

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1334>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

Hydrolyzing chicken feathers, using microorganisms: A review

Hidrolisando penas de galinha, usando microorganismos: uma revisão

Manuel Salvador Alvarez-Vera^I
malvarezv@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2521-0042>

Jacinto Enrique Vázquez-Vázquez^{II}
jvazquez@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7960-7491>

Jorge Rodrigo Castillo-Guevara^{II}
jcastillo@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4279-9626>

***Recibido:** 23 de mayo de 2020 ***Aceptado:** 19 de junio de 2020 * **Publicado:** 27 de julio de 2020

- I. Jefatura de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- II. Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- III. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

Resumen

Los residuos de la industria avícola son fuentes de contaminación si no se gestionan correctamente, incluyen desechos, vísceras, sangre y plumas, constituyéndose en residuos peligrosos por sus afecciones al ambiente. Las plumas, mayoritariamente están constituidas por queratina, una proteína recalcitrante, que es hidrolizada por queratinasas, enzimas microbianas que se presentan como una alternativa económica y amigable con el ambiente para degradar los desechos ricos en queratina. Una variedad de microorganismos a saber, tienen potencial para su aplicación en la biotecnología, con la finalidad de tratar desechos provenientes del procesamiento de aves. Varios microorganismos están involucrados en la hidrolización de las plumas de aves, entre los que se encuentran diferentes especies del género *Bacillus*, además también *Pseudomonas* sp., *Streptomyces* sp., *Rhodococcus erythropolis*, *Aspergillus*, *Fusarium oxysporum* y *Aspergillus* sp. Es necesario continuar con más investigaciones, con la finalidad de evaluar el efecto de consorcios microbianos en la degradación de plumas. El objetivo fundamental de esta investigación bibliográfica fue determinar los principales microorganismos involucrados en la hidrólisis de plumas de pollos.

Palabras claves: Hidrolización, microorganismos, queratinasas, plumas de pollo.

Abstract

The waste from the poultry industry is a source of contamination if it is not managed correctly, including waste, guts, blood and feathers, constituting hazardous waste due to its effects on the environment. The feathers, for the most part, are made up of keratin, a recalcitrant protein, which is hydrolyzed by keratinases, microbial enzymes that are presented as an economic and environmentally friendly alternative to degrade keratin-rich waste. A variety of microorganisms viz., Have potential for application in biotechnology, in order to treat waste from poultry processing. Several microorganisms are involved in the hydrolyzing of bird feathers, among which are different species of the genus *Bacillus*, as well as *Pseudomonas* sp., *Streptomyces* sp., *Rhodococcus erythropolis*, *Aspergillus*, *Fusarium oxysporum* and *Aspergillus* sp. Further research is needed to evaluate the effect of microbial consortia on feather degradation. The main objective of this bibliographic research was to determine the main microorganisms involved in the hydrolysis of chicken feathers.

Key words: Hydrolyzation, microorganisms, keratinases, chicken feathers.

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

Resumo

Os resíduos da indústria avícola são uma fonte de contaminação se não forem gerenciados corretamente, incluindo resíduos, tripas, sangue e penas, constituindo resíduos perigosos devido aos seus efeitos sobre o meio ambiente. As penas, em sua maioria, são compostas de queratina, uma proteína recalcitrante, que é hidrolizada por queratinases, enzimas microbianas que são apresentadas como uma alternativa econômica e ambientalmente amigável para degradar resíduos ricos em queratina. Uma variedade de microorganismos, por exemplo, tem potencial para aplicação em biotecnologia, a fim de tratar resíduos do processamento de aves. Vários microorganismos estão envolvidos na hidrólise de penas de aves, dentre as quais diferentes espécies do gênero *Bacillus*, bem como *Pseudomonas* sp., *Streptomyces* sp., *Rhodococcus erythropolis*, *Aspergillus*, *Fusarium oxysporum* e *Aspergillus* sp. Mais pesquisas são necessárias para avaliar o efeito de consórcios microbianos na degradação de penas. O principal objetivo desta pesquisa bibliográfica foi determinar os principais microorganismos envolvidos na hidrólise das penas de galinha.

Palavras-chave: Hidrolização, microorganismos, queratinases, penas de galinha.

Introducción

A la par del incremento poblacional, crece la demanda de alimentos, entre estos los sub productos provenientes de la industria avícola son de gran interés, debido a sus contenidos nutricionales; por tal razón, también se ha incrementado las áreas destinadas a la producción de carne de pollo. Las actividades avícolas generan enormes cantidades de residuos, que deben gestionarse adecuadamente debido a preocupaciones medioambientales, pero también para generar productos de valor añadido (Brandelli et al. 2015).

La gestión incorrecta de residuos contribuye a la contaminación del ambiente, particularmente cuando son depositados directamente en el suelo o en el agua, la descomposición de los residuos orgánicos libera olores desagradables y compuestos no deseados, que afecta a la salud de las personas. Para contribuir a la sostenibilidad en el mundo, es necesario buscar estrategias idóneas para la gestión de desechos sólidos (Ferronato et al. 2019).

Los residuos de la industria avícola, no deben ser considerados como desechos sin valor intrínseco, particularmente las plumas. La industria avícola genera grandes cantidades de desechos de plumas, que necesitan un manejo adecuado para evitar daños al medio ambiente (Maciel et al. 2016), están

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

compuestas de queratina, que es una proteína recalcitrante y es difícil de degradar (Patinvoh et al. 2016). Los procesos tecnológicos mediados por microorganismos y enzimas son alternativas prometedoras para el tratamiento de residuos recalcitrantes (Preczeski et al. 2020), los microorganismos producen diferentes tipos de enzimas extra-celulares para mantener su propio metabolismo, defensa y condición fisiológica normal (Banerjee y Ray 2017).

Las queratinas son hidrolizadas por las queratinasas en proteínas solubles, aminoácidos y péptidos (Adelere y Lateef 2019) de interés, particularmente en el campo de la agricultura, por su potencial incidencia positiva en el desarrollo vegetativo. Las queratinasas son enzimas proteolíticas que han llamado mucho la atención para convertir los desechos queratinosos que causan enormes problemas de contaminación ambiental (Abdel-Fattah et al. 2018), las plumas son proteínas queratinosas purificadas que pueden ser degradadas por bacterias y hongos (Azari et al. 2019).

Las plumas de pollo y análogas son ricas en queratina, son una importante fuente nutricional para las plantas y los animales (Korniłłowicz-Kowalska y Bohacz 2011), representan aproximadamente el 8% del peso vivo, son un gran desperdicio de las plantas de procesamiento de aves de corral (Brandelli et al. 2015), es el recurso con mayor contenido de proteínas en la naturaleza y se reutiliza poco (Li et al. 2020).

Anualmente, miles de millones de toneladas de desechos de plumas se desechan de las industrias avícolas y la mayoría se eliminan en vertederos o se incineran, lo que lleva al consumo de energía y a la contaminación ambiental (Pandey et al. 2019). Eliminar los desechos provenientes del procesamiento de las aves, de forma no adecuada, puede provocar contaminación (Do Nascimento et al. 2015), si se aprovecharan de forma correcta dejarían de ser residuos para convertirse en materia prima, a la par no contribuirían a la contaminación del ambiente.

En el mundo, el total de desechos generados en el procesamiento de carne de pollos es 45,9 millones de toneladas, esto teniendo como base un rendimiento del 70% en el procesamiento (Seidavi, A., Zaker-Esteghamati, H., & Scanes 2019), lo que evidencia el potencial de contaminación y magnitud de residuos generados. La industria avícola genera grandes cantidades de desechos de plumas, que necesitan un manejo adecuado para evitar daños al medio ambiente (Maciel et al. 2016), el componente principal de las plumas es la queratina (más del 90%) (Li 2019).

Una alternativa económica, viable y amigable con el ambiente, para tratar los residuos provenientes de la industria avícola, particularmente las plumas, es la hidrólisis mediante acción enzimática

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

proveniente de los microorganismos. La biodegradación de los desechos agrícolas, generada anualmente de granjas avícolas y mataderos, puede resolver el problema de la contaminación y al mismo tiempo dar lugar a productos de degradación valiosos (Yusuf et al. 2016), los residuos de las aves de corral, muestran importantes concentraciones de aminoácidos esenciales (Kazemi-Bonchenari et al., 2017).

Por lo tanto, es relevante conocer los microorganismos que intervienen en el proceso de hidrólisis y transforman las plumas en sub productos útiles para la humanidad, con lo que se reduce la contaminación ambiental y aprovecha los recursos. De esta forma dejamos de pensar en una economía lineal, desechando productos que constituyen materia prima para nuevos procesos. La economía circular se ha fortalecido como una vía hacia un desarrollo económico más sostenible (Ranta et al. 2018).

El objetivo principal de esta investigación documental, es conocer con certeza los microorganismos que intervienen en la hidrólisis de las plumas de aves, mediante una revisión exhaustiva de bibliografía especializada, con la finalidad de identificar los principales microorganismos involucrados en el proceso, que conlleven a ejecutar investigaciones prácticas en nuestro medio, para aprovechar las plumas procedentes de la industria avícola y contribuir al desarrollo sostenible.

Gestión de residuos de la industria avícola

Es difícil exagerar el papel que desempeña la mejora de la producción mundial de huevos y carne de aves de corral en la reducción del hambre en el mundo y la seguridad alimentaria (Athrey 2020), el consumo de subproductos de la industria avícola, forma parte importante de la dieta alimenticia. El sector avícola está desempeñando un papel muy importante en la reducción de la pobreza, la desnutrición y los problemas de desempleo (Joardar y Rahman 2018). La crianza de aves para consumo alimenticio se realiza a diferentes escalas, todas ellas generan residuos directamente proporcionales a la cantidad de aves.

Los materiales de desecho orgánicos se presentan universalmente como desechos agrícolas excedentes, desechos sólidos municipales, desechos industriales y desechos de aves de corral (Patchaye et al. 2018), que no representan ningún interés comercial. Las cadenas de suministro de alimentos enfrentan desafíos de gestión sostenible de la cadena de suministro, como la gestión de

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

residuos y los problemas medioambientales (Pohlmann et al. 2020), la gestión de los residuos provenientes de la industria avícola, merecen especial atención.

La producción avícola mundial ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos años, al igual que los desechos producidos por esta cadena (Ferreira et al. 2018), generando importantes cantidades de residuos que al no ser gestionados correctamente, pueden tener impactos ambientales negativos. El aumento de la industria de aves, conlleva al incremento en la producción de residuos sólidos como huesos, plumas y vísceras (Brandelli et al. 2015), los cuales pueden ser convertidos en productos de interés. La gestión de residuos sólidos (SWM) es una parte integral de un sistema de gestión ambiental (Das et al. 2019).

La cría de aves de corral ha sido uno de los avances más impactantes en los últimos 100 años (Athrey 2020), tanto por los productos que ofrece, así como también por los residuos generados. Si no se realiza una correcta gestión, la industria avícola genera una variedad de desechos orgánicos, que constituyen riesgos para el ambiente y la salud, a la par conllevan a pérdidas económicas (Ozdemir y Yetilmezsoy 2020). Los residuos del procesamiento de aves, mediante diversos tratamientos, pueden ser convertidos en productos y evitar su desperdicio.

El crecimiento de las industrias avícolas, depende en gran medida de la gestión eficiente de los desechos generados (Jayathilakan et al. 2012). En la actualidad los desechos se han convertido en una parte fundamental de nuestra economía (Halkos y Petrou 2016), porque pueden ser transformados y aprovechados, en este aspecto, se destacan los tratamientos biológicos.

Las granjas avícolas producen cantidad de diferentes tipos de productos de desecho (Joardar y Rahman 2018). Los rendimientos de la canal de aves de corral son típicamente alrededor del 70-75% del peso de las aves vivas, el resto se acepta como desecho no comestible (Ozdemir y Yetilmezsoy 2020). En el siglo XXI, no es sostenible pensar en modelos económicos lineales, en los que lo fundamental es transformar la materia prima y finalmente desechar los residuos. Es factible repensar en una economía circular en la que se considere todo el ciclo de vida del producto, se dé un valor agregado a los residuos, se disminuya la generación de desechos y se contribuya a la sostenibilidad ambiental.

Plumas de aves

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

Las plumas de pollo son desechos que se mezclan con despojos, sangre y otros residuos del proceso avícola (Tesfaye et al. 2018), La gran cantidad de plumas de desecho generadas cada año por las plantas avícolas comerciales crea un grave problema ambiental (Brandelli et al. 2015), son considerados desechos peligrosos (Tesfaye et al. 2018) que pueden llegar al ambiente y causar contaminación.

Con respecto al peso total del pollo, las plumas representan del 5 al 7% y se han convertido en uno de los principales contaminantes debido a su naturaleza recalcitrante (Tamreihao et al. 2019) por su contenido de queratina, que no permite su rápida degradación. Los materiales que contiene queratina, constituye una molestia en el medio ambiente como resultado de su recalcitración a la degradación por enzimas proteolíticas regulares como la pepsina, la tripsina y la papaína (Adelere y Lateef 2019), las plumas son un importante subproducto de la industria avícola (Li 2019).

Resulta interesante tanto el volumen de plumas generadas en las actividades avícolas, así como su estructura. El componente principal de la pluma es la proteína (80-90% de la cual es queratina) (Mazotto et al. 2017), las queratinas tienen amplias aplicaciones en diferentes campos (Li 2019).

La pluma de pollo, un subproducto de las industrias de procesamiento de aves de corral, se considera un suplemento proteínico de alta calidad debido a su contenido de proteína cruda de más del 85% (Peng et al. 2019). Las plumas son una fuente importante de productos ricos en proteínas así como también en aminoácidos de queratina (Cheong et al. 2017).

La recolección y el procesamiento de las plumas de pollo de las aves de corral pueden ser una nueva fuente de empleo y proporcionar oportunidades de generación de ingresos (Tesfaye et al. 2017) y dejar de ser considerados como desechos. Debido a la estructura de las plumas, estas son un potencial para la obtención de otros productos que pueden ser utilizados en el campo agrícola. Por lo tanto, necesitamos conocer más profundamente la composición de las plumas y métodos que permitan la hidrolización de la queratina para la obtención de productos más simples, que, por sus contenidos nutricionales, puedan tener aplicación en el campo agrícola en particular.

Queratina

Los materiales que contienen queratina se generan abundantemente como subproductos del procesamiento agro-industrial (Adelere y Lateef 2019) como es el caso de la industria avícola. La queratina es una proteína fibrosa recalcitrante, que representa el componente principal de varios desechos, que se liberan al medio ambiente en forma de plumas, cabello, lana, cerdas y pezuñas

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

(Hassan et al. 2020), es una clase global de material biológico, que representa un grupo de proteínas formadoras de filamentos ricas en cisteína (Shah et al. 2019).

Los desechos queratinosos que comprenden en gran medida la proteína estructural insoluble "queratina" se acumulan cada vez más en el medio ambiente principalmente en forma de plumas y cabello, generado por diversas industrias (Gupta y Ramnani 2006). La queratina se puede obtener de fuentes como plumas de animales, pelo, pezuñas y uñas (Holkar et al. 2018).

La queratina se considera un importante producto animal (Holkar et al. 2018), es el tercer polímero con mayor abundancia en la naturaleza, es una proteína recalcitrante, de estructura fibrosa (Lange et al. 2016). Las queratinas sirven como una capa de protección para los apéndices epidérmicos como uñas, garras, pico, cabello, lana, cuernos y plumas (Shah et al. 2019), es una proteína estructural insoluble y fibrosa y es abundante en la naturaleza (Kothari et al. 2017).

La queratina es la proteína fibrosa estructural más abundante del cabello, pieles, cerdas, cuernos, pezuñas y plumas de aves (Sinkiewicz et al. 2017). La digestión de los desechos de queratina tiene un alto potencial para servir como una fuente barata para la elaboración de productos de valor agregado que tienen un alto valor comercial (Lakshmi et al. 2020), por lo tanto es importante considerar técnicas que incluyan la hidrólisis por medio de enzimas provenientes de diversidad de microorganismos. La hidrólisis por medio de enzimas, es un método conocido para la degradación de la queratina (Holkar et al. 2018).

Queratinasas

Las enzimas microbianas han ganado interés por sus usos generalizados en las industrias y la medicina, debido a su estabilidad, actividad catalítica y facilidad de producción (Singh et al. 2016), el uso de enzimas para el manejo de desechos es extenso y hay varias enzimas involucradas en la degradación de contaminantes tóxicos (Singh et al. 2016). Las queratinasas son enzimas proteolíticas especializadas que atacan los sustratos de queratina altamente recalcitrantes (Kothari et al. 2017), pueden catalizar la escisión e hidrólisis de las proteínas altamente estables y fibrosas. Las queratinasas microbianas ofrecen una alternativa económica y ecológica para degradar y reciclar los desechos queratinosos en subproductos valiosos (Sharma y Devi 2018), están ampliamente distribuidas en la naturaleza y son secretadas por varios microorganismos aislados de diferentes nichos o hábitats y fuentes ambientales (Sharma y Devi 2018).

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

Las queratinasas hidrolizan la queratina, el componente principal de algunos desechos generados en muchas actividades industriales (Preczeski et al. 2020), son un tipo especial de proteasa que por las enzimas que producen durante el bio-procesamiento tiene un potencial biodegradativo para degradar los sustratos que contienen queratina (Adetunji y Adejumo 2018). Las proteasas son enzimas ubicuas que se producen en diversos sistemas biológicos que van desde microorganismos a organismos superiores (Verma et al. 2017), han ganado especial atención en los sectores industriales (Banerjee y Ray 2017).

Las queratinasas microbianas se han convertido en un potente bio-catalizador que puede degradar potencialmente la queratina y transformar los desechos queratináceos en productos de valor agregado (Srivastava et al. 2020), transformando así un residuo, en un producto útil a la par se disminuye la contaminación ambiental.

Las queratinasas microbianas se han vuelto bio-tecnológicamente importantes ya que se dirigen a la hidrólisis de polipéptidos estructurales altamente rígidos y fuertemente reticulados "queratina" (Gupta y Ramnani 2006).

Las queratinasas son esenciales en la preparación de nutrientes animales, suplementos proteicos, fabricación de cuero, procesamiento textil, formulación de detergentes, procesamiento de harina de plumas para piensos y fertilizantes, de interés en las industrias farmacéutica y bio-médica, así como en el manejo de desechos (Gopinath et al. 2015). Por tal razón son protagonistas en la hidrolización de plumas consideradas residuos en las industrias avícolas.

Microorganismos solubilizadores de la queratina

Los microorganismos presentan un potencial para su aplicación en la biotecnología, debido al corto tiempo para su cultivo, la producción en escalas grandes y la factibilidad de manejo (Da Silva 2017), estos se distribuyen ampliamente en el biósfera debido a que su capacidad metabólica es muy impresionante y pueden crecer fácilmente en una amplia gama de condiciones ambientales (Abatenh et al. 2017). La singularidad de los microorganismos y su naturaleza a menudo impredecible y sus capacidades bio-sintéticas, dado un conjunto específico de condiciones ambientales y culturales, los han convertido en candidatos probables para resolver problemas particularmente difíciles en las ciencias de la vida y otros campos también (Kumar y Gopal 2015). La amplia aplicación de microbios en diferentes bio-procesos se utiliza para entregar una variedad de productos a las industrias (Singh et al. 2016). El uso de carga microbiana para tratar los

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

volúmenes de residuos orgánicos, es una técnica prometedora y respetuosa con el ambiente (Patchaye et al. 2018), los desechos de aves de corral pueden ser degradados por poblaciones de microorganismos, la aplicación de bacterias específicas puede acelerar la degradación de las plumas (Ichida et al. 2001). Una de las grandes tecnologías para tratar los residuos, es la basada en microorganismos autóctonos (Kumar y Gopal 2015).

Los microorganismos son fuentes preferidas de enzimas industriales debido a su fácil disponibilidad y a su rápida tasa de crecimiento (Singh et al. 2016). Varios microorganismos se encuentran involucrados en la hidrolización de las plumas de aves, constituidas principalmente por queratina. Actinomicetos, hongos y bacterias, degradan la queratina mediante la acción de la enzima queratinasa (Sharma y Devi 2018).

Muchas especies de *Bacillus* son protagonistas en la bioconversión de los desechos de aves de corral, así *Bacillus* sp. CL18 demostró un notable potencial de degradación de plumas (Rieger et al. 2017). Resultados de investigación muestran la capacidad potencial queratinolítica de *Bacillus aerius* NSMk2 (Bhari et al. 2018), que brindarían un enfoque respetuoso con el medio ambiente. Además se demostró la degradación de los residuos de plumas por *Bacillus cereus* Cepa DCUW (Ghosh et al. 2008).

En el estudio realizado por Zaghoul et al. (2011) se destaca el éxito en la biodegradación de plumas dirigido por células recombinantes de *B. subtilis* en un fermentador a escala de laboratorio. Otro ejemplo de la tecnología de fermentación, es la solubilización de queratina nativa por enzimas de bacterias queratinolíticas como *Bacillus licheniformis* la cepa PWD-1 (Korniłowicz-Kowalska y Bohacz 2011). En la investigación realizada por Callegaro et al. (2018), *Bacillus* sp. CL18 degradó las plumas de manera más eficiente y los hidrolizados resultantes mostraron actividades antioxidantes mejoradas.

Según Iruolaje et al. (2015), organismos prometedores para el manejo de los desechos de plumas de pollo a través de procesos bio-tecnológicos son *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus cereus*.

El probiótico *Bacillus subtilis* FTC02PR1 demostró eficiencia para la degradación de la harina de plumas, plumas blancas y plumas melanizadas (Ferrareze et al. 2016). Entre las cepas bacterianas, *Bacillus licheniformis* mostró una actividad proteolítica significativa (Alahyaribeik et al. 2020).

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

La actividad microbiana en la hidrolización de las plumas de pollos, no estaría limitado a la acción aislada de los microorganismos, pudiendo tener acción conjunta. La cocultivación de *B. licheniformis* BBE11-1 y *S. maltophilia* BBE11-1 puede degradar eficientemente desechos de plumas de pollo y producir grandes cantidades de aminoácidos y sustancias antioxidantes a una tasa de conversión del 70.0% (Peng et al. 2019).

A la par de *Bacillus*, otros microorganismos también intervienen en la hidrólisis de las plumas de aves, por ejemplo, entre los aislamientos bacterianos, *Pseudomonas* sp. P5 exhibió la mayor actividad y eficiencia queratinolítica para hidrolizar material de plumas en bruto (Stiborova et al. 2016). Se demostró que *Streptomyces* sp. SCUT-3 puede degradar eficientemente la pluma a productos con alto contenido de aminoácidos, útil como fuente de nutrición para animales, plantas y microorganismos (Li et al. 2020), también *Rhodococcus erythropolis*, una nueva cepa bacteriana degrada las plumas (Alahyaribeik et al. 2020).

En un estudio pionero realizado por Mazotto et al. (2013). informa la producción de peptidasas de alta masa molecular utilizando un *Aspergillus* que degrada las plumas. También *Fusarium oxysporum* y *Aspergillus* sp., dos hongos aislados de residuos de plumas mostraron potencial para la producción de queratinasa, (Preczeski et al. 2020).

Conclusión

Los residuos provenientes de la industria avícola pueden causar contaminación ambiental al no ser gestionados adecuadamente, sin embargo, si se aplican técnicas biológicas amigables con el ambiente, las plumas de pollos se convierten en materia prima para producir fertilizantes orgánicos o aditivos alimenticios. En la hidrólisis de plumas de aves se ha tenido éxito con una variedad de microorganismos, muchos estudios destacan la efectividad de especies del género *Bacillus*. Es necesario realizar investigaciones prácticas en nuestro medio, con la finalidad de conocer la incidencia de consorcios microbianos autóctonos en la hidrólisis de las plumas.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Jefatura de Posgrados de la Universidad Católica de Cuenca, por las facilidades brindadas para ejecutar la investigación “Tratamiento de residuos del faenamiento de aves, con aplicación de microorganismos benéficos”.

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

Referencias

1. Abatenh, E; Gizaw, B; Tsegaye, Z; Wassie, M. 2017. The role of microorganisms in bioremediation- A Review. *Open Journal of Environmental Biology* 2(1):038-046. DOI: <https://doi.org/10.17352/ojeb.000007>.
2. Abdel-Fattah, AM; El-Gamal, MS; Ismail, SA; Emran, MA; Hashem, AM. 2018. Biodegradation of feather waste by keratinase produced from newly isolated *Bacillus licheniformis* ALW1 (en línea). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 16(2):311-318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.05.005>.
3. Adelere, IA; Lateef, A. 2019. Degradation of keratin biomass by different microorganisms (en línea). In Sharma, S; Kumar, A (eds.). s.l., Springer, Cham. p. 187-200 DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02901-2>.
4. Adetunji, CO; Adejumo, IO. 2018. Efficacy of crude and immobilized enzymes from *Bacillus licheniformis* for production of biodegraded feather meal and their assessment on chickens (en línea). *Environmental Technology and Innovation* 11:116-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.002>.
5. Alahyaribeik, S; Sharifi, S davood; Tabandeh, F; Honarbakhsh, S; Ghazanfari, S. 2020. Bioconversion of chicken feather wastes by keratinolytic bacteria (en línea). *Process Safety and Environmental Protection* 135:171-178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.01.014>.
6. Athrey, G. 2020. Poultry genetics and breeding. *Animal Agriculture* :317-330.
7. Azari, AA; Kouroszadeh, N; Pordeli, H. 2019. Keratinase Producing Bacteria: A Promising Approach for Poultry Waste Management. *International Journal of Molecular and Clinical Microbiology* 9(1):1090-1096.
8. Banerjee, G; Ray, AK. 2017. Impact of microbial proteases on biotechnological industries (en línea). *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 33(2):119-143. DOI: <https://doi.org/10.1080/02648725.2017.1408256>.
9. Bhari, R; Kaur, M; Singh, RS; Pandey, A; Larroche, C. 2018. Bioconversion of chicken feathers by *Bacillus aerius* NSMk2: A potential approach in poultry waste management (en línea). *Bioresource Technology Reports* 3:224-230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.07.015>.

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

10. Brandelli, A; Sala, L; Kalil, SJ. 2015. Microbial enzymes for bioconversion of poultry waste into added-value products (en línea). *Food Research International* 73:3-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.015>.
11. Callegaro, K; Welter, N; Daroit, DJ. 2018. Feathers as bioresource: Microbial conversion into bioactive protein hydrolysates (en línea). *Process Biochemistry* 75:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.09.002>.
12. Cheong, CW; Ahmad, SA; Ooi, PT; Phang, LY. 2017. Treatment of chicken feather waste. *Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews*. 3(1):32-41.
13. Das, S; Lee, SH; Kumar, P; Kim, KH; Lee, SS; Bhattacharya, SS. 2019. Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability (en línea). *Journal of Cleaner Production* 228:658-678. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.323>
14. Ferrareze, PAG; Correa, APF; Brandelli, A. 2016. Purification and characterization of a keratinolytic protease produced by probiotic *Bacillus subtilis* (en línea). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 7:102-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.05.009>.
15. Ferreira, A; Kunh, SS; Cremonez, PA; Dieter, J; Teleken, JG; Sampaio, SC; Kunh, PD. 2018. Brazilian poultry activity waste: Destinations and energetic potential (en línea). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81(Part 2):3081-3089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.078>.
16. Ferronato, N; Rada, EC; Gorritty Portillo, MA; Cioca, LI; Ragazzi, M; Torretta, V. 2019. Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization (en línea). *Journal of Environmental Management* 230:366-378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.095>.
17. Ghosh, A; Chakrabarti, K; Chattopadhyay, D. 2008. Degradation of raw feather by a novel high molecular weight extracellular protease from newly isolated *Bacillus cereus* DCUW. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 35:825-834. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0354-5>.
18. Gopinath, SCB; Anbu, P; Lakshmipriya, T; Tang, T-H; Chen, Y; Hashim, U; Ruslinda, AR; Arshad, MKM. 2015. Biotechnological Aspects and Perspective of Microbial Keratinase Production. *BioMed Research International* :1-10. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/140726>

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

19. Gupta, R; Ramnani, P. 2006. Microbial keratinases and their prospective applications: An overview. *Appl Microbiol Biotechnol* 70:21-33. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0239-8>.
20. Halkos, GE; Petrou, KN. 2016. Moving towards a circular economy: Rethinking waste management practices (en línea). *Economic and Social Thought* 3(2):220-240. DOI: <https://doi.org/10.1453/jest.v3i2.854>.
21. Hassan, MA; Abol-Fotouh, D; Omer, AM; Tamer, TM; Abbas, E. 2020. Comprehensive insights into microbial keratinases and their implication in various biotechnological and industrial sectors: A review (en línea). *International Journal of Biological Macromolecules* 154(1):567-583. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.116>.
22. Holkar, CR; Jain, SS; Jadhav, AJ; Pinjari, D V. 2018. Valorization of keratin based waste (en línea). *Process Safety and Environmental Protection* 115:85-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.045>.
23. Ichida, JM; Krizova, L; LeFevre, CA; Keener, HM; Elwell, DL; Burt, EHEH. 2001. Bacterial inoculum enhances keratin degradation and biofilm formation in poultry compost. *Journal of Microbiological Methods* 47(2):199-208. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(01\)00302-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(01)00302-5).
24. Iruolaje, OF; Ogbeba, J., Y; Tula, M., A; Ijebor, J; A. Dogo, B. 2015. Isolation and Identification of Keratinolytic Bacteria that Exhibit Feather-degrading Potentials. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* 5(2):1-9. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/JABB/2016/22082>.
25. Jayathilakan, K; Sultana, K; Radhakrishna, K; Bawa, AS. 2012. Utilization of byproducts and waste materials from meat , poultry and fish processing industries : a review. *J Food Sci Technol* (May–June 49(3):278-293. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>.
26. Joardar, JC; Rahman, MM. 2018. Poultry feather waste management and effects on plant growth (en línea). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 7:183-188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0204-z>.
27. Kornilowicz-Kowalska, T; Bohacz, J. 2011. Biodegradation of keratin waste: Theory and practical aspects. *Waste Management* 31(8):1689-1701. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.024>.

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

28. Kothari, D; Rani, A; Goyal, A. 2017. Keratinases. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering :447-467. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63662-1.00019-1>.
29. Kumar, BL; Gopal, DVRS. 2015. Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment (en línea). 3 Biotech 5:867-876. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-015-0293-6>.
30. Lakshmi, V V.; Devi, DA; Rani, KPJ. 2020. Wealth from Poultry Waste. In Ghosh, S (ed.). Singapore, Springer,. p. 67-76 DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7>.
31. Lange, L; Huang, Y; Busk, PK. 2016. Microbial decomposition of keratin in nature—a new hypothesis of industrial relevance. Applied Microbiology and Biotechnology 100:2083-2096. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7262-1>.
32. Li, Q. 2019. Progress in Microbial Degradation of Feather Waste. Frontiers in Microbiology 10:1-15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02717>.
33. Li, Z-W; Liang, S; Ke, Y; Deng, J-J; Zhang, M-S; Lu, D-L; Li, J-Z; Luo, X-C. 2020. The feather degradation mechanisms of a new Streptomyces sp. isolate SCUT-3. Communications Biology 3(191):1-13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s42003-020-0918-0>.
34. Maciel, JL; Werlang, PO; Daroit, DJ; Brandelli, A. 2016. Characterization of protein-rich hydrolysates produced through microbial conversion of waste feathers. Waste and Biomass Valorization 8:1177-1186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9694-y>.
35. Mazotto, AM; Ascheri, JLR; De Oliveira Godoy, RL; Triches Damaso, MC; Couri, S; Vermelho, AB. 2017. Production of feather protein hydrolyzed by B. subtilis AMR and its application in a blend with cornmeal by extrusion (en línea). LWT - Food Science and Technology 84:701-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.077>.
36. Mazotto, AM; Couri, S; Damaso, MÔCT; Vermelho, AB. 2013. Degradation of feather waste by Aspergillus niger keratinases: Comparison of submerged and solid-state fermentation (en línea). International Biodeterioration and Biodegradation 85:189-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.07.003>.
37. Do Nascimento, CDV; Filho, RAP; Artur, AG; Costa, MCG. 2015. Application of poultry processing industry waste: A strategy for vegetation growth in degraded soil (en línea). Waste Management 36:316-322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.001>.

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

38. Ozdemir, S; Yetilmezsoy, K. 2020. A mini literature review on sustainable management of poultry abattoir wastes (en línea). *Journal of Material Cycles and Waste Management* 22:11-21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00934-1>.
39. Pandey, SC; Pande, V; Sati, D; Gangola, S; Kumar, S; Pandey, A; Samant, M. 2019. Microbial keratinase: A tool for bioremediation of feather waste (en línea). s.l., Elsevier Inc. 217-253 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818307-6.00013-5>.
40. Patchaye, M; Sundarkrishnan, B; Tamilselvan, S; Sakthivel, N. 2018. Microbial management of organic waste in agroecosystem. In Panpatte D., Jhala Y., Shelat H., VR (ed.). Singapur, Springer. p. 45-73 DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1_3.
41. Patinvoh, RJ; Feuk-Lagerstedt, E; Lundin, M; Sárvári Horváth, I; Taherzadeh, MJ. 2016. Biological Pretreatment of Chicken Feather and Biogas Production from Total Broth (en línea). *Appl Biochem Biotechnol* 180:1401-1415. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2175-8>.
42. Peng, Z; Mao, X; Zhang, J; Du, G; Chen, J. 2019. Effective biodegradation of chicken feather waste by co-cultivation of keratinase producing strains (en línea). *Microbial Cell Factories* 18(84):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1134-9>.
43. Pohlmann, CR; Scavarda, AJ; Alves, MB; Korzenowski, AL. 2020. The role of the focal company in sustainable development goals: A Brazilian food poultry supply chain case study (en línea). *Journal of Cleaner Production* 245:118798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118798>.
44. Preczeski, KP; Dalastra, C; Czapela, FF; Kubeneck, S; Scapini, T; Camargo, AF; Zanivan, J; Bonatto, C; Stefanski, FS; Venturin, B; Fongaro, G; Treichel, H. 2020. *Fusarium oxysporum* and *Aspergillus* sp. as Keratinase Producers Using Swine Hair From Agroindustrial Residues. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8(71):1-8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00071>.
45. Ranta, V; Aarikka-Stenroos, L; Mäkinen, SJ. 2018. Creating value in the circular economy: A structured multiple-case analysis of business models. *Journal of Cleaner Production* 201:988-1000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.072>.
46. Rieger, TJ; De Oliveira, CT; Pereira, JQ; Brandelli, A; Daroit, DJ. 2017. Proteolytic system of *Bacillus* sp. CL18 is capable of extensive feather degradation and hydrolysis of diverse

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

- protein substrates (en línea). *British Poultry Science* 58(3):329-335. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1293229>.
47. Seidavi, A., Zaker-Esteghamati, H., & Scanes, C. 2019. Chicken processing: Impact, co-products and potential. *World's Poultry Science Journal* 75(1):55-68. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933918000764>.
48. Shah, A; Tyagi, S; Bharagava, RN; Belhaj, D; Kumar, A; Saxena, G; Saratale, GD; Mulla, SI. 2019. Keratin Production and Its Applications: Current and Future Perspective (en línea). In Sharma, S; Kumar, A (eds.). s.l., Springer Series on Polymer and Composite Materials. p. 19-34 DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02901-2>.
49. Sharma, R; Devi, S. 2018. Versatility and commercial status of microbial keratinases: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 17:19-45. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9454-x>.
50. Da Silva, RR. 2017. Bacterial and fungal proteolytic enzymes: Production, catalysis and potential applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 183:1-19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2427-2>.
51. Singh, R; Kumar, M; Mittal, A; Mehta, PK. 2016. Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech* 6(174):1-15. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0485-8>.
52. Sinkiewicz, I; Śliwińska, A; Staroszczyk, H; Kołodziejka, I. 2017. Alternative Methods of Preparation of Soluble Keratin from Chicken Feathers. *Waste Biomass Valor* 8:1043-1048. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9678-y>.
53. Srivastava, B; Khatri, M; Singh, G; Arya, SK. 2020. Microbial keratinases: An overview of biochemical characterization and its eco-friendly approach for industrial applications. *Journal of Cleaner Production* 252:119847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119847>.
54. Stiborova, H; Branska, B; Vesela, T; Lovecka, P; Stranska, M; Hajslova, J; Jiru, M; Patakova, P; Demnerova, K. 2016. Transformation of raw feather waste into digestible peptides and amino acids. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91:1629-1637. DOI: <https://doi.org/10.1002/jctb.4912>.
55. Tamreihao, K; Mukherjee, S; Khunjamayum, R; Devi, LJ; Asem, RS; Ningthoujam, DS. 2019. Feather degradation by keratinolytic bacteria and biofertilizing potential for sustainable

Hidrolización de plumas de pollos, mediante microorganismos: Una revisión

- agricultural production. *Journal of Basic Microbiology* 59:4-13. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201800434>.
56. Tesfaye, T; Sithole, B; Ramjugernath, D. 2018. Valorisation of waste chicken feathers: Optimisation of decontamination and pre-treatment with bleaching agents using response surface methodology (en línea). *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 8:21-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.02.003>.
57. Tesfaye, T; Sithole, B; Ramjugernath, D; Chunilall, V. 2017. Valorisation of chicken feathers: Characterisation of physical properties and morphological structure (en línea). *Journal of Cleaner Production* 149:349-365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.112>.
58. Verma, A; Singh, H; Anwar, S; Chattopadhyay, A; Tiwari, KK; Kaur, S; Dhillon, GS. 2017. Microbial keratinases: industrial enzymes with waste management potential. *Critical Reviews in Biotechnology* 37(4):476-491. DOI: <https://doi.org/10.1080/07388551.2016.1185388>.
59. Yusuf, I; Ahmad, SA; Phang, LY; Syed, MA; Shamaan, NA; Abdul Khalil, K; Dahalan, FA; Shukor, MY. 2016. Keratinase production and biodegradation of polluted secondary chicken feather wastes by a newly isolated multi heavy metal tolerant bacterium-Alcaligenes sp. AQ05-001 (en línea). *Journal of Environmental Management* 183(1):182-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.059>.
60. Zaghoul, TI; Embaby, AM; Elmahdy, AR. 2011. Biodegradation of chicken feathers waste directed by Bacillus subtilis recombinant cells: Scaling up in a laboratory scale fermentor (en línea). *Bioresource Technology* 102(3):2387-2393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.106>.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).