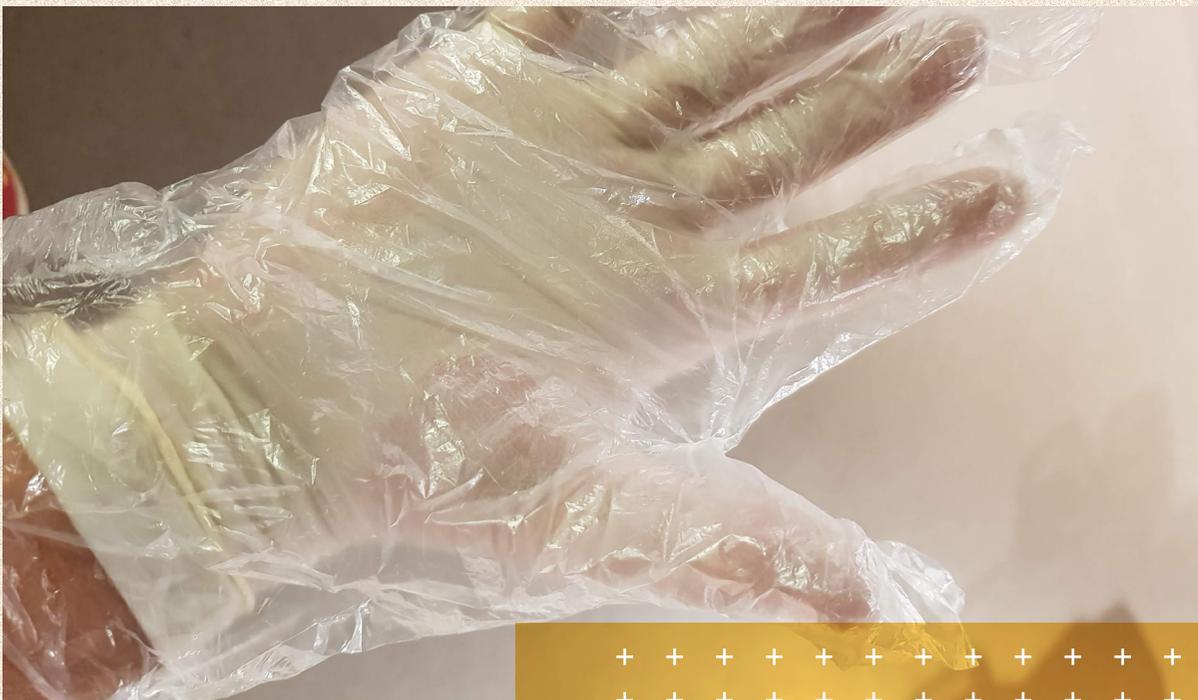
Un importante estudio demostró que, si se adiciona quitosano al polietileno, este acelera su tiempo de degradación, lo que implicaría menos daño al ecosistema. En el estudio se utilizó polietileno lineal de baja densidad, que es el más utilizado en las bolsas de supermercado y uno de los que más desastres ha causado en los ecosistemas acuáticos, este polímero se mezcló con 15% de quitosano y con anhídrido maleico. Las películas del nuevo polímero generado fueron comparadas con películas de polietileno puro y se estudió su degradación acelerada por medio de la resistencia a la tensión. Se demostró que las películas con polietileno/quitosano pierden rápidamente resistencia a la degradación a diferencia de las películas de polietileno; también, las películas de polietileno/quitosano disminuyeron 13% de su masa en condiciones bajo el suelo por 180 días, mientras que las películas de polietileno sólo redujeron 0.05% de su masa (Rodríguez-Félix et al., 2017).

Un estudio llevado a cabo en las playas de Nueva Zelanda, reveló que existe una contaminación por microplásticos que debe atenderse. De las sustancias contaminantes, se encontró que el 15% fue de polietileno, en las zonas donde se encontró este microplástico, fueron las playas de la costa oeste (Bridson et al., 2020). Como se mencionó anteriormente, las películas formadas a partir de quitosano y polietileno, reducen significativamente su masa cuando están bajo el suelo durante 180 días, por lo tanto, si realizamos plásticos que estén formados por este tipo de mezcla, lograremos disminuir significativamente la contaminación de las playas, y no sólo las de Nueva Zelanda, sino que es una estrategia que podemos aplicar en diferentes países y ecosistemas, por ejemplo, en México.

La presencia de microplásticos de polietileno en el suelo puede afectar la disponibilidad de nutrientes y, como tal, el crecimiento y la nutrición de organismos como plantas y animales (Hüffer et al., 2019). El polietileno es utilizado para fabricar mantillas agrícolas y materiales de embalaje, los residuos de estos materiales contaminan el suelo; sin embargo, se ha estu-

diado que la presencia de microplásticos de polietileno (partículas hasta de 250 μm), que tienen naturaleza hidrofóbica, puede favorecer la movilidad de contaminantes orgánicos que también sean hidrófobos, por ejemplo, la atrazina y el ácido 4-(2,4-diclorofenoxi) butírico). De esta manera, los contaminantes que no sean absorbidos en el suelo podrían adherirse a las partículas del plástico (Ambrosini et al., 2019).

Los microplásticos de polietileno no sólo han contaminado los suelos, sino que se ha estudiado su presencia en el agua, particularmente, la de consumo humano. Un estudio reveló que diferentes muestras de agua, tanto de la llave como embotellada estaban contaminadas por microplásticos, a pesar de que el PET y el polipropileno fueron los plásticos más abundantes, el agua también presentó partículas de polietileno, de un tamaño entre 1 y 100 μm (Danopoulos, 2020). Esta investigación ha demostrado que el agua que ingerimos también puede estar contaminada con polietileno, por lo que acelerar su degradación es muy importante para que no llegue a contaminar este tipo de líquido vital. La contaminación de las aguas puede deberse a la gran cantidad de plástico que se está degradando día con día en los ecosistemas, si nosotros generamos un plástico con mayor velocidad de degradación (por ejemplo, la mezcla de quitosano/polietileno) podemos contribuir a que no se contamine el agua que consumen vegetales, animales y seres humanos. La contaminación por residuos de polietileno es muy frecuente en ecosistemas como playas, ríos, suelos y, asociado con esta última región, se han investigado contaminantes presentes en regiones naturales como glaciares de alta montaña. Pareciera increíble, pero las par-

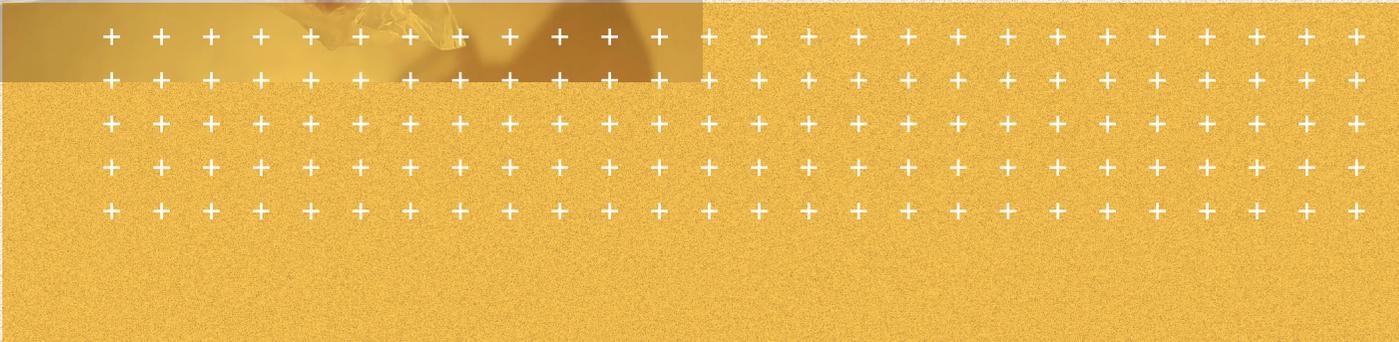


tículas de microplásticos han llegado a zonas de gran altura, producto de la actividad humana o del efecto de los vientos. Ambrosini y colaboradores reportaron el primer informe sobre la presencia de microplásticos en un glaciar, en el que determinaron poliamidas, polipropileno, poliésteres y polietileno. Se determinó que en la zona de alta montaña hay de 131

a 162 millones de artículos de plástico (Ambrosini et al., 2019). Como puede notarse, dentro de los contaminantes se encuentra el polietileno, buscar soluciones como la mezcla de polietileno/quitosano aceleraría la degradación del plástico, impidiendo que pueda llegar a contaminar ecosistemas de grandes alturas.

Otro estudio reveló que, si al quitosano se le modifica por reacciones químicas, particularmente la denominada acilación (uso de anhídrido maleico) puede incorporarse rápidamente a matrices de polietileno, surgiendo compuestos característicos por sus importantes propiedades medicinales, degradables y bioquímicas. Esto nos indica que, no se está trabajando en pro del ambiente, sino a favor de producir sustancias que se puedan utilizar en muchos campos de la industria (Akopova et al., 2009).

Los resultados demuestran que la mezcla de polietileno/quitosano se degrada con mayor rapidez que el polietileno, esto es un punto clave para la contaminación del medio, debido a que la permanencia de los plásticos en diferentes ecosistemas, contamina el suelo, agua, aire, animales, humanos, entre otros. Existen algunas desventajas para realizar este tipo de mezclas, porque los polímeros tienen origen diferente, estructura diferente, como tal, propiedades fisicoquímicas distintas. Uno de los grandes problemas es incorporar el quitosano al polietileno. El quitosano es hidrófilo, se degrada rápido, mientras que el polietileno es todo lo contrario, se necesitan sustancias adicionales para



hacer coexistir esa mezcla, involucrando gastos y más contaminación al medio, por uso de energías, sustancias y recursos. Los compuestos maleicos se utilizan para estabilizar la mezcla de polietileno/ quitosano, que resulta en una sustancia con mejores propiedades mecánicas.

Una de las grandes ventajas del quitosano, es que es un polímero que se puede modificar químicamente, esto le permite que pueda ser manipulable al momento de combinarlo con otra clase de polímeros. Por lo tanto, para hacer la mezcla discutida en este proyecto experimental se deberán considerar las ventajas y desventajas en los procesos industriales y el impacto en el ambiente, de esta manera se concluirá en la viabilidad de producción de este nuevo polímero.

Conclusión

La presente investigación documental demostró que la mezcla de polietileno/ quitosano forma un material que se degrada fácilmente, de esta manera, la industria puede producir sustitutos de polietileno puro, por este tipo de mezcla que reduzca la contaminación por la presencia de tanto plástico; nuestras perspectivas consideran llegar a una biodegradación rápida del polietileno o bien que se sintetice a partir de fuentes naturales, por ejemplo el etanol, materias que no provenga de los derivados del petróleo obtenido por destilación fraccionada, un ejemplo puede ser la deshidratación del bioetanol, obtenido a partir de la glucosa. Mientras tanto, proponemos la alternativa de mezclar el polietileno con quitosano para que acelere su degradación.

Referencias Bibliográficas en:
Anexo 1 p. 43



Anexo 1

La función de las hidrolasas en la degradación bacteriana del tereftalato de polietileno: una revisión documental

- Austin, H., Allen, M., Donohoe, B., Rorrer, N., Kearns, F., Silveira, R., Pollard, B., Dominick, G., Duman, R., El Omari, K., Mykhaylyk, V., Wagner, A., Michener, W., Amore, A., Skaf, M., Crowley, M., Thorne, A., Johnson, C., Woodcock, H., ... Bekkham, G. (2018, 28 marzo). *Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyestrase. Proceedings of the National Academy of Sciences*. Recuperado de: <https://www.pnas.org/content/pnas/early/2018/04/16/1718804115.full.pdf>
- Cregut M., Bedas M., Durand M. J., Thouand G. (2013). *New insights into polyurethane biodegradation and realistic prospects for the development of a sustainable waste recycling process. Biotechnol. Adv.* 31:1634–1647.
- Rabindra, P., Raju, N., (2012). Gel-Electrophoresis and Its Applications. Magdelin, S. (Compiladora). *Gel electrophoresis– Principles and basics.* (pp.15-32. Part 1). InTech.
- Devi, R.S., Kannan, V.R., Natarajan, K., Nivas, D., Kannan, K., Chandru, S. and Antony, A.R. (2016) *The role of microbes in plastic degradation. In Environ Waste Manage* ed. Chandra, R. pp. 341–370 United States: CRC Press.
- Hebert, P., & Gregory, T. (2005). *The Promise of DNA Barcoding for Taxonomy. Systematic Biology*, 54(5), 852–859.
- Ikenaga, K., Inoue, T., & Kusakabe, K. (2016). *Hydrolysis of PET by Combining Direct Microwave Heating with High Pressure. Procedia Engineering*, 148, 314–318. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.442>
- Kathiresan, K. (2003). *Polythene and Plastics-degrading microbes from the mangrovesoil. Revista de Biología Tropical*, 51(3-4), 629-633. Retrieved June 07, 2021, from
- Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F. and Nava-Saucedo, J.E. (2008) *Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques – a review. Chemosphere* 73, 429–442.
- McNaught, A. (1997). *Compendium of chemical terminology* (Vol. 1669). Oxford: Blackwell Science.
- Magnin A., Pollet E., Phalip V., Avérous L. (2019c). *Evaluation of biological degradation of polyurethanes. Biotechnol. Adv.* 39:107457.
- Pakdaman, B., & Mohammadi, E. (2013). Chapter 1 introduction to bioremediation. *In Fungi as Bioremediators* (pp. 3–27). Springer-Verlag.
- Peng R. T., Xia M. L., Ru J. K., Huo Y. X., Yang Y. (2018). Microbial degradation of polyurethane plastics. *Chin. J. Biotechnol.* 34 1398–1409.
- Reguero, M. (2014). La secuenciación del DNA: consideraciones históricas y técnicas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 5-8.
- Sangale, M.K., Shahnawaz, M. and Ade, A.B. (2012) *A review on biodegradation of polythene: the microbial approach. J Bioremediation Biodegrad* 3, 1–9.
- Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A. and Ahmed, S. (2008) *Biological degradation of plastics: a comprehensive review. Biotechnol Adv* 26, 246–265
- Sivan A. (2011). *New perspectives in plastic biodegradation. Current Opinion in Biotechnology*, 22: 422-426.
- Sutto, P. (2012). Estudio de la actividad en síntesis e hidrólisis de la esterasa recombinante lipc de haloarcula marismortui en medios de reacción no convencionales (p. 11). consultado el 4 de febrero de 2021 en <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/56>
- Wei R., & Zimmermann W. (2017a). *Biocatalysis as a green route for recycling the recalcitrant plastic polyethylene terephthalate. Microb. Biotechnol.* 10 1302–1307
- Wilkes, R., & Aristilde, L. (2017). *Degradation and metabolism of synthetic plastics and associated products by Pseudomonas sp.: capabilities and*

- challenges. Journal of applied microbiology*, 123(3), 582–593.
- Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K. et al. (2016) *A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). Science* 351, 1196–1199.

Anexo 2

La química del plumaje y el caso de *Cardellina rubra* un ave venenosa en México.

- Birkhead, T., Wimpenny, J., & Montgomerie, B. (2014). *Ten thousand birds*. Princeton University Press, Princeton and Oxford. United States of America, pp. vii-480.
- Clements, J.F., Schulenberg, T.S., Iliff, M.J., Robertson, D., Fredericks, T.A., Sullivan, B.L. & Wood, C.L. (2014). *The eBird/Clements checklist of birds of the world*, version 6.9. Disponible en línea: <http://www.birds.cornell.edu/clements-checklist/download/>
- Dumbacher, J.P., Beehler, B.M., Spande, T.F., Garraffo, H.M., & Daly, J.W. (1992). Homobatrachotoxin in the genus *Pitohui*-chemical defense in birds? *Science* 259: 582-583.
- Dumbacher, J.P. & Pruett-Jones, S. (1996). *Avian chemical defense*. University of Chicago, United States of America, pp. 142-155.
- Dumbacher, J.P., Spande, T.F. & Daly, J.W. (2000). *Batrachotoxin alkaloids from passerine birds: A second toxic bird genus (Ifrita kowaldi) from New Guinea*. *PNAS*, 97: 12970-12975.
- Ehrlich, P.R. & Raven, P.H. (1964). *Butterflies and plants: A study in coevolution*. *Evolution* 18: 586-608.
- Escalante, P. & Daly, J.W. (1994). *Alkaloids in extracts of feathers of the Red Warbler*. *Journal of Ornithology*, 135: 410.
- Gfeller, R. & Messonnier, S. (1998). *Handbook of Small Animal Toxicology & Poisonings*. Mosby. United States of America, pp. 323-326.
- Grouw, H.V. (2013). *What colour is that bird? The causes and recognition of common colour aberrations in birds*. *British Birds*, 106: 17-29.
- Navarro-Sigüenza, A.G, Rebón-Gallardo, M.F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A.T., Berlanga-García, H. & Sánchez-González, L.A. (2014). *Biodiversidad de aves en México*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: 476-495.
- Perrins, C. (2003). *Firefly Encyclopedia of Birds*. *Firefly Book*. United States of America, pp. 17-18, 292-293.
- SEMARNAT. (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección Ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-Categorías de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo*. *Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, pp. 28.

Anexo 3

Quitosano y polietileno: una alianza en contra de la contaminación

- Bardají, D.K.R., Moretto, J.A.S., Furlan, J.P.R., & Stehling, E.G. (2020). *A mini-review: current advances in polyethylene biodegradation*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(2), 32.
- Kurtz, S.M. (1994). *The UHMWPE Handbook: Ultra high molecular weight polyethylene in total joint replacement*. San Diego California: Elsevier Academic Press.
- Mangiarotti, A.M., Caretta, G., Nelli, E., & Pioletti, E. (1994). *Biodeterioro de materiales plásticos por Microhongos*. *Boletín Micológico*, 9 (1-2), 39-47.
- Rhodes, C.J. (2018). *Plastic pollution and potential solutions*. *Science Progress*, 101(3), 207-260.
- Karaagac, E., Koch, T., & Archodoulaki, V.M. (2021). *The effect of PP contamination in recycled high-density polyethylene (rPE-HD) from post-consumer bottle waste and their compatibilization with olefin block copolymer (OBC)*. *Waste Management*, 119, 285-294.
- Montazer, Z., Habibi Najafi, M.B., & Levin, D.B. (2020). *Challenges with verifying microbial degradation of polyethylene*. *Polymers (Basel)*, 12(1), 123.
- Lárez-Velásquez C. (2003). *Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos*. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4(2), 91-109.
- Rodríguez-Guzmán, C.A., González-Estrada, R.R., & Bautista-Baños, S. (2019). *Efecto del quitosano en el control de Alternaria sp. en plantas de jitomate en invernadero*. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1-7.
- Naveed, M., Phil, L., Sohail, M., Hasnat, M., Baig, M.M.F.A, Ihsan, A.U., Shumzaid, M., Kakar, M.U., Mehmood Khan, T., Akabar, M.D., Hussain, M.I., & Zhou, Q.G. (2019). *Chitosan oligosaccharide (COS): An overview*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 827-843.
- Rodríguez-Félix, D.E., Quiroz-Castillo, J.M., Castillo-Ortega, M.M., Lizárraga-Laborín, L.L., García-Duarte, T., García-Bedoya, D., Cruz-Campas, M.E., Ramírez-Leal, R., & Herrera-Franco, P.J. (2017). *Degradación acelerada de películas de polietileno con quitosano compatibilizadas con anhídrido maléico*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 99-107.

Bridson, J.H., Patel, M., Lewis, A., Gaw, S., & Parker, K. (2020). *Microplastic contamination in Auckland (New Zealand) beach sediments*. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110867.

Hüffer, T., Metzelder, F., Sigmund, G., Slawek, S., Schmidt, T.C., & Hofmann, T. (2019). *Polyethylene microplastics influence the transport of organic contaminants in soil*. *Science of the Total Environment*, 657, 242-247.

Ambrosini, R., Azzoni, R.S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., & Parolini, M. (2019). *First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier*. *Environmental Pollution*, 253, 297-301.

Danopoulos, E., Twiddy, M., Rotchell, J.M. (2020). *Microplastic contamination of drinking water: A systematic review*. *PLoS One*, 15(7), e0236838.

Akopova, T.A., Vladimirov, V.A., Zhorin, A., & Zelenetskii, A.N. (2009). *Solid-state synthesis of amphiphilic chitosan-polyethylene systems by the maleinization of both components*. *Polymer Science Series B*, 51, 124-134.



Química