

## Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria

### Feathers: Environmental implication and use in the agriculture industry

Nelino Florida Rofner 

Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco-Perú

Autor para correspondencia, e-mail: [nelinof@hotmail.com](mailto:nelinof@hotmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8751-4367>

#### ARTÍCULO DE REVISIÓN

##### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 24/01/2018

Artículo aceptado: 16/06/2019

En línea: 25/07/2019

#### PALABRAS CLAVE:

Bioabonos,  
digestibilidad,  
harina de plumas,  
hidrolisis enzimática,  
contaminación

#### REVIEW ARTICLE

##### ARTICLE INFORMATION

Article received: 24/01/2018

Article accepted: 16/06/2019

On line: 25/07/2019

#### KEYWORDS:

Biofertilizer,  
digestibility,  
feather meal,  
enzymatic hydrolysis,  
pollution

#### RESUMEN

Las plumas de pollo (*Gallus domesticus*) resultan como sub productos de plantas de beneficio y la falta de fiscalización y reglamentación en países como Perú, propician que estos residuos terminen en cuerpos hídricos o en botaderos informales, transformándose en contaminantes del ambiente. Sin embargo, su aprovechamiento en la industria agropecuaria promete darle mejor tratamiento a este residuo, como fuente de proteína en la formulación de dietas principalmente de cerdos, aves y vacunos, gracias a su alto contenido de proteínas, aminoácidos, minerales y fibras naturales y su incorporación en la producción de bioabonos mejoran notablemente el contenido de materia orgánica y nitrógeno e influyen positivamente en las propiedades del suelo y el rendimiento de los cultivos. Además, presenta gran potencial en la industria cosmética, biomédica, textil, bioenergía, entre otras aplicaciones. Por lo que, la revisión abordara los avances relacionados a sus efectos ambientales y sus potencialidades en la industria pecuaria y agrícola, como alternativas de tratamiento a estos residuos y minimizar sus efectos ambientales.

#### ABSTRACT

Chicken feathers (*Gallus domesticus*) are as byproducts of processing plants and the lack of oversight and regulation in countries like Peru, cause that these wastes end up in water bodies or informal dumpsites, becoming environmental pollutants. However, their use in the agricultural industry promises to give better treatment to the residue, as a protein source in diet formulation mainly pigs, poultry and cattle, due to its high content of protein, amino acids, minerals and natural fibers and incorporation in the production of biofertilizer significantly improve the content of organic matter and nitrogen and positively influence soil properties and crop yield. In addition, it has great potential in the cosmetic industry, biomedical, textile, bioenergy, among other applications. Therefore, the review will address the progress related to its environmental effects and its potential in the livestock and agricultural industries, as alternatives to the treatment of these residues and minimize their environmental effects.

## INTRODUCCIÓN

En Sudamérica y el mundo la producción y consumo de pollo de carne a mostrado tendencias de crecimiento sostenido, Perú no ha sido ajeno a esta tendencia, pues muestra un crecimiento promedio de 7 % en los últimos 10 años (Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI, 2018a). Además, los adelantos tecnológicos favorecen la intensificación de la producción de aves de corral en todo el mundo, sin embargo, las tradiciones y las limitaciones económicas siguen fomentando pequeños sistemas de comercio de aves vivas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, 2019), especialmente en Perú el 85 % se comercializa como ave viva (Bueno et al., 2017) que se benefician en ambientes artesanales y la falta de regulación permite que los residuos que contienen importantes cantidades de plumas tengan como destino final los cuerpos hídricos y botaderos informales, convirtiéndose en agentes de contaminación (Florida & Reategui, 2019).

Es necesario destacar que las plumas son el sub producto más importante, por su composición y sus diversas posibilidades de uso; sin embargo, presenta limitaciones por su elevado contenido de queratina y fibras en la composición y configuración molecular

(Cabrera et al., 2018; Quintero et al., 2017). La complejidad estructural, requiere técnicas apropiadas para ser reincorporadas a la industria alimenticia pecuaria, agrícola y otros usos, generalmente requiere tratamientos físico-químico y biológicos previos (Cabrera et al., 2018), dando como resultado excelente insumo para la formulación de dietas en animales (principalmente cerdos y vacunos), fuente de queratina para la industria cosmética y farmacéutica, producción de bioabonos con altos contenidos de nitrógeno y otros usos (Florida & Reategui, 2019; Cabrera et al., 2018; Quintero et al., 2017; Benítez et al., 2014; Hernández et al., 2013). En este contexto, la revisión muestra la problemática ambiental y las potencialidades que tienen las plumas de pollo de carne o pollo broiler (*Gallus domesticus*) en la industria pecuaria y en la agricultura, como alternativas para el tratamiento seguro y proteger el medioambiente.

### Composición y complejidad estructural de las plumas

Es una estructura epidérmica, consta de un eje central rígido llamado raquis con paletas más suaves en cada lado, la paleta se compone de numerosas ramas laterales llamadas barbas (Gráfico 1) compuestas de queratina (Quintero et al., 2017).

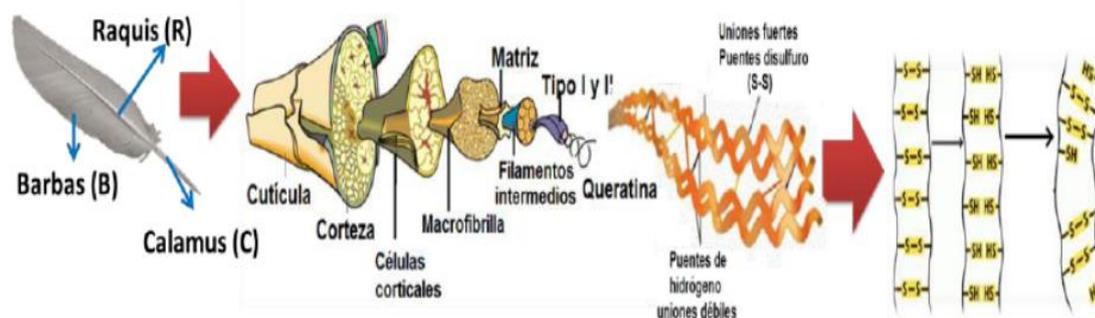


Gráfico 1. Composición estructural las plumas  
Fuente: Orjuela et al. (2015)

Presenta 83 % de proteínas (Tabla 1) y la queratina representa del 85 al 90 % del total de la proteína presente en las plumas (Alzamora et al., 2018). La

queratina es una proteína estructural fibrosa insoluble y difícil de digerir por humanos y animales, esta proteína es resistente a la degradación por enzimas

proteolíticas comunes como la tripsina, la pepsina y la papaína debido a la composición y conformación molecular (Adetunji et al., 2012) y está compuesta por gran variedad de aminoácidos encontrándose en mayor abundancia la Glicina, y Cisteína (Salazar, 2013), además, la cisteína presente forma enlaces disulfuro del dímero istina, estos enlaces se entrecruzan estableciendo una red tridimensional de cadenas polipeptídicas y en conjunto con los residuos hidrofóbicos hacen que la queratina sea insoluble en

agua y en solventes apolares, que otorgan una gran resistencia (Gallardo et al., 2015); por ello, presentan alto grado de insolubilidad y aseguran la rigidez estructural de las plumas (Orjuela et al., 2015; Benítez et al., 2014; Riffel & Brandelli, 2006). Sin embargo, son deficientes en metionina e histidina, lo que limita su uso en la alimentación humana (Benitez et al., 2014), pero puede tener interesantes aplicaciones en la industria pecuaria, agrícola, entre otras (Kowata, et al., 2012).

**Tabla 1**  
Componentes principales de las plumas

Componente	Referencias							
	Florida y Reategui (2019)	Alzamora et al. (2018)	Santiago et al (2017)	Tortosa (2016)	Benítez et al. (2014)	FEDNA (2012)	Bertsch et al. (2003)	Madia*
Proteína (%)	81.7	84.1	76.2	90	77.7	83.9	70	80.51
Grasa (%)	6.39	1	-	1.3	1.4	1.8	8.4	3.38
Fibra (%)	-	-	-	-	10.05	-	-	10.05
Cenizas (%)	2.74	7.41	-	-	3.28	2.2	-	3.91
Humedad (%)	-	7.5	-	-	4.9	6.8	-	6.40
MO (%)	98.7	-	87.3	-	-	-	-	93.00
N (%)	12.69	-	12.2	15	12.43	-	11	12.66

\*Calculado por el autor

**Fuente:** adaptado de Florida y Reategui (2019); Alzamora et al. (2018); Santiago et al (2017); Tortosa (2016); Benítez et al. (2014); FEDNA (2012) y Bertsch et al. (2003)

Evidentemente los componentes más importantes (Tabla 1) a tener en cuenta para ser utilizado en la industria pecuaria es su elevado contenido de proteínas (80.51 %), queratina y Fibra orgánica (10.05 %), y en la agricultura, los altos niveles de materia orgánica (93 %) y nitrógeno (12.66 %).

### Plumas como agente de contaminación

Las plumas se pueden transformar en agentes contaminantes del ambiente y provocar una serie de daños a los ecosistemas (Hernández et al., 2013), frente a ello, debemos preguntarnos porque en nuestros días pasó a ser un importante agente de contaminación, independientemente de las debilidades normativas y fiscalización a los procesos industriales en nuestro país. Las razones están ligadas a la calidad nutricional de la carne, la FAO (2013) considera a la carne de pollo como sana, destaca el bajo contenido de grasa, la pechuga contiene menos de 3 g de grasa/100 g, *Rev. Investig. Altoandín. 2019; Vol 21 Nro 3 225 - 237*

en contraste la carne oscura varia de 5 a 7 g /100 g; además, la mitad de la grasa del pollo contiene grasas monoinsaturadas deseables y solo un tercio son grasas saturadas, menos saludables. Condición que genero expectativas y propició incremento en el consumo.

La calidad de la carne, los precios elevados de productos sustitutos (carne de res o chanco), el inestable abastecimiento del pescado y la preferencia del consumidor peruano (Chacón, 2016) ha generado una tendencia creciente en la producción y el consumo nacional e internacional; al 2016 alcanzo 9 430 mil millones de pollos parrilleros en Sudamérica siendo Brasil, Argentina y Colombia los productores más importantes de la región (Bueno et al., 2017); sin embargo, Perú lidera en consumo regional con 46,5 kg/habitante/año, superando en 2017 a Argentina, Panamá y Brasil que siguen de cerca a Perú con 41 kg/habitante/año (Industria Alimentaria-IA, 2019;

Ministerio de Agricultura y Riego- MINAGRI, 2018a). La producción en Perú al 2017 alcanzó 707 600 millones de unidades y presenta crecimiento promedio de 7 % en los 10 últimos años (MINAGRI, 2018a), del total producido el 85 % se vende como ave viva (Bueno et al., 2017), situación que permite el beneficio en locales artesanales que no aplican medidas sanitarias y ambientales para evitar la contaminación con los residuos generados en el proceso (FAO, 2013).

En nuestro país el 2017 se ha producido 1 464 548 toneladas de carne de pollo, entre las regiones con mayor producción destacan Lima con 848 mil toneladas, La Libertad 271, Arequipa 153, Ica 72, Ancash con 39 y San Martín con 38 mil toneladas (MINAGRI, 2018a), a partir de los datos de producción, podemos determinar el volumen de residuos que se generó (Tabla 2), tomando como base los valores medios para las plumas, viseras y sangre reportado por Cervantes (2011); Rodríguez (2011) y Jerez et al. (2004).

**Tabla 2**  
*Sub productos del beneficio del pollo*

Componente	Referencias			Media*	Total, residuo (%) *
	Cervantes (2011)	Rodríguez (2011)	Jerez et al (2004)		
Plumas (%)	5.5	6	4.14	5.21	
Sangre (%)	3	4	3.04	3.34	15.82
Viseras (%)	6.5	8,5	6.82	7.27	
<b>Carne producida en Perú al 2017 (miles de toneladas), MINAGRI (2018a)</b>					
Ámbito	Carne	Plumas (5,37) **	Visceras (6,55) **	Sangre (3,4) **	Residuo generado**
Nacional	1 464 548	90 642.6	126 482.1	58 108.7	275 233.4
Lima	848	52.48	73.24	33.65	159.37
La Libertad	271	16.76	23.4	10.75	50.92
Arequipa	153	9.47	13.21	6.07	28.75
Ica	72	4.46	6.21	2.86	13.53
Ancash	39	2.41	3.36	1.55	7.33
San Martín	38	2.35	3.28	1.51	7.14

\*Calculado por el autor \*\*Calculado tomando como base que la carne producida representa el 84,18 %

Fuente: adaptado de MINAGRI (2018a); Cervantes, (2011); Rodríguez (2011) y Jerez et al. (2004).

Se producen 90 642,6 miles de toneladas de plumas en nuestro país (MINAGRI, 2018a), junto con las vísceras y sangre son los subproductos del proceso (Fernández y Betancourt, 2018) y se consideran como residuos inútiles o desechos (Bhange et al., 2016; Benítez et al 2014). La

gestión inadecuada da lugar a potenciales problemas de salud ambiental y humana, los desechos generados constituyen una importante fuente de impacto ambiental negativo por sus indicadores físico-químicos-microbiológicos inadecuados (Cun & Álvarez, 2017).

Los problemas específicos son la contaminación por vertimientos a fuentes hídricas, figuran la

degradación de las aguas superficiales y subterráneas por incremento del nitrógeno y fósforo, OD, DQO y DBO<sub>5</sub>, lo relativo a la calidad del aire incluyen el destino y efectos del amoníaco, el sulfuro de hidrógeno y emisiones de gases de efecto invernadero (Fernández & Betancourt, 2018; FAO, 2013), que se originan durante el proceso de descomposición. Además, estos subproductos generados tienen impacto ambiental-social negativo, importante para la salud pública por la emisión de olores molestos ruidos, moscas, roedores y aves de carroña que molestan en forma directa a la población que habita en un radio mínimo de 100 m de las plantas de beneficio (Fernández & Betancourt, 2018; Cun & Álvarez, 2017). Por lo tanto, los grandes volúmenes producidos en nuestro país nos deben llevar a

*Rev. Investig. Altoandín. 2019; Vol 21 Nro 3 225 - 237*

plantear alternativas que permitan dar valor agregado a las plumas y evitar o minimizar la contaminación ambiental causada por dicho residuo (Orjuela et al., 2015).

### Utilización en la industria pecuaria

Frente a los sub producto del beneficio, las plumas que representan 39 % del total de desperdicios (Calderón, 2000) y demás residuos; se torna necesario plantear alternativas orientadas a la preservación del ambiente, las industrias deben manejarse bajo parámetros ecologistas de manera permanente en el proceso industrial, para que su desarrollo no genere impactos negativos (Fernández & Betancourt, 2018). Por

tanto, uno de los principales factores que contribuyen hoy en día a mantener la calidad del medio ambiente, es el aprovechamiento de subproductos avícolas en la industria alimenticia de cerdos, vacunos, aves, peces y otros, como alternativas nutricionales que permitan reducir costos sin afectar de manera adversa la producción (Cabrera et al., 2018). El uso de plumas en dietas de aves, peces (Salvador et al., 2017; Madrid, 2014), cerdos y ganado rumiantes está siendo tratado y estudiado por diversos autores por el gran potencial nutricional (Tabla 3) de las plumas, previo procesamiento por hidrólisis o acciones enzimáticas de queratinasas (Cabrera et al., 2018; Machuca et al., 2016; Pan et al., 2016; Brotzge et al., 2014; González & Bauza, 2010).

**Tabla 3**  
*Composición química de minerales y aminoácidos de las plumas*

Composición mineral (%)	Referencias						Media*
	Florida & Reategui (2019)	Valencia (2018)	Santiago et al (2017)	FEDNA (2012)	Del Aguila (2011)	Bertsch et al. (2003)	
<b>Principales componentes minerales (%)</b>							
Calcio	0.23		0.34	0.23		1.38	0.55
Fósforo	0.38		0.67	0.6		0.36	0.50
Magnesio		0.2	0.03				0.12
potasio	0.12		0.16				0.14
Sodio			0.22				0.22
hierro		0.06	0.05				0.06
<b>Aminoácidos</b>							
Lys		2.4	2.41	2.5	1.82	2.46	2.32
Met		0.7	0.73	0.64	0.68	0.54	0.66
His			1.1			0.62	0.86
Cys		5.5	3.25		3.18	1.55	3.37
Asp			1.82			7.14	4.48
Thr		4.2	3.42	4.41	3.77	4.12	3.98
Glu			2.96			10.33	6.65
Ala			3.72			7.14	5.43
Tyr			0.62	0.58		1.1	0.77
Gly			6.13			14.76	10.45
Ser			7.26			8.42	7.84
Pro			7.26			11.45	9.36
Val		6.5	5.27	6.67	5.74	9.04	6.64
Ile			3.22	4.45	3.65	4.79	4.03
Phe			3.54			3.65	3.60
Leu			6.2		6.75	8.03	6.99
Arg		7.1	5.07	6.8	5.51		6.12

\*Calculado por el autor

**Fuente:** adaptado de Florida & Reategui (2019); Valencia (2018); Santiago et al (2017); FEDNA (2012); Del Aguila (2011) y Bertsch et al. (2003).

Las plumas pueden convertirse en un concentrado proteico palatable y altamente digestible de 82 % por hidrólisis físico-químico y puede alcanzar una digestibilidad de hasta 98 % por hidrólisis enzimática (Fakhfakh et al., 2011). El proceso de hidrólisis se da

bajo condiciones de elevada presión (3,2 atmósferas) y temperatura (146-160 °C durante 30 minutos) para que produzca la ruptura de los enlaces químicos que dan estructura a la queratina (FEDNA, 2012; Del Aguila, 2011). Sin embargo, el desequilibrio en

aminoácidos esenciales generadas por esta técnica (hidrolisis) limita su uso en dosis elevadas, aunque presenta concentración muy elevada en cistina, treonina y arginina, pero deficitaria en metionina, lisina, triptófano e histidina; la suplementación con aminoácidos sintéticos es una alternativa de utilizar las plumas en forma de harina obtenida por hidrolisis (Brotzge et al., 2014). Al parecer, estos métodos tradicionales dan lugar a una pérdida de aminoácidos esenciales tales como metionina, lisina y triptófano y es por ello que se están desarrollando tratamientos biológicos alternativos mediante acción de enzimas queranólíticas producidas por bacterias, actinomicetos y hongos que degradan y utilizan la queratina (Călin et al., 2017; Quintero et al., 2017; Machuca et al., 2016; Pan et al., 2016; Adetunji et al., 2012; Fakhfakh et al., 2011; Rodrigues et al., 2008) y obtener harina de plumas con mayor digestibilidad (hasta 98 %), transformándolo como una fuente viable de proteínas.

Las plumas presentan importantes cantidades de aminoácidos (Tabla 3) al suministrarse en cerdos utilizan el pienso y la Lys tan eficientemente como los alimentados con las dietas convencionales, pero reducen ligeramente el peso corporal y la ganancia de carne magra libre de grasa (Brotzge et al., 2014). Sin embargo, queda demostrada que promueve el

crecimiento y rendimiento de lechones de vivero y es una alternativa prometedora en términos de crecimiento, rendimiento y salud intestinal (Pan et al., 2016). Además, se evalúa su potencial para la sustitución de insumos como la torta de soya y harina de pescado por las plumas en suplementos proteicos útiles en la alimentación animal (Brotzge et al., 2014; Bauza et al., 2007) ya que se puede sustituir hasta 30% de los insumos tradicionales en dietas, por plumas hidrolizadas y promover excelente comportamiento productivo en cerdos y vacunos estabuladas (Cabrera et al., 2018; Pan et al., 2016; Brotzge et al., 2014) y más importante, reducir costos en la formulación de dietas y dar un uso apropiado a un subproducto contaminante (Cabrera et al 2018; Bauza et al., 2007).

### Producción de bioabonos y su aplicación en la agricultura

Las plumas presentan 80,51 % de proteínas, 10,05 % Fibra orgánica, 93 % materia orgánica y 12,66 % de nitrógeno (Tabla 1), lo convierte en excelente sustrato para la preparación de bioabonos, ya que hasta un 30 % de plumas muestran mejoras significativas en la capacidad de retención de agua (Tamreihao et al., 2019), materia orgánica, nitrógeno y el contenido mineral (Tabla 4), parámetros importantes en la calidad de bioabonos (Florida & Reategui, 2019).

**Tabla 4**  
*Caracterización del compost a base de plumas*

Indicadores	Análisis proximal en base a materia seca				Estadísticos	
	Tratamientos				SEM	p
	T1	T2	T3	T4		
pH	8.32c	8.16b	8.12b	7.79 <sup>a</sup>	0.003	< 0.001
MO (%)	39.6 <sup>a</sup>	43.34ab	46.53b	51.14c	7.482	< 0.001
N (%)	2.38 <sup>a</sup>	2.69ab	3.06b	4.8c	0.139	<0.001
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.34 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.010	0.856
K <sub>2</sub> O (%)	1.31 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	1.25 <sup>a</sup>	1.42 <sup>a</sup>	0.135	0.592
Ca (%)	1.45 <sup>a</sup>	1.39 <sup>a</sup>	1.43 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	0.040	0.776
Mg (%)	0.69 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.001	0.978
Na (%)	1.33 <sup>a</sup>	1.3725 <sup>a</sup>	1.095 <sup>a</sup>	1.1525 <sup>a</sup>	0.134	0.665
Cu (µg. g <sup>-1</sup> )	42.75 <sup>a</sup>	49.25 <sup>a</sup>	44.75 <sup>a</sup>	44.25 <sup>a</sup>	51.583	0.623
Fe (µg. g <sup>-1</sup> )	4538.75 <sup>a</sup>	5290.75 <sup>a</sup>	4168 <sup>a</sup>	3738 <sup>a</sup>	9246151.13	0.903
Zn (µg. g <sup>-1</sup> )	71 <sup>a</sup>	106 <sup>ab</sup>	81 <sup>ab</sup>	79.25 <sup>b</sup>	424.56	0.147
Mn (µg. g <sup>-1</sup> )	239.5 <sup>a</sup>	302.5 <sup>a</sup>	242.5 <sup>a</sup>	249.75 <sup>a</sup>	4237.48	0.504

T1= testigo absoluto (estiércol de vacuno EV), T2= EV + 10 % de plumas, T3 EV + 20 % de plumas y T4=EV+ 30 % de plumas. Las medias seguidas de la misma letra en la línea no difieren entre sí por la prueba de Duncan, p <0.05.

Fuente: Florida & Reategui (2019)

Además, la utilización en preparación de compost incrementa hasta 4,8 % de nitrógeno (Tabla 4), valor muy alto en comparación a otros abonos tipo compost a base de diferentes insumos de fuentes naturales orgánicas (Florida & Reátegui, 2019; Jacobo et al., 2017; Ramos et al., 2014; Hernández et al., 2013). Además, las plumas son fuente de péptidos, aminoácidos (Tabla 3) y minerales para los fertilizantes orgánicos, la degradación y aplicación en suelos podría ser una fuente económica de compuestos nitrogenados para las plantas (Bhange et al., 2016), y generar aminoácidos, especialmente el triptófano, un precursor de la hormona del crecimiento de las plantas, ácido indol-3-acético (IAA) fitohormona esencial para la germinación de semillas (Kumar et al., 2017) crecimiento y desarrollo de las plantas, incluida la plasticidad celular, elongación del tejido, embriogénesis y emergencia de las raíces colaterales (Tamreihao et al., 2019). Es decir, se observa una mejora integral del cultivo.

También, se ha evidenciado que su aplicación en la agricultura orgánica funciona como fertilizante de liberación semi lenta (Adetunji et al., 2012); la liberación de N llega hasta 65% después de 8 semanas, en parte a su resistencia a la descomposición, la acumulación de biomasa microbiana y la descomposición secundaria (Hadas et al., 1994). Su aplicación en los suelos presenta efectos muy importantes en los indicadores de fertilidad (Tabla 5), produciendo efectos significativos en el pH, MO N, P y K (Bhange et al. (2016) y sobre la población de bacterias hidrolizantes de celulosa y las proteolíticas, favoreciendo el reciclaje que está directamente relacionada con la fertilidad (Esmailzadeh y Gholamalizadeh, 2014) y el control de enfermedades (Tamreihao et al., 2019; Adetunji et al., 2012; Hadas et al., 1994).

**Tabla 5**

*Análisis químico del control (S1), suelo tratado con suspensión bacteriana (S2) y suelo tratado con suspensión bacteriana y plumas de pollo (S3) después de 10 días de incubación*

Muestras	PH	Total C (%)	Total N (%)	Mg (ppm)	Ca (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	NO <sub>3</sub> (Kg/ha)
S1	5.99 ± 0.08	0.53 ± 0.033	0.125 ± 0.06	337.0 ± 2.1	413.0 ± 4.61	16.00 ± 0.43	109.20 ± 1.8
S2	6.2 ± 0.12	0.75 ± 0.062*	0.145 ± 0.13*	352.0 ± 5.21*	410.0 ± 3.15	17.8 ± 0.81	112.5 ± 4
S3	6.51 ± 0.05*	1.15 ± 0.10*	0.178 ± 0.25*	354.0 ± 3.71*	424.8 ± 3.94*	21.3 ± 1.05*	119.3 ± 3.89*

Los contenidos totales de los elementos se determinaron y expresaron en gramos por 1000 g de suelo (ppm), y el total de C y N se expresaron en %, mientras que el NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O se expresaron en Kg/ha. Los resultados se expresan como una media de 3 experimentos individuales. Los experimentos se realizaron por triplicado y los valores individuales se representan como media ± desviación estándar \* Indica un valor significativamente mayor que el valor de control (p < 0,05)

**Fuente:** Bhange et al. (2016)

El uso de las plumas (hidrolizadas o compostadas) en la agricultura, al parecer responde mejor frente a los cultivos que requieren cantidades bajas pero constante de nitrógeno, para mantener la calidad del producto y rendimientos aceptables, como en el caso del tabaco orgánico (Bennett et al., 2018; Vann et al., 2017) y el cacao (Puentes et al., 2014). Por lo tanto, en Perú, los bioabonos a base de plumas tendrían un mercado potencial muy grande en la producción de cacao ya que al 2017 las áreas alcanzaron 199 mil hectáreas y casi el 60 % con manejo orgánico

(Florida & Reategui, 2019; MINAGRI, 2018b). Lo que garantiza la viabilidad de la producción de bioabonos a base de plumas.

### Otras aplicaciones de las plumas

El potencial de utilización de las plumas no se limita a la industria alimenticia pecuaria y como bioabonos en la agricultura, pueden también ser usadas como fuente de peptona en la producción de biomasa láctica (Serna et al., 2012), para la obtención de queratina

cosmética (Valencia, 2018; Machuca et al., 2016; Quintero et al., 2015; Salazar, 2013), bioplásticos (Gómez & Yory, 2018; Calle & Washington 2017), en la Industria textil como fibra natural para relleno de almohadas, colchones, bolsas de dormir y otros, con características estructural y mecánicas únicas (Rahhali, 2015), como materias primas livianas, de bajo costo y biodegradables para la fabricación de material de embalaje (Gonzales & Martínez, 2917; Serra, 2014), La bioadsorción de metales pesados (Tejada et al., 2015), bioenergía (Mojica et al., 2016; Aguilar, 2015) aplicaciones biomédicas (Gutiérrez, 2018). Por tanto, los múltiples usos que se le pueden dar están relacionadas a sus propiedades mecánicas y estructurales únicas (Gutiérrez, 2018; Rahhali, 2015), que incluyen biodegradabilidad, bioreabsorbilidad, biocompatibilidad, esterilización, funcionalidad, autoensamblaje y capacidad de fabricación.

## CONCLUSIÓN

Las plumas están compuestas de queratina, una proteína estructural fibrosa insoluble y difícil de digerir y se producen 90 642,6 miles de toneladas de plumas anualmente solo en nuestro país, los desechos generados constituyen una importante fuente de impacto ambiental negativo en la degradación de las aguas superficiales y subterráneas, suelo y emisiones de gases de efecto invernadero, su aprovechamiento en la industria pecuaria y agrícola son alternativas viables para su disposición final.

Los grandes volúmenes producidos pueden usarse en dietas de cerdos y ganado rumiantes por El gran potencial nutricional, previo procesamiento por hidrólisis o acciones enzimáticas que pueden convertir en concentrado proteico palatable y altamente digestible de 82 % a 98 % que promueve excelente comportamiento productivo en cerdos y vacunos estabuladas y es una alternativa prometedora en términos de crecimiento, rendimiento y sustitución económica de insumos como la torta de soya y harina de pescado.

Es excelente sustrato para la preparación de bioabonos con alta capacidad de retención de agua, materia orgánica, nitrógeno, contenido de minerales y formación de ácido indol-3-acético, un precursor de la hormona del crecimiento, fitohormona esencial para la germinación de semillas, crecimiento y desarrollo de las plantas. Asimismo, los bioabonos de plumas presentan excelentes niveles de fertilidad, produciendo efectos significativos en el pH, MO, N, P, K y una liberación semi lenta de N en el suelo.

Por lo tanto, las plumas poseen excelentes propiedades mecánicas y estructurales que permiten plantear múltiples alternativas; sin embargo, considerando el contexto actual de nuestro país, la producción de alimentos para cerdos y rumiantes y bioabonos a base de plumas es viable y garantiza el apropiado uso a un subproducto contaminante, como alternativas para el tratamiento seguro y proteger el medioambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adetunji, C. O., Makanjuola, O. R., Arowora, K. A., Afolayan, S. S. & Adetunji J. B. (2012). Production and Application of Keratin-Based Organic Fertilizer from Microbially Hydrolyzed Feathers to cowpea (*Vigna unguiculata*). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(12), 1-9. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Production-and-Application-of-Keratin-Based-Organic-MakanjuolaO-AdetunjiJ/7dc4f5fbd261c21415a7d4a73f486700f2b7e36a>
- Aguilar, G. J. (2015). *Estimación del potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina proveniente de granjas avícolas*. (Tesis de grado). Universidad del Valle. Colombia. Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/10061/1/CB-0557814.pdf>
- Alzamora, L. A., Mendoza, E.G., Monteza, T. D., Pastor, V. F. & Rosales, Q. F. (2018). *Diseño del proceso productivo de harina a base de* *Rev. Investig. Altoandin. 2019; Vol 21 Nro 3 225 - 237*

- plumas de pollo en la empresa distribuidora avícola el galpón E.I.R.L.* (tesis pregrado). Universidad de Piura-Perú.
- Bauza, R., Bratschi, C., González, A., Hirigoyen, A., Scaglia, L. & Sierra, F. (2007). Evaluación de la inclusión de dos tipos de hidrolizado de plumas en dietas de cerdos en engorde. XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA-Cusco-Perú. *Arch. Latinoam. Prod. Anim*, 15 (1), NA-069. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/274955714\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_inclusion\\_de\\_dos\\_tipos\\_de\\_hidrolizados\\_de\\_plumas\\_en\\_dietas\\_de\\_cerdos\\_en\\_engorde](https://www.researchgate.net/publication/274955714_Evaluacion_de_la_inclusion_de_dos_tipos_de_hidrolizados_de_plumas_en_dietas_de_cerdos_en_engorde)
- Bennett, N., Vann, M. & Fisher, L. (2018). Application Methods of Organic Poultry Feather Meal to Flue-Cured Tobacco. *Agronomy Journal*, 110(5), 1874–1882. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0678>
- Benítez, R., Rosero, B. & Martín, J. (2014). Evaluación de dos materias primas como fuente de proteína: pluma de pollo (*Gallus gallus*) y pezuña de vaca (*Bos primigenius taurus*). *Ingenium*, 8(22), 21-26. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/308093094>
- Bertsch, A., Álvarez, R. & Coello, N. (2003). Evaluación de la calidad nutricional de la harina de plumas fermentadas por *kocuria rosea* como fuente alternativa de proteínas en la alimentación de aves. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 13(2), 139-145. Recuperado de [http://www.fcv.luz.edu.ve/images/stories/revista\\_cientifica/2003/02/articulo8.pdf](http://www.fcv.luz.edu.ve/images/stories/revista_cientifica/2003/02/articulo8.pdf)
- Bhange, K., Chaturvedi, V. & Bhatt, R. (2016). Ameliorating effects of chicken feathers in plant growth promotion activity by a keratinolytic strain of *Bacillus subtilis* PF1. *Bioresour. Bioprocess*, 3(13), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40643-016-0091>
- Brotzge, S.D., Chiba, L.I., Adhikari, C.K., Stein, H.H., Rodning, S.P. & Welles, E.G. (2014). Complete replacement of soybean meal in pig diets with hydrolyzed feather meal with blood by amino acid supplementation based on standardized ileal amino acid digestibility. *Livestock Science*, 163(1), 85–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.02.001>
- Bueno, D. J., López, N., Rodríguez, F. I. & Procura, F. (2017). Producción de pollos parrilleros en países sudamericanos y planes sanitarios nacionales para el control de *Salmonella* en dichos animales. *Avicultura*. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/produccion-pollos-parrilleros-paises-t40560.htm>
- Cabrera, N. A., Daniel, R. I., Martínez, S. C., Alarcón, P. S., Rojas, R. R. & Velázquez, J. S. (2018). Aprovechamiento de subproductos avícolas como fuente proteica en la elaboración de dietas para rumiantes. *Abanico veterinario*, 8(2), 59-67. <https://dx.doi.org/10.21929/abavet2018.82.5>
- Calderón, M. (2000). *Efecto de tres tiempos de hidrolizado sobre el contenido de proteína y digestibilidad de la harina de pluma y sangre*. (Tesis de grado). Universidad Zamorano-Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2892/1/T1131.pdf>
- Călin, M., Constantinescu, A. D., Alexandrescu, E., Răut, I., Badea, D. M., Arsene, M. L., Oancea, F., Jecu, L. & Lazăr, V. (2017). Degradation of keratin substrates by keratinolytic fungi. *Electronic Journal of Biotechnology*, 28(1), 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.05.007>
- Chacón, M. A. (2016). *Estudio de factibilidad para optimizar la producción de harina de plumas hidrolizadas de pollo en la empresa procinsur SRL*. (Tesis de grado). Universidad Católica San Pablo, Arequipa-Perú.
- Cervantes, L. E. (2011). Mayor rendimiento con menor desperdicio; consultoría internacional en gerencia integral productiva. Barranquilla, Colombia, S.A. *Avicultura*. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/rendering-t28832.htm>
- Calle, G. L. & Washington, R. L. (2017). Obtención de termoplásticos a partir de plumas de pollo.

- Investigación y Desarrollo, 2(7), 68-72. Recuperado de <http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/download/889/901/>
- Cun, J. M. & Álvarez, D. C. (2017). Estudio de impacto ambiental de un camal municipal urbano en la provincia de el oro. Ecuador. II Congreso internacional de Ciencia y Tecnología-Universidad Técnica de Machala. Conference Proceeding, 1(1). Recuperado de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/135>
- Del Aguila, F. C. (2011). Harina de plumas: Hidrólisis enzimática vs método convencional. *Balanceados – Piensos*. Recuperado de <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/harina-de-plumas-t28806.htm>
- Esmailzadeh, J. & Gholamalizadeh, A. A. (2014). Influence of soil organic matter content on soil physical, chemical and biological properties. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4(4), 244-252. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/INFLUENCE-OF-SOIL-ORGANIC-MATTER-CONTENT-ON-SOIL-Esmailzadeh-Ahangar/52538501faadebca081e62c84bc4484d213ffc30>
- Fakhfakh, N., Ktari, N., Haddar, A., Mnif, I. H., Dahmen, I., & Nasri, M. (2011). Total solubilization of the chicken feathers by fermentation with a keratinolytic bacterium, *Bacillus pumilus* A1, and the production of protein hydrolysate with high antioxidative activity. *Process Biochemistry*, 46(9), 1731–1737. <http://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.05.023>
- Fernández, N. A. & Betancourt, G. A. (2018). Destino sostenible de los residuos generados en las plantas de beneficio avícola. *Revista de investigación, administración e ingeniería*, 6(1), 13-24. Recuperado de <https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/473>
- Florida, R. N. & Reategui D. F. (2019). Compost a base de plumas de pollos (*Gallus domesticus*). *Livestock Research for Rural Development*. 31(1), #11. <http://www.lrrd.org/lrrd31/1/nelin31011.html>
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal-FEDNA. (2012). Harina de plumas hidrolizada. [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/harina-de-plumas-hidrolizada-actualizada-nov-2012](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-plumas-hidrolizada-actualizada-nov-2012)
- Gallardo, M., Montaña, M. & Valladolid, M. (2015). Dos procedimientos para el estudio de las plumas en microscopía óptica. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol*, 109, (2015), 65-69. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5137764>
- Gómez A. S. & Yory, S. F. (2018). Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales. *Ingenierías USBMed*, 9(1), 69-74. <https://doi.org/10.21500/20275846.3008>
- Gonzales, L. J. & Martínez, M. L. (2017). *Elaboración de un Envase Biodegradable a partir de Almidón Obtenido de Arroz Quebrado (Oryza Sativa), Queratina Obtenida de Residuos Avícolas (Plumas) Fortificado con Residuos de Cáscaras de Mango (Mangifera Indica)*. (Tesis grado). Universidad Católica de Santa María. Arequipa-Perú. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/6667>
- González, A. & Bauza, R. (2010). Valor nutritivo de plumas tratadas por dos métodos de hidrólisis para la alimentación de cerdos. *Agrociencia Uruguay*, 14(2), 55-65. [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482010000200007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482010000200007&lng=es&tlng=es)
- Gutiérrez, M. A. (2018). Cómo convertir plumas de pollo en un producto rentable y sostenible. *Revista global de Avicultura*. Recuperado de <https://avicultura.info/como-convertir-plumas-de-pollo-en-un-producto-rentable-y-sostenible/>
- Hadas, A. & Kautsky, L. (1994). Feather meal, a semi-slow-release nitrogen fertilizer for organic farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 38(2), 165–170. <https://doi.org/10.1007/BF00748776>

- Hernández, R. O., Hernández, T., Rivera, F. C., Arras, V. A. & Ojeda, B. D. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 35-46. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57327411004.pdf>
- Industria Alimenticia-IA. (2019). Informe anual de la industria cárnica y avícola 2018. Suplemento 7 de enero de 2019. Recuperado de <https://www.industriaalimenticia.com/articulos/89742-informe-anual-de-la-industria-c%C3%A1rnica-y-av%C3%ADcola-2018>
- Jacobo, S. M., Figueroa, V. U., Maciel, T. S., López, R. L. & Muñoz, V. A. (2017). Elementos menores en composta producida a partir de estiércol de engorda y rastrojo de maíz. *Agrofaz*. 17(02): 61-71. Recuperado de [http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2017172III\\_6.pdf](http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2017172III_6.pdf)
- Jerez, M. P., Suárez, M. E., Herrera, J., Lozano, S. & Segura, J. (2004). Rendimiento y costo de producción de carne de pollos del cruce Plymouth Rock x Rhode Island Red y Criollos, criados en condiciones de traspatio en Oaxaca, México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38,(1), 73-77. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017870012>
- Kowata, K., Nakaoka, M., Nishio, K., Fukao, A., Satoh, A., Ogoshi, M., Takahashi, S., Tsudzuki, M. & Takeuchi, S. (2012). Identification of a feather  $\beta$ -keratin gene exclusively expressed in pennaceous barbule cells of contour feathers in chicken. *Gene*, 542(1), 23-28. <https://dx.doi.org/10.1016/j.gene.2014.03.027>
- Kumar, J., Sharma, A., Kumar, P. & Kushwaha, R.K. (2017). Enhancement of Soil Nutrition using Fermented Feather and their Efficacy on Seed Germination, *Int. J. Pure App. Biosci.* 5(1), 92-98. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2429>
- Machuca, L. G., Madrid, C. B., Sanmartín, G. D. & Pérez, R. J. (2016). Queratina a partir de la hidrólisis enzimática de harina de plumas de pollo, utilizando queratinasas producidas por *Bacillus subtilis*. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 50 – 58. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5774759.pdf>
- Madrid, H. J. (2014). *Efecto de la sustitución en dieta de harina de pescado con harina de productos de origen animal, en juveniles de corvina golfina, *Cynoscion othonopterus**. (Tesis de postgrado). Universidad Ensenada, Baja California, México. Recuperado de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/119/1/234591.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2018a). Anuario Estadístico Producción Pecuaria e Industria Avícola. SIEA. Recuperado de <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuario-de-produccion-pecuaria>
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2018b). Estudio del cacao en el Perú y en el mundo. Un Análisis de la Producción y el Comercio al 2017. Dirección Estudios Económicos e Información Agraria-DEEIA. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/monitoreo-agroclimatico/cacao-2018>
- Mojica, M. C., Acosta, P. D., Muñoz, P. L. & Reyes, G. J. (2016). Producción de Biogás a nivel laboratorio utilizando residuos orgánicos generados en el municipio de Ciudad Valles, S.L.P., *Revista TECTZAPIC*, 2(3) Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/tectzapic/2016/02/biogas.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO. (2019). Producción y productos avícolas; Manejo de los desechos avícolas. Recuperado de <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/management-and-housing/waste-management/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. (2013). Revisión del desarrollo avícola. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>

- Orjuela, P. J., Lanari, M. C. & Zaritzky, N. E. (2015). Desarrollo de productos a base de queratina a partir de residuos de la industria avícola. *3ras Jornadas ITE - 2015 -Facultad de Ingeniería – UNL*. Recuperado de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47852/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47852/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pan, L., Ma, X. K., Wang, H. L., Xu, X., Zeng, Z. K., Tian, Q. Y., Zhao, P. F., Zhang, Z. Y. & Piao, X. S. (2016). Enzymatic feather meal as an alternative animal protein source in diets for nursery pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 112-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.12.014>
- Puentes, Y., Menjivar, J. & Aranzazu, F. (2014). Eficiencia en el uso de nitrógeno, fosforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro*, 26(2), 99-106. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/857/85731100004.pdf>
- Quintero, C. G., Huertas, D. E. & David, E. (2017). Procesamiento de plumas de pollo para la obtención de queratina. *UGCiencia*, 23 (1), 81-87. <http://dx.doi.org/10.18634/ugcj.23v.0i.767>
- Rahhali, A. (2015). *Valorización de residuos queratínicos para la obtención de materiales biocompuestos*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya (U.P.C). España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95771/TAR1de1.pdf>
- Ramos, A., Terry, A., Soto, C. & Cabrera, R. (2014). Abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*. 35(02), 90-97. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193230070011>
- Riffel, A. & Brandelli, A. B. (2006). Keratinolytic bacteria isolated from feather waste. São Paulo Braz. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(3), 395-399. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/bjm/v37n3/v37n3a36.pdf>
- Rodrigues, M. N., Ledesma, T. C., Cirena, V. D., Estivalet, S. T., Kimiko K, M. & Marina, P. R. (2008). New Feather-Degrading Filamentous Fungi, *Microbial Ecology*, 56(1), 13–17. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9319-x>
- Rodriguez, S. D. (2011). La carne de pollo (Procesamiento). En J. L. Quintana. (Capitulo XV cuarta edición). *AVITECNIA Manejo de las aves más comunes domesticas* (253-272). Mexico. Editorial Trillas. <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/AVITECNIA-Captulo16Procesamiento-copia.pdf>
- Salvador, E., Cano, C., Cano, E. & Tintay, L. (2017). Utilización de harina de subproducto de origen animal como ingrediente alternativo para mejorar la respuesta productiva, costo de alimentación y rentabilidad en la producción avícola. *Actualidad Avipecuaria*. Recuperado de <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/utilizacion-de-harina-de-subproducto-de-origen-animal-como-ingrediente-alternativo-para-mejorar-la-respuesta-productiva-costo-de-alimentacion-y-rentabilidad-en-la-produccion-avicola.html>
- Salazar, M. (2013). *Determinación del método para la obtención de queratina cosmética a partir de plumas gallináceas*. (Tesis pregrado). Facultad de Ciencia, Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Santiago, R. H., Teixeira, L. F., Hannas, M. I., Lopes, D. J., Kazue, S. N., Perazzo, F. G., Saraiva, M. A., Teixeira M. L., Borges R. P., De Oliveira, F. R., De Toledo B. S. & De Oliveira B. C. (2017). *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*. 4ª Edición. Universidad Federal de Viçosa. Brasil. Recuperado de <https://eliasnutri.files.wordpress.com/2018/09/tablas-brasilec3bl1as-aves-y-cerdos-cuarta-edicion-2017-11.pdf>
- Serra, T. (2014). *Aplicación de un nuevo biomaterial a un producto*. (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Catalunya. España. Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22175/laura.serra\\_102507.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22175/laura.serra_102507.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Serna, L., Rengifo, G.C. & Rojas, R. M. (2012). Hidrolizado de plumas de gallina como fuente de peptona para la producción de biomasa láctica. *Vitae* 19(1), S162-S164. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914045.pdf>
- Tamreihao, K., Mukherjee, S., Khunjamayum, R., Jaya, D. L., Singh, A. R. & Debananda S. N. (2019). Feather degradation by keratinolytic bacteria and biofertilizing potential for sustainable agricultural production. *J Basic Microbiol*, 59, 4-13. <http://dx.doi.org/10.1002/jobm.201800434>
- Tejada, T. C., Villabona, O. A. & L. Garcés, J. L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5062883.pdf>
- Tortosa, G. (2016). Materiales para compostar: Las plumas. Compostando Ciencia Lab, Blog Noticias 25 enero 2016. Recuperado de <http://www.compostandociencia.com/2016/01/materiales-para-compostar-las-plumas/>
- Valencia, A. M. (2018). *Obtención de queratina a partir de plumas de la industria avícola mediante hidrolisis enzimática*. (Tesis grado). Universidad de las Américas. Ecuador. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8723/1/UDLA-EC-TIAM-2018-03.pdf>
- Vann, M., Bennett, L. N., Fisher, S. C. Reberg, H. & Hannah, B. P. (2017). Feather Meal Application in Organic Flue-Cured Tobacco Production. *Agronomy Journal*, 09(6), 2800–2807. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0287>