

CAPÍTULO 5. LOS HONGOS COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL ESTUDIO DEL PLÁSTICO COMERCIAL (PET)

Avance de investigación

Luis Felipe Collado

Leticia Guadalupe Navarro Moreno

Universidad del Papaloapan

Resumen

La contaminación que se genera por el uso en exceso de plásticos como el polietilentereftalato el cual es usado para el almacenamiento de bebidas refrescantes, es debida principalmente al manejo inadecuado que este recibe una vez cumplida su función. Además, los recipientes desechados quedan acumulados en el ambiente. Esto constituye un problema, ya que el plástico al no ser un material biodegradable podría pasar años sin sufrir algún cambio. Esto se pensaba hace algún tiempo. Hace poco se descubrieron algunos microorganismos como hongos y bacterias capaces de usar algunos tipos de plástico como el polietileno como fuente de carbono. Sin embargo, hasta el momento no se cuenta con reportes de microorganismos que puedan usar el polietilentereftalato o sus derivados como fuente de carbono. Por esta razón, el presente trabajo se centra en identificar una serie de microorganismos que pudieron crecer en un degradado químico alcalino de polietilentereftalato.

Palabras clave. Hongos microscópicos, Polietilentereftalato, Biodegradación, Contaminación

Introducción.

Los plásticos o polímeros sintéticos tienen poco más de 100 años de historia. El auge de estos compuestos se debe al químico estadounidense Leo Baekeland, quien llevó a cabo la síntesis del primer polímero completamente sintético conocido como baquelita, (usado en aparatos electrónicos como los radios) en 1909 (Miravete, 1995). Este constituyó un invento novedoso ya que se trata de un material resistente a solventes, maleable y cuando se encuentra a temperatura ambiente adquiere buena dureza. A partir de este invento se comenzaron a dejar de lado los materiales naturales y se inició una revolución por los polímeros sintéticos.

Estos nuevos materiales fueron aceptados rápidamente desplazando a los naturales como la madera, el caucho o el cuero ya que, a diferencia de los ya mencionados, los plásticos son más económicos, aparte de poder ser sintetizados en grandes cantidades. La forma más conocida en la que podemos encontrar los plásticos en el ambiente son las botellas, las cuales son ampliamente usadas en el embotellamiento de diversas bebidas refrescantes y agua a nivel mundial. Esto se puede ver en la gran variedad de compañías y marcas de bebidas que año tras año salen a la venta y son consumidas por las personas.

La gran mayoría de estas botellas o embaces están fabricadas de polietilentereftalato comúnmente conocido como PET, el cual es un polímero termoplástico, lineal, semi cristalino, con una baja permeabilidad a los gases oxígeno o dióxido de carbono. Este polímero puede ser procesado mediante extrusión o inyección (Hayden y cols; 2013).

Actualmente, en todo el mundo existe un gran problema de contaminación originado por el desperdicio, la falta de reutilización o de reciclaje del polietilentereftalato (PET). Lo anterior origina que el ambiente sufra los embates ocasionados por los altos niveles de acumulación de este material tanto en tierra como en agua. Relacionado con lo anterior se ha reportado que en el planeta existen “islas de plástico”; dos en el Océano Pacífico, dos en el Atlántico y una en el Indico. Se desconoce la cantidad exacta de plásticos en los mares, pero se estiman unos 5-50 billones de fragmentos de plástico, sin incluir los trozos que hay en el fondo marino o en las playas (GREENPEACE, 2016). Entre los efectos que ocasionan estos materiales en el mar se puede mencionar que pueden ocasionar que los haces de luz no puedan llegar al fondo del mar en donde las plantas interrumpen sus ciclos metabólicos. En este lugar, y por efecto de las características de salinidad y de las corrientes marinas se ha reportado la existencia de micro plásticos, los cuales son ingeridos por los peces. Lo anterior podría generar que el ser humano los consuma y le generen daños. De igual manera se han reportado estos casos en animales terrestres que se encuentran frente a este tipo de residuos plásticos. Cuando los desechos se encuentran en los vertederos de basura, su tratamiento resulta más difícil debido a que la combinación con otros tipos de desechos obstaculiza, en gran parte, su manejo.

En México, la Asociación Nacional de la Industria Química, es el encargado de llevar un registro sobre la producción, importación, exportación y el consumo del polietilentereftalato. En la figura

1 se puede observar que existe una mayor producción de plástico en comparación con lo que se consume anualmente en nuestro país (ANIQ, 2018). Esto indica que hay un excedente de PET, del cual no se sabe si está confinado; en forma de desecho o si recibe de algún tratamiento.

Estos datos indican la importancia que posee este polímero en el país. De igual manera, puede ocasionar problemas ambientales desde su incorporación en el mercado mexicano.

La Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, LXIII Legislatura reportó, en 2017, que el consumo de bebidas carbonatadas, almacenadas en botellas de PET mayormente, trajo como consecuencia el uso de 450 mil toneladas de plástico aproximadamente. De igual manera, el uso de agua embotellada también representa un problema ya que, la Cámara reportó que en el 2014, se consumieron 234 litros por persona, lo que generó 21 millones de botellas de PET al día, de las

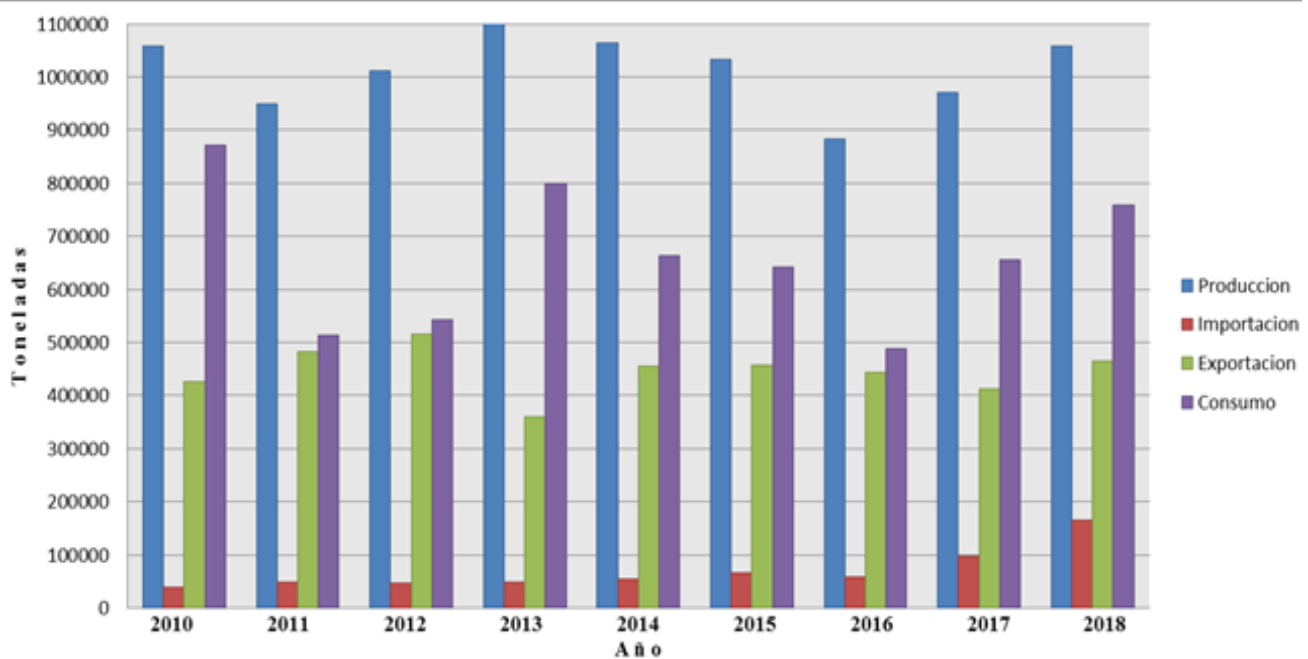


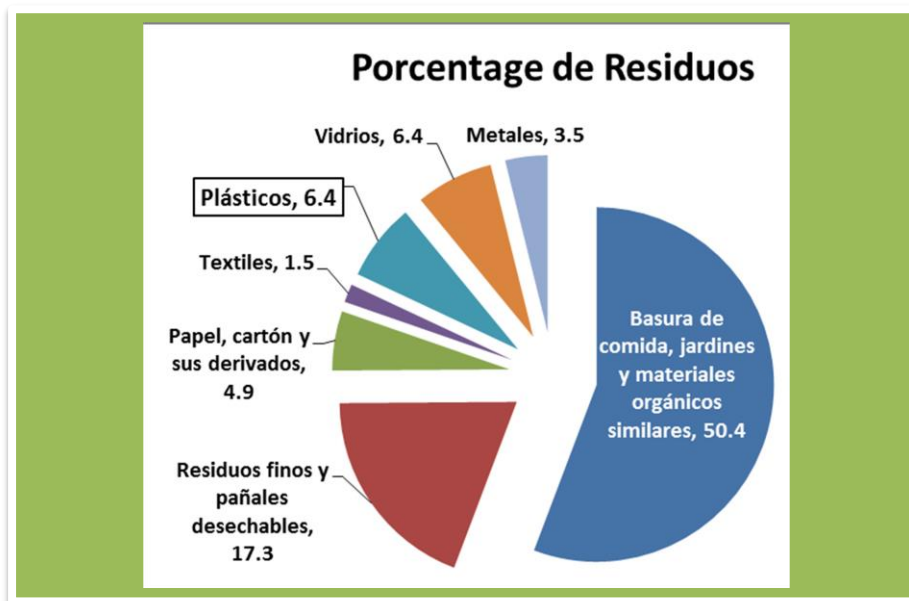
Figura 1. Producción y consumo de polietilentereftalato en México durante el periodo 2010-2018 (Datos tomado de ANIQ, 2018)

cuales sólo se recicló el 20 %. La Cámara argumentó que la tercera parte de la basura doméstica en México se debe a los envases de PET, ya que se producen aproximadamente nueve mil millones de botellas al año mismas que no son bien manejadas como residuo de importancia capital.

Lo anterior indica que, en México se produce más plástico del que se requiere, dando lugar a más basura de este tipo en el país, agravando el problema de la contaminación.

En particular en el estado de Oaxaca, se generan alrededor de 3,804.09 toneladas por día de residuos de los cuales solo 30% aproximadamente dispone de algún tratamiento o almacenamiento, mientras que el resto no tiene ninguna clase de procesamiento. Además, en Oaxaca existen más de 209,926 tiraderos a cielo abierto ubicados en distintas partes del estado tales como terrenos baldíos, cañadas, riberas y a orillas de carreteras, los cuales están contaminando tanto aguas superficiales como subterráneas y por ende el suelo y áreas naturales a sus alrededores generando problemas en la salud humana y en los ecosistemas (COPLADE, 2017). Observando la gráfica se puede ver que los plásticos constituyen el 6.4 % de los desechos que se generan diariamente en diferentes zonas del estado.

En la gráfica 1 se muestra la composición promedio de los residuos sólidos domiciliarios.



Gráfica 1. Residuos sólidos domiciliarios del estado de Oaxaca (García, 2013).

En la **Figura 2** se pueden observar parte de la composición de los desechos que se generan en diversos puntos de la ciudad de Tuxtepec, Oaxaca. Los plásticos se colocan con toda la basura.



Figura 2. Tiraderos de basura revuelta con plástico en varios sitios de la Ciudad de Tuxtpec, Oaxaca (Fuente: Acervo persona de Luis Felipe Collado).

Existen diversas formas para poder llevar acabo la degradación. Entre ellas se encuentran las siguientes.

- Degradación física mecánica
- Degradación física térmica
- Degradación por radiación
- Degradación Química
- Biodegradación

Entre las alternativas para el tratamiento de los residuos de PET se encuentran la degradación química; proceso irreversible en el cual se le ocasiona un cambio a la estructura del material y se

caracteriza principalmente por la pérdida de sus diversas propiedades. Este proceso puede ser llevado a cabo por diversos fenómenos como el calor, la humedad, radiación solar o de manera enzimática.

Específicamente, para llevar a cabo la degradación química de polímeros sintéticos como el PET, esta consiste en romper las cadenas poliméricas, formando derivados más cortos que se pueden desechar de manera más práctica. Al llevar a cabo este proceso, se pueden perder propiedades tanto físicas como químicas, originando cambios físicos en el material. La figura 3 muestra una reacción de degradación química, en medio básico, del PET. Existen otros tipos de degradaciones para este material en las cuales se varían las condiciones de reacción cambiando el tipo de álcali, usando ácidos, aumentando o disminuyendo la temperatura de reacción o la cantidad de sustrato.

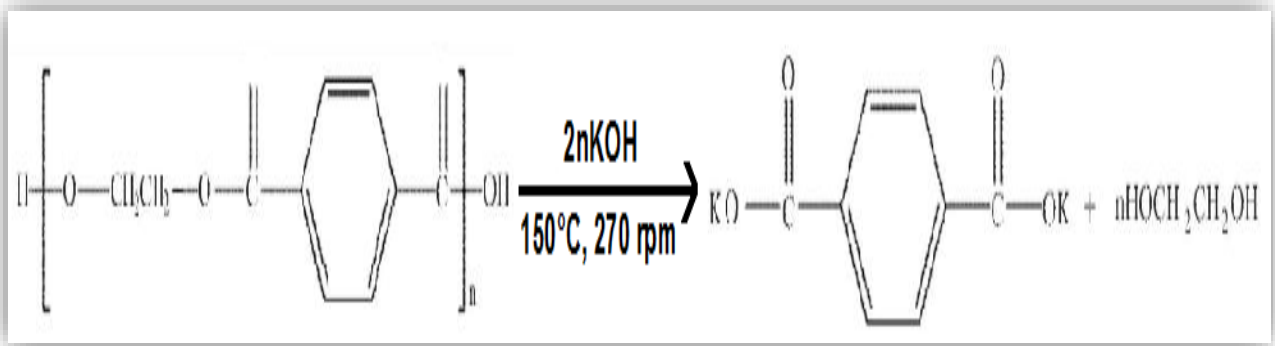


Figura 3. Degradación química del polietilentereftalato (Ramírez, 2010)

Durante mucho tiempo se pensó que los plásticos no podían ser biodegradados. Como se sabe, la biodegradación se lleva a cabo en la biosfera, debido a que los microorganismos tienen el papel principal durante el proceso. Además, se deben tomar en cuenta dos grandes factores, el primero relacionado con los ciclos metabólicos y el segundo con el ambiente en el cual los microorganismos se desarrollen (Ríos 2010). La biodegradación de polímeros implica la participación de reacciones enzimáticas sobre los constituyentes del material, lo cual sugiere la activación o inducción de enzimas constituyentes las cuales, en situaciones de estrés, reaccionan

ante el estímulo que para ellas representa entrar en contacto con materiales poliméricos (Navarro 2012., Reyes 2016).

Hoy en día se ha descubierto que varios microorganismos presentan la capacidad de llevar a cabo la degradación de algunos tipos de plásticos.

En relación con el PET, que es el material base de este trabajo, durante mucho tiempo se pensó que este no era sensible al ataque microbiano. Sin embargo, los microorganismos poseen mecanismos gracias a los cuales se pueden adaptar a las condiciones cambiantes de su entorno, y tomando en cuenta todo lo anterior, se podría postular que, bajo ciertos ambientes, los microorganismos podrían ser capaces de degradar el polietilentereftalato (Navarro, 2012).

Dentro de la literatura se han reportado varios trabajos relacionados con la biodegradación de algunos tipos de materiales plásticos, entre ellos se pueden citar los siguientes.

Méndez en 2007 llevó a cabo el aislamiento de cepas de hongos micromicetos que provenían de un relleno sanitario en lima Perú. Obtuvo más de 30 muestras a partir de las cuales aislaron 20 cepa. Al identificarlas se encontraron: *Aspergillus flavus*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Nigrospora*, de las cuales un 25% de estos podían degradar polietileno a la temperatura de 20°C (Méndez, 2007).

En la ciudad de México, la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, realizó un estudio de degradación de ácido teraftálico, el cual es un precursor para la síntesis química del polietilentereftalato. Para ello se realizó un aislamiento de microorganismos provenientes de tiraderos de basura donde se concentraban botellas de plásticos. Una vez que se obtuvieron las cepas de microbianas, se dejaron crecer en presencia del ácido teraftálico en un lapso de 7 a 15 días de incubación. Se detectaron espirilos, bacillus Gram (-), cocos Gram (+) y Gram (-). Se observó que la bacteria *Comamomas testosteroni* presentó capacidad de degradar el ácido tereftalico bajo condiciones aerobias (Carreón, 2008).

Se han publicado más trabajos en donde se han reportados microorganismos con la capacidad de degradar polietilenos de baja y alta densidad ya que poseen la capacidad de usar este plástico como sustrato. En el laboratorio de Bioquímica Aplicada a las Ciencias Ambientales de la Universidad del Papaloapan, se llevaron a cabo reacciones de degradación química de PET, como

un primer intento de combatir la contaminación ocasionada por los residuos plásticos. Una de esas reacciones consistió en poner a reaccionar trozos de PET comercial con hidróxido de potasio y butanol, mezcla con la cual se logró degradar este material, dando como resultado la formación de un polvo de color blanco, correspondiente a tereftalato de potasio según se muestra en la reacción descrita en la figura 3. Con este polvo se preparó una solución al 1.5% con hidróxido de potasio 4M, y un pH de 10 en un frasco de vidrio limpio, este se dejó abierto por lapso de cinco días y después se cerró. Después de cuatro meses, se observó la formación de un material de tipo algodonoso de color oscuro dentro del frasco. Meses después, el material alcanzó un tamaño considerable. A partir de este, se tomó una muestra en la campana de flujo laminar y al verla al microscopio se observó presentaba hifas y esporas. Esta observación se llevó a cabo por triplicado y se llegó a la conclusión de que muy probablemente se trataba de un hongo. La figura 4 muestra la formación observada en el frasco con residuos alcalinos de PET.



Figura 4. Conglomerado de apariencia algodonosa y de color oscuro formado en el recipiente que en donde se resguardó la muestra de degradado alcalino de PET (Fuente: Acervo personal de Luis Felipe Collado).

EL aislamiento de los microorganismos crecidos en este degradado podrá ayudar a conocer los géneros microbianos que son capaces de crecer con el producto de degradación como fuente de carbono y, de la misma manera, proporcionaran material biológico con el cual iniciar una serie de estudios relacionados con el efecto de este tipo de contaminantes en el crecimiento y metabolismos de los microorganismos. Estos datos podrán ayudar, a su vez a establecer posibles

protocolos de trabajo en los cuales uno de los objetivos fundamentales será el tratar de proponer protocolos de experimentación y trabajo en el área de la biodegradación. Ello implica adentrarse en el estudio bioquímico, ecológico y microbiológico de las cepas aisladas.

En este trabajo no se pretende disminuir la contaminación por microorganismos, se desea estudiar un grupo de organismos que fueron capaces de crecer y desarrollarse en condiciones adversas, las cuales se generaron a partir de una técnica de degradación química de uno de los contaminantes más ampliamente distribuidos en el planeta.

Lo anterior puede justificar la puesta en marcha de este trabajo. Pensando a futuro se debe tener en cuenta la biodegradación, la cual es un proceso que ocurre en el medio ambiente atribuido a los diversos microorganismos como son las bacterias y los hongos. Esto es debido a que son capaces de adaptarse al entorno en el cual se encuentren. Este trabajo de aislamiento de las cepas podrá proporcionar la información concerniente a saber quiénes son estos organismos y a partir de ello conocer o establecer las condiciones óptimas para su crecimiento y su estudio. De forma adicional los resultados obtenidos darán pie a trabajos en los cuales se investiguen los posibles mecanismos de resistencia, así como su posible aplicación en la degradación de diferentes plásticos. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos al aislar e identificar los microorganismos que crecieron en el degradado alcalino de PET

Materiales y métodos

Para el aislamiento inicial de los microorganismos, y teniendo en cuenta que se había observado hifas y esporas, se llevó a cabo la siembra mediante la técnica de picadura en cajas Petri con el medio de cultivo Agar papa y dextrosa (PDA) en condiciones de esterilidad. Lo anterior se realizó picando el agar en varias zonas del medio. Se incubó a 35°C y se registraron las observaciones de su crecimiento cada 24 horas considerando sus características morfológicas (tamaño, color de las colonias y características propias de crecimiento en el medio de cultivo) y microscópicas (tipo de esporas, tipo de hifas, coloración y tamaño de las mismas).

Una vez crecidos los microorganismos, se realizó una selección en base a las características macro y microscópicas como coloración, aspecto y pigmentación. Posteriormente fueron resembrados

nuevamente en PDA de forma individual y cuidando que no estuvieran contaminados con otros hongos, levaduras o bacterias.

Una vez que se obtuvieron las cepas, fue llevada a cabo la identificación de los hongos en el Laboratorio de Microbiología Clínica del instituto Nacional de Ciencias médicas y Nutrición Salvador Zubirán con la Q.F.B. Andrea Rangel Cordero en la ciudad de México.

La identificación comenzó con la evaluación de las características microbiológicas que presentó cada hongo (morfología de las cepas, coloración, tipo de micelio, hifas, coloración de hifas, tipo de esporas etc.). Para esto se llevó a cabo la siembra de los hongos en cajas Petri con medio solido Agar Dextrosa Sabouraud. Una vez crecido el hongo se cortó cinta adhesiva y con ella se tomó una muestra del microorganismo, Esta se colocó sobre una porta objetos limpio el cual contenía una gota de azul de algodón, posteriormente se adicionó una gota de azul de algodón sobre la cinta adhesiva y se colocó un cubre objetos. Se llevó a cabo el análisis en el microscopio y se realizaron las observaciones pertinentes, mismas que fueron comparadas con lo ya reportado en el libro Medical Important Fungi 5th Edition, de Davise H. Larone.

Resultados.

Se realizó la siembra del conglomerado de la solución en tres cajas Petri con PDA estériles y se realizaron las observaciones por un lapso de 20 días. Al transcurrir el tiempo se fueron observando varios tipos de colonias, las cuales se fueron diferenciando una a una. La figura 5 muestra una composición de fotografías en donde se puede apreciar cómo fueron desarrollándose varios tipos de colonias. A partir de estas muestras se procedió a aislar las diferentes colonias y se lograron obtener cuatro diferentes hongos y una levadura.

Los hongos fueron etiquetados de la forma en la que fueron aislados y de esa manera se identificaron mediante las técnicas indicadas previamente. Los hongos identificados fueron

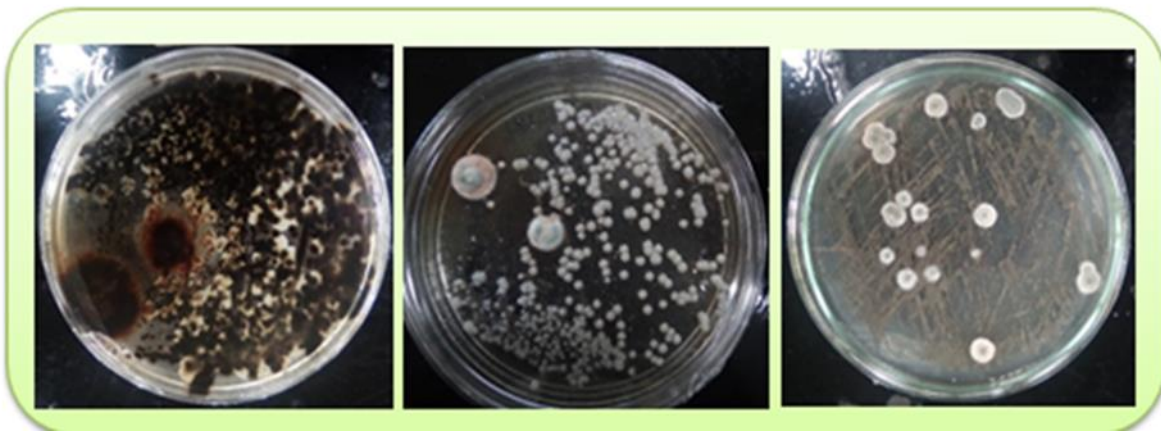


Figura 5. Cultivos iniciales en PDA del conglomerado crecido en un degradado alcalino de PET (Fuente: Fotografías propiedad de Luis Felipe Collado).

Cepas de hongos aislados y caracterizados macro y microbiológicamente y mediante técnicas de identificación molecular.

Para ello se tomó una muestra del hongo blanco y del hongo con coloración café, así como del hongo verdoso de la parte del centro con coloración blanco junto a la gota roja, de igual manera del hongo gris que se encontraba en el borde de la caja. Estos fueron sembrados en cajas Petri con medio PDA para obtener cepas puras. Se sembró mediante la técnica de picadura, en condiciones de asepsia n el medio PDA.

Resultados de los hongos aislados

Se obtuvieron cuatro hongos en condiciones de pureza los cuales presentaron características morfológicas muy diferentes. A continuación, se detalla cada uno.

1.- Hongo blanco.

En la figura 5 se muestra el crecimiento del hongo aislado de la caja 1. Crecieron colonias de color blanco, algodonoso y en la parte posterior de detecto una coloración negra en el centro con el borde de color blanco. A las 24 horas se observó que la colonia comenzó a generar micelio de color blanco con consistencia algodonosa. A las 48 horas la muestra creció manteniendo su

coloración oscura en la parte posterior de la caja. A las 72 horas no se observó una gran diferencia además de que creció unos pocos milímetros de más. el microorganismo fue identificado como *Acremonium sp* y entre sus características microscópicas, con un aumento de 100X, se encontró presencia de esporas en forma de conidios e hifas hialinas no septadas la figura 6 muestra las características coloniales y microscópicas del hongo.

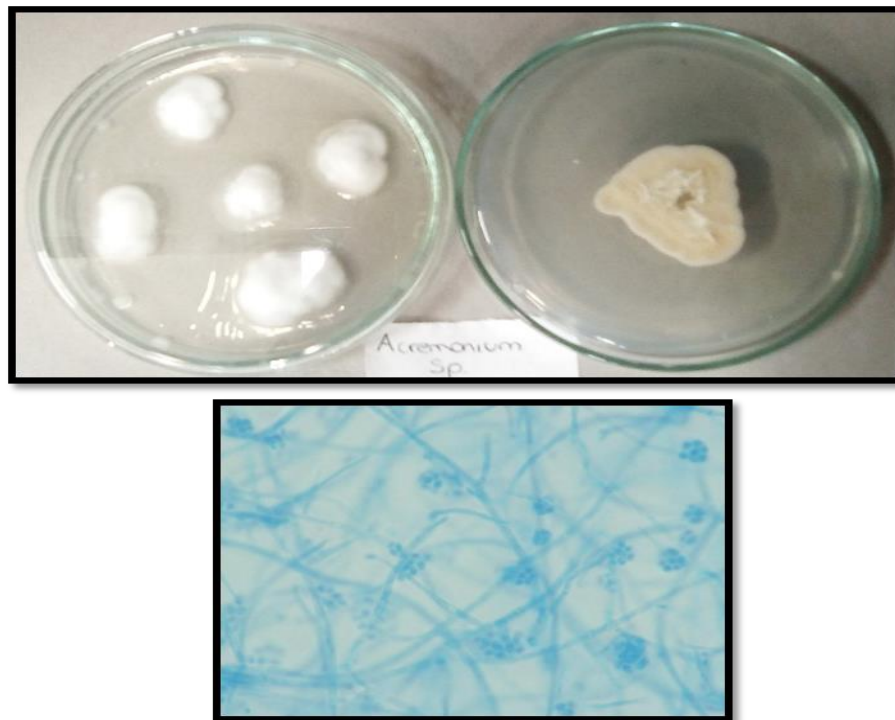


Figura 6. Características Macro y microscópicas de *Acremonium sp* aislado de un degradado alcalino de PET (Fuente: Acervo personal de Luis Felipe Collado y Lucero Vázquez Velasco miembro del equipo de investigación del Laboratorio “Bioquímica Aplicada a las Ciencias Ambientales” de la Universidad del Papaloapan)

2.- Hongo café

En la figura 7 se puede apreciar que al inicio la coloración es café con tonos de color naranja. Presenta un borde de color blanco algodonoso en la parte delantera de la caja y en la parte posterior con la misma coloración en el centro y blanco al contorno. Al pasar los días, la coloración cambia a rosa oscuro, y en el reverso de la caja se puede distinguir un pigmento rosa a rojizo oscuro, a partir de 7 días se observa violeta oscuro. Microscópicamente, con aumento de 100X,

presenta hifas hialinas macrosifonadas con abundantes microconidios. Se identificó como *Fusarium proliferatum*.

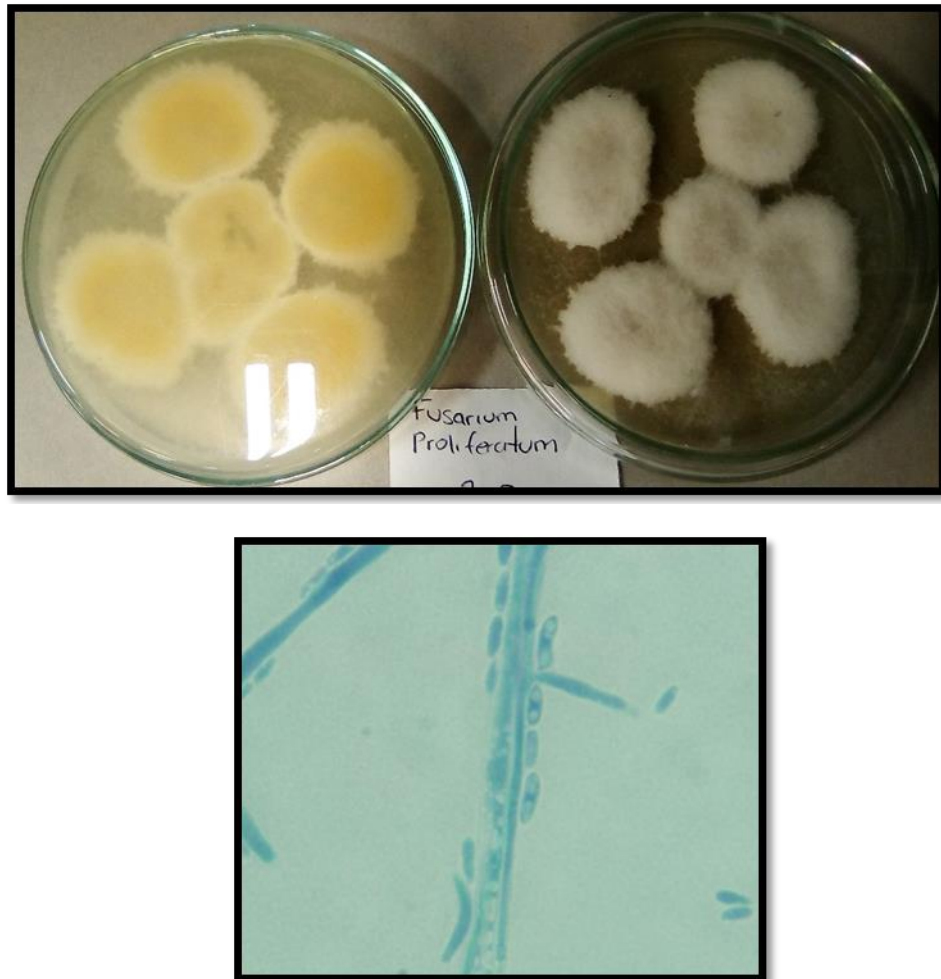


Figura 7. Características Macro y microscópicas de *Fusarium proliferatum* aislado de un degradado alcalino de PET (Fuente: Acervo personal de Luis Felipe Collado y Lucero Vázquez Velasco miembro del equipo de investigación del Laboratorio “Bioquímica Aplicada a las Ciencias Ambientales” de la Universidad del Papaloapan)

3.- Hongo Rojo

En la Figura 8 se observa un hongo que al frente de la caja muestra una morfología colonial de tipo algodonosa de color blanco, y el fondo del agar teñido de color rojo. La colonia presentó un centro de color negro en el centro de la misma a partir de la cual se propagó el pigmento rojo.

Microscópicamente a 100X, presentó una morfología parecida al género *Penicillium*, sin embargo, las características coloniales corresponden al hongo *Talaromyces sp.*

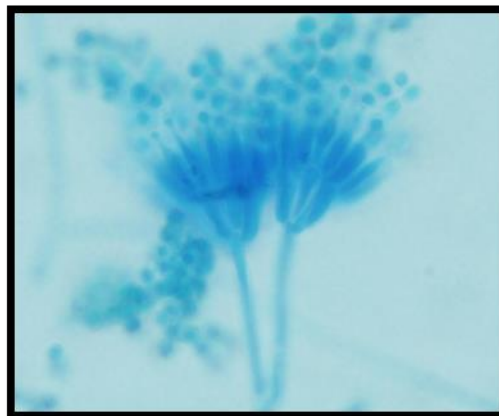
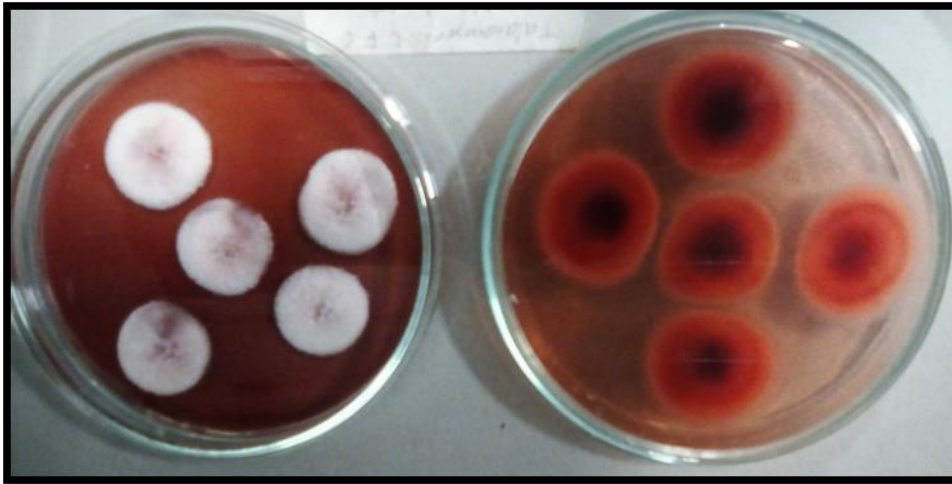


Figura 8. Características Macro y microscópicas de *Talaromyces sp* aislado de un degradado alcalino de PET (Fuente: Acervo personal de Luis Felipe Collado y Lucero Vázquez Velasco miembro del equipo de investigación del Laboratorio “Bioquímica Aplicada a las Ciencias Ambientales” de la Universidad del Papaloapan).

4.- Hongo negro.

En la figura 8 se observa el hongo de color negro. De los cuatro, este hongo fue el que creció de forma más rápida y a partir de los seis días comenzó a esporular, llenando la caja de estas estructuras. Su aspecto macroscópico es filamentoso con centro oscuro y filamentos orientados a los lados de la colonia. Tiene el aspecto de una maraña de cabellos. No tiñe el medio. Microscópicamente a un aumento de 40X presenta conidiosporas con cabeza radial e hifas hialinas.

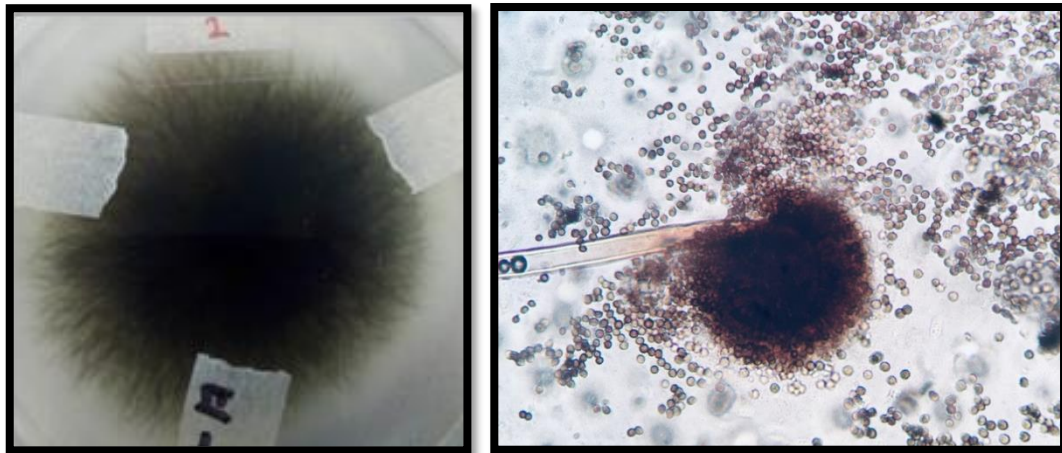


Figura 8. Características Macro y microscópicas de *Aspergillus sp* aislado de un degradado alcalino de PET (Fuente: Acervo personal de Luis Felipe Collado y Lucero Vázquez Velasco miembro del equipo de investigación del Laboratorio “Bioquímica Aplicada a las Ciencias Ambientales” de la Universidad del Papaloapan).

5.- Levadura roja.

Junto con los hongos, se detectó el crecimiento de colonias con características macroscópicas diferentes a las de los hongos. Esta presentó una coloración roja y creció formando agrupaciones circulares de pequeño diámetro (3-4 mm), con color rojo de aspecto lechoso y brillosas. Cuando se procedió a identificarla se supo que se trata de *Rhodotorula sp*. Esta se creció en el medio mediante la técnica de estría y las colonias se separaron una de otra. Una de sus características es que cuando se desea sembrarla, al tomar la muestra se forma un hilo pegajoso d tipo mucilaginoso.

La figura 9 muestra el crecimiento de la levadura en el medio SDA.

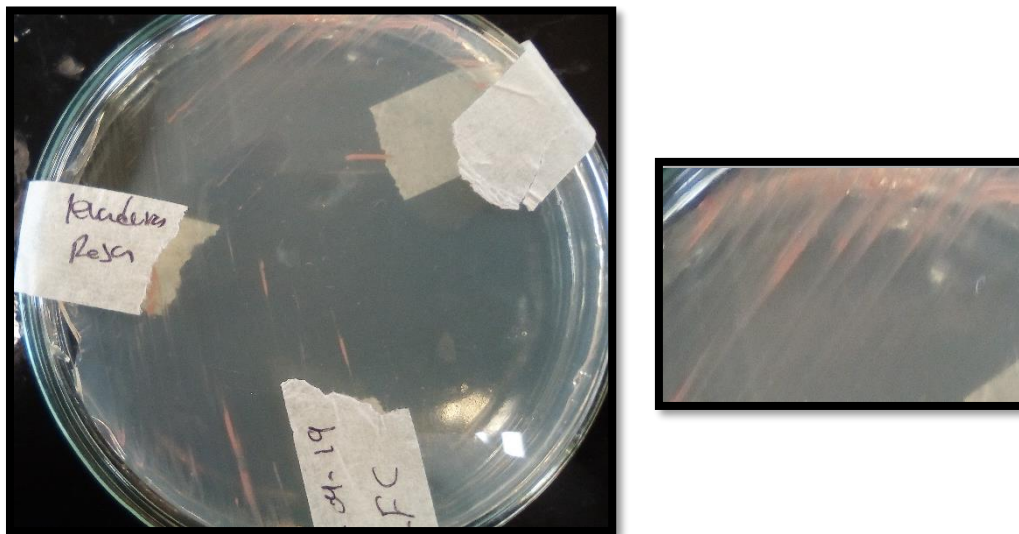


Figura 9. Características Macro y microscópicas de *Aspergillus sp* aislado de un degradado alcalino de PET (Fuente: Acervo personal de Luis Felipe Collado).

Discusión y Conclusión preliminar.

El problema de la contaminación ambiental por plásticos es un fenómeno multifactorial, dentro del cual se pueden generar varias líneas de investigación. Una de ellas es la que se ha generado en este trabajo. Lo que se mostró en este escrito fue la primera parte de un proyecto que tiene como finalidad el estudio de cuatro especies de hongos aislados de un conglomerado que creció en un degradado alcalino de polietilentereftalato, el cual fue disuelto en hidróxido de potasio 4M a un pH de 10. Se ha descrito que el producto de esta reacción es el tereftalato de potasio, el cual en su estructura cuenta con unidades de carbono en forma de un anillo bencénico unido a dos carboxilos en posiciones orto y para, como se indica en la introducción de este trabajo. Bajo estas condiciones este grupo de microorganismos crecieron y fueron capaces de soportar las condiciones de basicidad y pH del medio. Sin embargo, para que ello sucediera debió pasar mucho tiempo.

Lo anterior podría resultar un tanto increíble y en lugar de ello resultaría más fácil pensar que ningún microorganismo podría crecer bajo estas condiciones, sin embargo, y si se revisa la

bibliografía científica, muchos científicos han documentado la existencia de seres microscópicos como las bacterias, en especial las arqueas, que son capaces de vivir en condiciones muy extremas, soportando el medio ambiente al desarrollar las capacidades metabólicas responsables de su supervivencia. Esta es la base de la teoría de la evolución por selección natural postulada por el científico Charles Darwin, quien postuló que los organismos tienden a desarrollar capacidades que les ayudan a adaptarse a las condiciones cambiantes del medio circulante.

Lo anterior puede ayudar a establecer la idea de que, en este caso, cuando el frasco se dejó abierto, un gran número de microorganismos y sus formas de resistencia, las esporas, entraron en contacto con el medio líquido. Muchos de ellos pudieron morir bajo las condiciones del medio en el que habían llegado y algunos pudieron tener la capacidad de adaptarse. En este caso la presión de selección la constituyó el medio alcalino a pH 10. Los organismos que pudieron expresar determinantes proteicos u otras moléculas como posibles mecanismos de defensa fueron los que pudieron crecer en el medio a una velocidad baja, la cual estuvo en función de la capacidad para poder inducir los mecanismos de protección.

Una vez ya establecidos, los microorganismos pudieron crecer un poco más. Posiblemente debido este crecimiento generó un fenómeno de simbiosis entre los integrantes de la comunidad microbiana que creció en el degradado. Muchas especies viven en comunidad debido a que ello les asegura la supervivencia ya sea por el número de integrantes o por que unos a otros pueden intercambiar sustancias o sustratos requeridos por los demás miembros. Ejemplos de ellos se pueden ver en el mar, en la tierra y en las comunidades de las regiones tropicales. Uno de los ejemplos más fascinantes a este respecto lo constituye la hipótesis que indica cómo fue que las mitocondrias pasaron de ser bacterias de vida libre a ser los organelos energéticos de las células eucariotas, proceso en el cual ambas estructuras obtuvieron beneficios mutuos.

Se obtuvieron cuatro hongos y una levadura, los que seguramente deben de tener características diferentes a las especies que no han sido sometidas a esa presión de selección. Esto abre un campo de estudio a nivel genético, el cual podría dar explicación al hecho de que los hongos crecieran en estas condiciones. Posiblemente adquirieron la capacidad de poder hidrolizar las moléculas que formaban parte de los productos de la degradación del PET. La realización de análisis genéticos podría dar luz a un gran número de información al respecto.

Se han estudiado varios mecanismos de defensa de los hongos ante algunos agentes tóxicos, como los metales pesados. Entre ellos se han mencionado algunos que consisten en procesos que ayudan a metabolizarlos y transformarlos en compuestos que pueden ser fácilmente excretados; otros ayudan a evitar su entrada o a aumentar su salida de la célula. Estos mecanismos dependen de proteínas que han sido expresadas a partir del material genético y que pueden ser del tipo transportadores o enzimas. Posiblemente estos hongos y la levadura pudieron expresar enzimas capaces de romper la molécula generada como producto de la hidrólisis alcalina del PET. Lo anterior constituye un amplio campo de acción.

Adicionalmente a lo anterior otro aspecto que puede estudiarse al obtener microorganismos de este tipo es su potencial empleo como agente biodegradadores de plásticos. Partiendo del hecho de que posiblemente han adquirido la capacidad de tener nuevas enzimas, podría ser que pudieran degradar algunos tipos de plástico o posiblemente al mismo PET. Esto implica el estudio de posibles métodos de investigación para establecer protocolos de evaluación de las capacidades de degradación de estos microorganismos. En este respecto un hecho que debe tomarse en cuenta es que si los hongos y la levadura pueden conservar las propiedades de forma aislada o si deben encontrarse unidos para potenciar esta característica.

En relación con esta parte del trabajo de investigación presentado se puede decir que el medio y la contaminación del mismo puede generar especies con características que les permitan subsistir a la vez que les confieren propiedades ausentes en las cepas nativas. Lo anterior les confiere un gran potencial de investigación, mismo que podrá proporcionar una serie de datos cuyo buen manejo podrá ser usado para el beneficio del planeta al ayuda, posiblemente, a disminuir el problema de la contaminación ambiental y ayudar a regresar el valor de los ecosistemas.

Referencias

- ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química, AC). (2018). Recuperado de: <http://www.aniq.org.mx/Anuario/2019/Capitulo10/polietilen-tereftalato.html> (Consultado el 10 de octubre del 2019)
- Cámara de Diputados H. congreso de la unión LXIII Legislatura. (2017). México. Recuperado de: <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Boletines/2017/Abril/13/3469-En-Mexico-90-millones-de-botellas-de-plastico-de-refrescos-y-agua-son-lanzados-a-la-via-publica-rios-y-mares> (consultado 23 de agosto de 2018).
- Carreón I. Y. A. (2008). Aislamiento de microorganismos degradadores de tereftalato de polietileno (PET) en medio ambiente contaminado. Tesis de grado. Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- COPLADE (2017) Plan Estratégico Sectorial Medio Ambiente Oaxaca. Recuperado de: http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/11/9.1-medio_ambiente.pdf (consultado 20 de agosto de 2018).
- García J. B. (2013). Gestión de residuos sólidos mediante el método de Clúster Tesis de grado. Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- GREENPEACE España (2016). Plásticos en los océanos datos, comparativas e impactos.
- Hayden K. W., Jaimys A., Russell J. C., y Ivanova E. P. (2013). Plastic Degradation and Its Environmental Implications with Special Reference to Poly(ethylene terephthalate). *Polymers* 5, 1-18.
- Méndez R. C., Vergaray G., Béjar R. V., y Cárdenas J. K. (2007). Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradadores de polietileno. *Revista Peruana de Biología*. 13(3), 203-205.
- Miravete A. (1995). *Los nuevos materiales en la Construcción*. Barcelona, España: REVERTÉ.

Navarro M. L. G., Ramírez H. A., y Conde A. J. (2012). Degradación Biológica de PET. Congreso Participación de la mujer en la ciencia. Centro de Investigación en Óptica. León Guanajuato.

Ramírez A., Navarro M. L. G. y Conde A. J. (2010). CHEMICAL DEGRADATION OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE). Revista Colombiana de Química. 39(3), 321-331.

Reyes E. (2016). Degradación de Plásticos utilizando Bacterias y Hongos. Researchgate, Thesis.