

“BIODEGRADABILIDAD DE POLIETILENO TEREFTALATO Y DE OXOPOLIETILENO, A NIVEL DE LABORATORIO, POR LA ACCIÓN DE BACTERIAS NATIVAS PRESENTES EN HUMUS DE LOMBRIZ, CABALLO Y GALLINA”.

Mauricio F. Meza V¹.

¹Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida. Carrera de Biotecnología.

Sangolquí-Ecuador. E-mail: esmasanlame@gmail.com

RESUMEN

Los plásticos son productos muy utilizados y fabricados en grandes cantidades, sin embargo, debido a su difícil degradación se han vuelto un serio problema ambiental a nivel mundial. Esta investigación tuvo como finalidad, sentar un precedente ó alternativa en la remediación ambiental causada por la producción indiscriminada de plásticos. Se trabajó con bacterias nativas de tres tipos de humus: lombriz, caballo y gallina; así también con muestras de polietileno tereftalato y oxopolietileno las cuales fueron trituradas hasta obtener finas partículas para ser utilizadas como única fuente de carbono del medio de cultivo para las bacterias. La biodegradación se determinó mediante el peso residual [mg] de los plásticos durante 1 mes y 5 días. Al finalizar la investigación se obtuvo que las bacterias del humus de caballo biodegradaron un 10,89% de polietileno tereftalato; mientras tanto las bacterias nativas del humus de lombriz biodegradaron el 39.99% de oxopolietileno.

PALABRAS CLAVES: Plásticos, Biodegradación, Humus, Polietileno tereftalato, Oxopolietileno.

ABSTRACT

Plastics are widely used and manufactured products in large quantities, however, they are very difficult degradation have become a serious environmental problem worldwide. This research aimed to create a precedent or alternative environmental remediation caused by indiscriminate production of plastics. Native bacteria were worked with three types of humus: worm, horse and chicken, and also with samples of polyethylene terephthalate and oxopolietileno which were ground to obtain fine particles to be used as a sole carbon source of the culture medium for bacteria. Biodegradation was determined using the residual weight [mg] of plastics during 1 month and 5 days. At the end of the investigation it was found that bacteria biodegraded horse humus 10.89% of polyethylene terephthalate, and meanwhile the native bacteria biodegraded vermicompost the 39.99% of oxopolietileno.

KEY WORDS: Plastics, Biodegradation, Humus, Polyethylene terephthalate, Oxopolyethylene

INTRODUCCIÓN

Los plásticos en general son productos muy utilizados y fabricados en grandes cantidades, sin embargo, debido a su difícil degradación se han vuelto un serio problema ambiental a nivel mundial (*Allsopp et al., 2007*).

Cada año alrededor de 500.000 billones de botellas y un trillón de bolsas plásticas son fabricados en el mundo (*EPA, 2012*). En América Latina 31,5 kilos de envases y fundas son consumidos al año por habitante (*Uribe et al., 2010*). En el Ecuador la producción de plástico en el 2011 presentó un 16% más que el año 2010 lo que representó alrededor de US\$1.500 millones de ingresos (*Banco Central del Ecuador, 2011*).

Las investigaciones de bacterias, actinomicetos y hongos han adquirido importancia, debido a que biodegradan de manera efectiva a los plásticos o a su vez, determinan las condiciones favorables para realizar esta acción en el ambiente (*Bonhomme et al., 2003*).

Un estudio pionero realizado por Kinoshita Shugita y su equipo entre 1975 y 1980, descubrió en aguas residuales de una fábrica de nylon un tipo de *Flavobacterium* que tenía la capacidad de romper la

estructura del nylon en subproductos para su asimilación (*Negoro et al., 2007*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de muestras

Se trabajó con tres diferentes tipos de humus: lombriz, caballo y gallina adquiridos en IASA I, Fuerte Militar Yaguachi y Hacienda Campo Fértil (Cayambe) respectivamente. Las muestras de polietileno tereftalato fueron adquiridas en un supermercado local, mientras que las muestras de oxopolietileno fueron recolectadas de un restaurante. Ambos sitios se encuentran ubicados dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

Pre-tratamiento del polietileno tereftalato y del oxopolietileno

Las muestras de polietileno tereftalato y de oxopolietileno se recortaron y se pesaron por separado junto con Cloruro de Sodio (NaCl) según *Burd, 2008*. Posteriormente se licuaron hasta obtener finas partículas de los dos tipos de plásticos. Una vez finalizado este proceso se filtró en papel filtro la mezcla del NaCl y de plástico. Se lavó con agua destilada. Finalmente se secó el papel filtro en la estufa a 130°C.

Adaptación y obtención de biomasa de las bacterias nativas de los humus

La adaptación y obtención de la biomasa se procedió con incubar a los frascos enriquecidos (humus + plástico + medio de crecimiento) a temperatura ambiente a 22°C por 30 días controlando su crecimiento y parámetros de cultivo como disponibilidad de luz, temperatura, pH y oxigenación.

Biodegradabilidad de los dos tipos de plástico

Luego de 30 días de adaptación, la biodegradabilidad se la determinó mediante el peso residual (miligramos) a través del tiempo, es decir, que se estimó los miligramos de pérdida del peso residual de los plásticos por acción de las bacterias nativas de los humus durante 1 mes y 5 días.

RESULTADOS

La biodegradación de los dos tipos de plásticos se los determinó cada 7 días por 1 mes y 5 días mediante la pérdida de su peso. En la figura 1 se puede observar la tendencia de los datos correspondientes a la pérdida de peso de los polímeros, presentando al día 35 como el valor máximo alcanzado del porcentaje de reducción de peso de los plásticos por las bacterias nativas de los humus.

Se puede apreciar que los valores de mayor porcentaje de pérdida de peso que alcanzaron fueron los obtenidos con el humus de caballo para el polietileno tereftalato y el humus de lombriz para el oxopolietileno (Figura 1).

Biodegradación de los dos tipos de plásticos

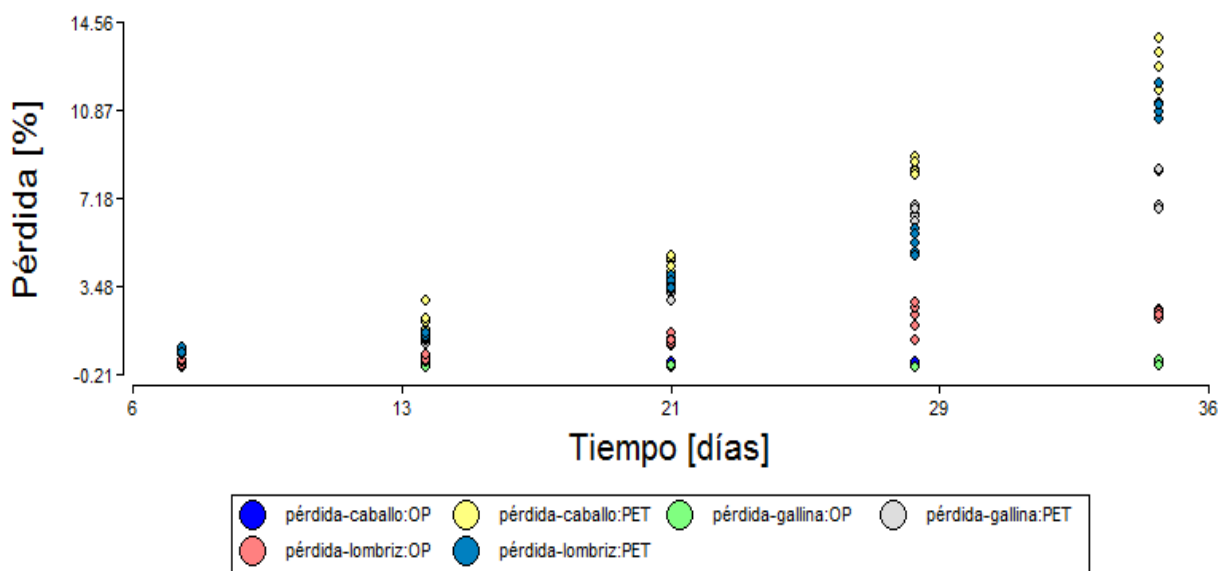


Figura 1 Biodegradación de los dos tipos de plásticos durante 1 mes y 5 días (Meza, 2012).

Biodegradación del polietileno tereftalato

Para el polietileno tereftalato, al finalizar los 35 días del tiempo experimental, se determinó que las bacterias del humus de caballo biodegradaron un 10,89% (Figura 2) siendo este el valor máximo alcanzado entre los humus que fueron utilizados para el estudio.

Mientras tanto, como se puede observar en la figura 2 la biodegradación del polietileno tereftalato con el humus gallina a los 35 días fue del 6,64%.

Por último, el proceso de biodegradación del polietileno tereftalato con el humus de lombriz fue del 7,87%, siendo este el segundo mejor tratamiento de los tres probados durante la investigación (Figura 2).

Biodegradación del polietileno tereftalato

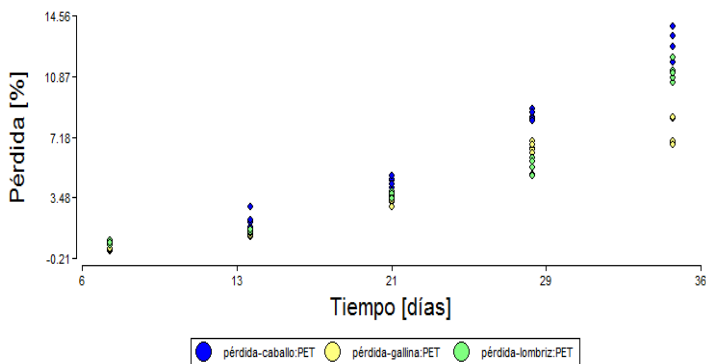


Figura 2 Biodegradación del polietileno tereftalato durante 1 mes y 5 días (Meza, 2012).

Biodegradación del oxopolietileno

Al culminar los 35 días de exposición del oxopolietileno con las bacterias del humus de caballo, se determinó que la disminución fue de un 6,49%, presentando su valor más alto en el día 35 como se muestra en la figura 3.

Las bacterias nativas del humus de gallina, luego del tiempo de experimentación con el oxopolietileno, biodegradaron un 5,28% siendo este el valor más bajo entre los humus utilizados (Figura 3). La tendencia en los datos fue casi lineal lo que indica que a pesar del transcurso de los días las bacterias no degradaron mayor cantidad de este plástico.

La biodegradación del oxopolietileno por acción de las bacterias nativas del humus de lombriz fue significativa alcanzando un 39,99% como el valor máximo durante 1 mes y 5 días entre los tres humus (Figura 3). Además se puede observar que al pasar el tiempo el porcentaje de pérdida de peso del plástico va aumentando con esa tendencia hasta el día 35.

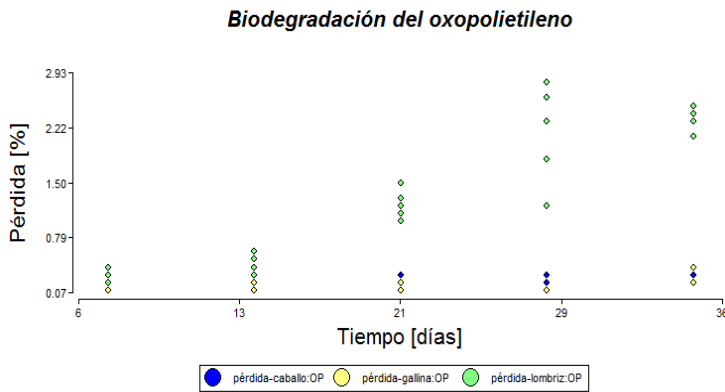


Figura 3 Biodegradación del oxopolietileno durante 1 mes y 5 días (Meza, 2012).

DISCUSIÓN

La Biodegradabilidad o biodegradación es un proceso metabólico y enzimático realizado por los microorganismos como bacterias y algunos hongos, los cuales secretan enzimas que se encargan de romper la estructura molecular del plástico reduciéndolo (degradándole) en su peso a través del tiempo (Tokiwa, 2009).

Alonso y su equipo (2008) para cuantificar la biodegradación de un tipo de plástico, evaluaron la pérdida de peso del polímero por acción de uno o varios microorganismos en un tiempo determinado.

Por su parte *Sonil et al.*, (2010) estableció que la biodegradación es la comparación entre el peso inicial y final del plástico antes y después de la incubación de

este junto con los microorganismos en estudio en un tiempo dado.

Se pudo determinar que el humus de caballo degradó un 10,89% de polietileno tereftalato en comparación al humus de gallina y lombriz que degradaron un 6,64% y 7,87% respectivamente (figura 23), esto se debe a que este tipo de plástico presenta gran resistencia contra agentes químicos, no se deforma y se degrada térmicamente a una temperatura de 260°C (Reyes, 2009) y además no es susceptible al ataque microbiano debido a sus características hidrófobas, tamaño, peso molecular y densidad.

Cabe mencionar también que se realizaron varios estudios en donde los porcentajes de degradación fueron del 40,5%; 37,5% y 33% a 40°C y 50°C respectivamente (*Sonil et al.*, 2010), comparando estos valores con los obtenidos anteriormente y a un rango de 19°C hasta 22°C, las diferencias radican en la temperatura porque el proceso de biodegradación está en función de esta, ya que influye en los cambios de la composición tanto física como química de los microorganismos (*Desai et al.*, 2006).

Sin embargo los resultados que se obtiene en el estudio de la biodegradación de diferentes tipos de plástico ya sea a otra temperatura y con diferentes microorganismos se relacionan entre sí, ya que todos *presentan un porcentaje de*

biodegradación en función a las condiciones ambientales a las que trabajaron. Así como *Kumari et al., (2009)* obtuvo un 26,5% de degradación a 35°C. Mientras que *Uribe et al., (2010)* en su estudio de biodegradación por acción de consorcios microbianos aislados de muestras de suelo logró un 4,09%; 6,47% y 19,77%.

Por su parte, el porcentaje de biodegradación para el oxopolietileno (figura 24) fue de 39,99%, valor obtenido por la acción de las bacterias nativas presentes en el humus de lombriz debido a que este polímero presenta características físicas similares con los polímeros sintéticos (Figura 1), pero dentro de su estructura molecular se encuentran grupos hidroxilo (OH), lo que les dan características hidrofílicas para ser susceptibles al ataque de los microorganismos (*Segura, 2007*).

Además los otros dos tipos de humus caballo y gallina respectivamente solo degradaron un 6,49% y 5,28% (Figura 24), lo que indica que las bacterias de estos humus necesitan mayor tiempo de adaptación a esta fuente de carbono (*Bonhomme et al., 2003*).

Tiempo de vida media

Alrededor de 8 millones de toneladas de residuos llegan al océano cada día, siendo uno de los principales factores para la destrucción de la fauna y flora marina ya que los residuos que se encuentran en su totalidad ahí son objetos hechos a base de plástico como botellas, fundas, tapas etc. (*ECOMUNDO, 2011*).

Estos materiales se van acumulando en el océano paulatinamente, ya que su tiempo de vida media puede ser de hasta 1000 años (*EPA, 2012*).

Cabe mencionar que el tiempo de vida media es el tiempo necesario para que la concentración de un producto se reduzca la mitad de su valor inicial (*Sauer, 1999*).

Por su parte, el polietileno tereftalato presentó un tiempo de vida media de 170 días, lo que indica que una botella de este plástico que pesa aproximadamente 20 g, su tiempo de vida media será de 13135 días (36 años) y según *ECOMUNDO (2011)* las botellas de polietileno tereftalato tienen un tiempo de vida media promedio de 300 a 500 años, lo que significa que la acción de las bacterias del humus de caballo pueden disminuir el tiempo de vida del polietileno tereftalato y ser una alternativa para controlar la

contaminación del ambiente por los plásticos.

Mientras tanto, el tiempo de vida media del oxopolietileno fue de 46 días. Lo que indica que una funda de alrededor de 6 g de peso tendrá un tiempo de vida media de 3742 días (10 años). Según *GREENPEACE (2011)* las fundas de plástico presentan un tiempo de vida media promedio de 35 a 60 años, lo que quiere decir que se puede reducir el tiempo de vida media de este tipo de plástico por acción de las bacterias del humus de lombriz convirtiéndose así en otra herramienta para combatir la contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

- ❖ Las bacterias nativas de los humus de gallina, lombriz y gallina crecieron obteniendo la fuente de carbono a partir de los plásticos que fueron objetos de estudio.
- ❖ Estadísticamente el humus de caballo degradó un mayor porcentaje (10.89) de polietileno tereftalato.
- ❖ Los humus de gallina y lombriz estadísticamente son iguales pero necesitaron mayor tiempo de adaptación para biodegradar más efectivamente al polietileno tereftalato.

- ❖ El humus de lombriz fue el mejor tratamiento estadísticamente al biodegradar de forma efectiva al oxopolietileno con un 39.99%.
- ❖ Estadísticamente el humus de caballo y gallina son iguales entre sí presentando un 6,49 y 5,28 por ciento de biodegradación para el oxopolietileno.
- ❖ El tiempo de vida media del polietileno tereftalato es de 170 días.
- ❖ El tiempo de vida media del oxopolietileno es de 46 días.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Agatángelo, J.; 2007 “Estudio del comportamiento cinético de los microorganismos con modelos matemáticos”. Universidad de Barcelona, España. En línea: (<http://www.tdx.cat/handle/10803/5691>).
- ❖ Al-Holy, M.; 2006. “Inhibition of *Listeria innocua* in Humus by a Combination of nisin and citric acid”. Zarqa Jordan. Universidad Hashemite. En línea:

- <http://www.eis.hu.edu.io/deans/hipfiles/pub10424702.pdf>.
- ❖ Allsopp, M.; Walters, A.; 2007. "Contaminación por plásticos en los océanos del mundo". En línea:
(<http://www.greenpeace.org/ra/w/content/espana/reports/contaminacion-por-plasticos-en.pdf>)
 - ❖ Alonso, M.; Lozano, A.; Madregal, S.; Vilte, E.; Apaza, A.; Saravia, J.; 2008. "Degradación de poliestireno y polipropileno con microorganismos de vermicompost". En línea:
(<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/aidis12/plasticos.pdf>).
 - ❖ Altamirano, F.; 2010 "Investigación de la carga microbiana del compost y el humus de lombriz". Universidad de Jujuy – Argentina. En línea:
<https://sites.google.com/site/steeelpulse06/investigandolamicrobiolog%C3%ADadelhumus>
 - ❖ Arredondo, C.; (1997). "Parcelas de maíz y frijól en los valles centrales de Oaxaca". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales del Pacífico Sur. Campo experimental Valles Centrales de Oaxaca 26p.
 - ❖ Arutchelvi, J.; Sudhakar, M.; Arkatkar, A.; Doble, M.; 2008. Biodegradation of polyethylene and polypropylene. Indian Institute of Technology. Chembur – India. Vol. 7: 400-450.
 - ❖ Ausubel, F.; Brent, R.; Kingston, R.; Moore, D.; 2004."Shorts Protocols in Molecular Biology". Estados Unidos. En línea: <http://hum-molgen.org/literature/11-1999/000011.html>
 - ❖ Banco Central del Ecuador. 2011. Obtenido del Banco Central del Ecuador. En línea:
(<http://www.bce.fin.ec/>)
 - ❖ Bonhommea, S.; Cuerb, A.; Delortb, A.; 2003. Environmental biodegradation of polyethylene. *Polymer*

- Degradation and Stability*, 441-452.
- ❖ Burd, D.; 2008. "Plastic not Fantastic". En línea: (<http://wwsef.uwaterloo.ca/archives/08BurdReport.pdf>)
 - ❖ Burgess, A.; Imam, S.; Gould, J.; 2008. High Molecular weight amylase activities from bacteria degrading starch plastic films. *Applied and Environmental Microbiology*, 612-614.
 - ❖ Cacciari, I.; 1998. "Phytohormone-like substances produced by single and mixed diazotrophic cultures of *Azospirillum* sp. And *Arthrobacter*. *Plant Soil* 115:151-153.
 - ❖ Calderón, J.; 2009. "Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de lixiviados provenientes de la granja lombrícola en Tlajomulco, Jalisco". Guadalajara – México. En línea: http://www.somas.org.mx/imagenes_somas2/pdfs_libros/agriculturasostenible6/63/89.pdf
 - ❖ Cochran, G.; 2006. "Establecimiento y desarrollo de plántulas en una selva subcaducifolia manejada en la costa Pacífica de México". Universidad de Guadalajara – México. En línea: <http://www.vinv.ucr.ac.cr/latindex/rbt54-4-2006/19-Mora-Establecimiento.pdf>
 - ❖ Deportes, A.; 1995. "Tecnologías aplicadas al ambiente". España. En línea: <http://www.factorhumus.com/wp-content/uploads/estudios/Humus%20de%20lombriz/humus%20naranja.pdf>
 - ❖ Desai, A.; Vyas, P.; 2006. Petroleum and Hydrocarbon Microbiology. *Applied Environmental Microbiology*, 1-24.
 - ❖ Díaz, C.; 2007. "Cinética bacteriana de cinco cepas degradadoras de hidrocarburos y su consorcio,

en diferentes condiciones de PH y temperatura, a nivel de laboratorio y biofermentador para la producción piloto semindustrial. PEPDA, Petroproducción, campo Sacha, Ecuador 2007". Universidad Politécnica del Ejército. En línea: (<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2203>).

- ❖ ECOMUNDO, 2011. Espacio de comunicación sobre el Medio Ambiente y desarrollo sostenible a nivel Nacional e Internacional. En línea: (<http://www.revistaecomundo.com/>)
- ❖ EPA, 2012. Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos. En línea: <http://www.epa.gov/>
- ❖ Espín P., 2008. "Propuesta de desarrollo del agroturismo para uso de suelos biorremediados, en el campo sachá por PEPDA-PETROPRODUCCIÓN". Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. En línea:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1953/1/CD-2822.pdf>

- ❖ Finstein, H.; 1975. "Manual de Compostaje". Universidad de Vigo – España. En línea: http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/agricultura_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf
- ❖ Garritz, A.; 2010 "Ventajas y desventajas del impacto económico de la industria del plástico en la economía". Universidad de Antioquia. Colombia. En línea: <http://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/plasticos-de-ingenieria.pdf>.
- ❖ Gía, J.; 2012. Msc. Ing. Químico. Escuela Politécnica del Ejército. IASA I.
- ❖ Greene, J.; 2006. Biodegradation of Compostable plastics in Cowmanure compost environment. University of California – Estados Unidos, 233-240.

- ❖ GREENPEACE, 2011. Greenpeace international. En línea: (<http://www.greenpeace.org/international/en/>)
- ❖ Gutiérrez, H.; & De la Vara, R.; 2008. Análisis y Diseño de Experimentos. México: Mc Graw-Hill.
- ❖ Hernandez, A.; Osorio, T., 2008. "Humus de Lombriz y su aplicación". En línea: (<http://www.lombricultura.cl/humus>)
- ❖ Ishii, K.; Fukui, M.; Takii, S.; 2000. "Microbial succession during a composting process as evaluated by denaturing gradient gel electrophoresis analysis. J. Appl. Microbiol. 89. 768-777.
- ❖ Kirk, R.; 2005. "Composición y análisis de alimentos". México: CECSA Pearson.
- ❖ Kumari, K.; Aanad, R.; Narula, N.; 2009. "Microbial degradation of Polyethylene (PE)". CCS Haryana Agricultural University. Hisar – India. En línea: (<http://www.publish.csiro.au/journals/spjns>)
- ❖ Lee, I.; Jang, J.; Shin, P.; 1991. "Glucose effects on the biodegradation of plastics by compost from food garbage. Polymer degradation and stability. 76:155-159.
- ❖ Loza, M.; 2010. "Análisis del impacto de la industria del plástico sobre la sociedad actual". México D.F. En línea: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/rojas_p_f/capitulo1.pdf
- ❖ Meré, J.; 2009. "Estudio de un procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente". Universidad Carlos III. Madrid – España. En línea: [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10823/1/PFC Javier Mere Marcos.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10823/1/PFC_Javier_Mere_Marcos.pdf)
- ❖ Microgen Bioproducts, 2012. Microgen Bioproducts. En línea:

<http://www.microgenbioproducts.com/>.

- ❖ Miller, T.; (2005). “Ecología y Medio Ambiente”. Grupo Editorial Iberoamericana Solomón. Mc Graw Hill – Interamericana.
- ❖ Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. 2010. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. En línea (www.minambiente.gov.co/).
- ❖ Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador. 2011. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente del Ecuador. En línea (<http://www.ambiente.gob.ec>).
- ❖ Montgomery, D.; (2005). “Diseño y Análisis de Experimentos”. Segunda edición. Universidad Estatal de Arizona. En línea: (<http://www.wiley.com/legacy/college/engin/montgomery316490/studente/student.html>).
- ❖ Moore, Ch., 2011. “Seas of Plastic”. En línea: (http://www.ted.com/talks/capt_c
- [harles_moore_on_the_seas_of_plastic.html](http://www.ted.com/talks/capt_charles_moore_on_the_seas_of_plastic.html))
- ❖ Mostafa, H.; Sourell, H.; Bockisch, F.; 2010. “The mechanical properties of some bioplastics under different soil types for use as a biodegradable drip tubes”. Institute of Agricultural Technology and Biosystem Engineering, Braunschweig Germany. En línea: <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1497>
- ❖ Negoro S, Taniguchi T, Kanaoka M, Kimura H, Okada H.; 2007. Plasmid-determined enzymatic degradation of nylon oligomers. *Journal. Bacteriological*, 22–31.
- ❖ Nilanjana, R.; Ahmed, S.; 2011. “Biodegradable PVC product claim”. Michigan State University – Estados Unidos. En línea: <http://www.braskem.com.us/pdf>.

- ❖ Orhan, Y.; Hrenovic, J.; 2003. Biodegradation of plastic compost bags under controlled soil conditions. University of Zagreb – Croacia, 579-588.
- ❖ PNUMA, 2011. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. En línea: (<http://www.pnuma.org/>)
- ❖ Prasun, P.; 2011. “Ciprofloxacin conjugated zinc oxide nanoparticle: A camouflage towards multidrug resistant bacteria”. Kharagpur – India. Indian institute of technology. En línea: <http://www.ias.ac.in/matersci/forthcoming/Dec13/BOMS-D-12-00214.pdf>
- ❖ Ramos, M.; 2011. “Ingeniería de los materiales plásticos” Madrid – España. En línea: <http://www.scribd.com/doc/30779812/Capitulo-1-Ciencia-e-Ingenieria-de-Los-Materiales-Plasticos>
- ❖ Reyes, J.; 2009. “Estudio de factibilidad para la instalación de una planta de recicladora de envases de pet”. Instituto Politécnico Nacional, México D.F. En línea: (<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4504/1/I2.1119.pdf>).
- ❖ Sauer, F.; 1999. “Estudio de la cinética química”. Universidad de la Plata – Argentina. En línea: <http://catedras.quimica.unlp.edu.ar/fmacro/Cinetica.pdf>
- ❖ Sauvageau, D.; 2000. “Two-stage, self-cycling process for the production of bacteriophages”. Microbial Cell Factories. En línea: <http://www.microbialcellfactories.com/content/pdf/1475-2859-9-81.pdf>
- ❖ Segura, D.; 2007. “Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables”. UNAM, México. En línea: (http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_25_aniv/capitulo_31.pdf).

- ❖ Shah, A.; Fariha, H.; 2008. "Biological degradation of plastics". Universidad de Pakistan. En línea: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18337047>
- ❖ Sharman S.; Anjana, L.; (2004). Degradation assessment of low density polythene (LDP) and polythene (PP) by an indigenous isolate of *Pseudomonas stutzeri*. Rani Durgavati University. Jabalpur – India, 246-265.
- ❖ Shepherd, L.; 2007. "Microbial esterase and the degradation of plasticizers". University of Montreal – Canada. En línea: thermoformingdivision.com/wp.../2007-1st.pdf .
- ❖ Sonil, N.; Smiti, S.; 2010. "Biodegradability of polyethylene by *Brevibacillus*, *Pseudomonas* and *Rhodococcus spp.*". VIT University. Tamil Nadu, India. En línea: (http://www.sciencepub.net/.../15_2435ny0307_95_9).
- ❖ Tobar, K.; 2007. "Elaboración de un plan estratégico para la empresa rhenania S.A. ubicada en la ciudad de Quito". Escuela politécnica nacional. Quito – Ecuador. En línea: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/586/1/CD-0979.pdf>.
- ❖ Tokiwa, J.; 2009. "Biodegradability of Plastics". National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Higashi – Japón, 367-377.
- ❖ Tominaga, Y.; Matsukawa, K.; Nakayama, A.; 2001. Field Test of Soil Biodegradability of Biodegradable plastics in Japan. Osaka Municipal Technical Research Institute. Osaka – Japón. Vol. 41: 414-420.
- ❖ Uribe, D.; Giraldo, D.; Guitierrez, S.; Merino, F.; 2010. "Biodegradación de polietileno de baja densidad por acción de un consorcio microbiano aislado de un relleno sanitario, Lima, Perú".

Universidad de San Marcos,
Perú. En línea:([http://
www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v17
n1/a17v17n1.pdf](http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v17n1/a17v17n1.pdf))

- ❖ Villalba, H., 2011. “Peligros ambientales del uso masivo de los plásticos”. Instituto de tecnología Industrial. España. En línea: <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/medioambiente-plasticos.pdf>
- ❖ Yale University team, 2012. “Plastic-eating fungi found in the Amazon may solve World’s waste problem”. Yale University, New Haven, Connecticut, Estados Unidos. En línea: (<http://cienciaencanoa.blogspot.com/2012/05/plastic-eating-fungi-found-in-amazon.html>)
- ❖ Yang, K.; Chung, H.; Ashour, A.; 2008.” Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties”. Institute of Korea. South Korea. En línea: <http://www.concrete.org/PUBS/>

[JOURNALS/AbstractDetails.asp?ID=19826](http://www.concrete.org/PUBS/)

- ❖ Zibilske, L.; 1996. “Tillage effects on phosphorus mineralization and microbial activity. Soil Sci. 168:677-685.