

LAS AVES DE GRANJA REQUIEREN VACUNARSE PARA MANTENER LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS CON ALTO VALOR NUTRICIONAL A BAJO COSTO. POULTRY BIRDS REQUIRE VACCINATION TO SUPPORT THE PRODUCTION OF FOOD WITH HIGH NUTRITIONAL VALUE AT LOW COST.

Sergio Alberto Matías Vera¹
María Patricia Sánchez Alonso¹
Erasmó Negrete Abascal²
Candelario Vázquez Cruz¹

<https://orcid.org/0009-0004-2527-4603>
<https://orcid.org/0000-0002-9313-3659>
<https://orcid.org/0000-0002-9105-5669>
<https://orcid.org/0000-0003-4362-8044>

NÚMERO ESPECIAL POSGRADO ICUAP
Recibido: 20/diciembre/ 2023
Aprobado: 26/febrero/ 2024
Publicado: 7/marzo/ 2024

¹ Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, ICUAP, BUAP. ² Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. De Los Barrios 1, Los Reyes, Iztacala, 54090 Tlalnepantla de Baz, Edo. De México.

sergio.matiasvera.icuap@viep.com.mx
maria.sanchez@correo.buap.mx
candelario.vazquez@correo.buap.mx
ecobacilos@yahoo.com
negrete@yahoo.com
margarita.arenas@correo.buap.mx

RESUMEN

El sector avícola es uno de los más importantes en el mundo y en la sociedad mexicana, gracias a la producción de alimentos de primera necesidad, un ejemplo de esto es que México ocupa los primeros lugares en la exportación de huevo y presenta un consumo per cápita de 22 kilos, posicionándose como el mayor consumidor a nivel mundial. Sin embargo, la industria avícola se ve afectada por infecciones como la coriza infecciosa causada por *Avibacterium paragallinarum* o la gallibacteriosis cuyo agente causal es *Gallibacterium anatis*. Estas afectan principalmente a gallinas de postura y pollos de engorde, causando una disminución del 10 al 40% en la producción de huevo, impactando directamente en la salud pública y generando pérdidas económicas relevantes. Lo anterior destaca la importancia en la búsqueda de nuevas alternativas para tener mayor control y prevención de infecciones, donde *A. paragallinarum* y *G. anatis* poseen características potenciales para ello

Palabras clave: *Avibacterium paragallinarum*, *Gallibacterium anatis*, coriza infecciosa, vacunas, industria avícola.

INTRODUCCIÓN

Las vacunas han desempeñado un papel importante en la historia de la humanidad, el ejemplo más reciente, es la vacuna que ayudó a contener la pandemia de COVID-19, producida por el coronavirus SARS-CoV-2. En la práctica existen varios tipos de vacunas, cuya utilidad consiste en exponer al organismo hospedero contra un agente infeccioso para generar una respuesta inmune. En otras palabras, las vacunas preparan al organismo para que cuando se enfrente a una infección pueda ganar la batalla.

Para el ser humano la vacunación es importante, existe un esquema de prevención de enfermedades infecciosas que inicia a muy temprana edad y que se prolonga hasta la adolescencia aplicando dosis periódicamente.

ABSTRACT

The poultry sector is one of the most important in the world and in Mexican society, thanks to the production of staple foods. An example of this is that Mexico ranks first in egg exports and has a per capita consumption of 22 kilos, making it the largest consumer in the world. However, the poultry industry is affected by infections such as infectious coryza caused by *Avibacterium paragallinarum* or gallibacteriosis whose causal agent is *Gallibacterium anatis*. These mainly affect laying hens and broilers, causing a 10 to 40% decrease in egg production, directly impacting public health and generating significant economic losses. This highlights the importance of the search for new alternatives to have greater control and prevention of infections, where *A. paragallinarum* and *G. anatis* have potential characteristics for this.

Keywords: *Avibacterium paragallinarum*, *Gallibacterium anatis*, infectious coryza, vaccines, poultry industry.

En otros sectores de interés para la sociedad, como el caso del sector productivo de la industria avícola la vacunación es importante, pues constituye una de las fuentes de alimentación accesibles para las personas a nivel local y mundial.

En México, la industria avícola es fundamental, ya que el país se posiciona como el mayor consumidor de huevo a nivel mundial, con un consumo per cápita de 22 kilos. Adicionalmente, la exportación de huevo representa un ingreso económico muy grande, al ser el cuarto productor de huevo a nivel mundial. Sin embargo, el sector avícola requiere muchos insumos para mantener su productividad, entre ellos los necesarios para controlar infecciones, algunas de ellas

recurrentes por las mismas prácticas productivas o por la evolución natural de los agentes infecciosos. Algunas de las principales infecciones de las aves de granja son producidas por bacterias de la familia Pasteurellaceae (El Huevo Mexicano, Un Alimento Muy Valioso | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | Gob. Mx, n.d.).

La Coriza infecciosa (CI)

La coriza infecciosa es una infección bacteriana, causada por *Avibacterium paragallinarum* situada en las vías respiratorias superiores de aves, que afecta principalmente a gallinas de postura y pollos de engorde.

La CI es una enfermedad de gran importancia en el sector avícola, cuyo impacto se ve reflejado en la disminución en la producción del huevo hasta en un 40% causando grandes pérdidas económicas. Asimismo, tiene presencia en países de todo el mundo como: Estados Unidos, India, China, Sudáfrica, Perú, Ecuador, Países Bajos, Alemania, Japón, España, Corea del Sur, Reino Unido y México, por mencionar algunos (Morales-Erasto et al., 2013).

La coriza infecciosa se caracteriza por presentar signos clínicos como la inflamación de vías respiratorias, secreción nasal, inflamación facial, lagrimeo, conjuntivitis o anorexia. También se manifiesta con otros signos no tan comunes, pero que también se pueden presentar principalmente en machos, como la inflamación en la cresta o barbilla (Xu et al., 2019).

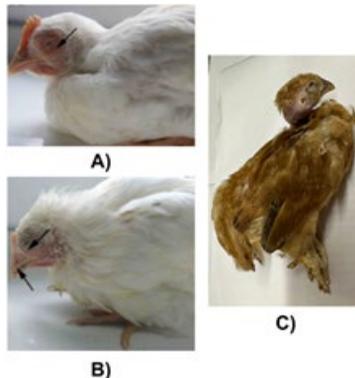


Figura 1. Fotografías de aves con síntomas como edema facial ligero A, edema facial severo B y C. Obtenida y modificada de (Guo et al., 2022).

En consecuencia, es una infección de periodo corto que puede variar entre dos y tres semanas, llegando a presentar complicaciones en la infección a causa de la presencia de otros microorganismos como *Mycoplasma gallisepticum*, *Mycoplasma synoviae* o *Gallibacterium anatis*, este último perteneciente a la misma familia de *A. paragallinarum* generando un cuadro complicado de sanar con mayor prolongación. Específicamente, en el caso de una infección por *Avibacterium paragallinarum* y *Gallibacterium Anatis* se tiene reporte de que además de agravar los signos patológicos podría llevar a la muerte de las aves (Paudel et al., 2016).

Generalidades de *Avibacterium paragallinarum* (Avpg)

Avibacterium paragallinarum es una especie bacteriana y agente causal de la coriza infecciosa perteneciente a la familia bacteriana Pasteurellaceae. Fue identificado como agente causal de la coriza en los años treinta donde se le llamó “*Bacillus Haemophilus coriza gallinarum*”, años más tarde se renombró a “*Haemophilus paragallinarum*” y así permaneció hasta la reclasificación del género en 2005 recibiendo el nombre “*Avibacterium*” como se le conoce hoy en día. Asimismo, el género *Avibacterium* comprende las siguientes especies: *Avibacterium paragallinarum*, *Avibacterium volantium* y *Avibacterium avium* (Blackall et al., 2005).

Crecimiento de *Avibacterium paragallinarum*

Avibacterium paragallinarum es una bacteria Gram negativa que posee algunas características como no formar esporas, su morfología bacteriana es coco bacilar y con tendencia a formar cadenas. El crecimiento

en placa de *A. paragallinarum* se presenta formando colonias pequeñas, circulares y lisas en forma de rocío, con un tiempo de incubación de 18 a 24 horas a 37 °C en medios de cultivo como cerebro corazón infusión (BHI) y agar sangre (Figura 2). Además, *Avibacterium paragallinarum* requiere de NAD (Nicotinamida adenina dinucleótido) un compuesto de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de esta bacteria (Soriano-Vargas et al., 2013).

Es tal la importancia del NAD en *Avibacterium paragallinarum* que con base en ello se presentan dos biovariedades: primeramente, la biovariedad *Avibacterium paragallinarum* NAD-dependiente que representa la mayoría de los aislamientos reportados, los cuales requieren el suplemento de NAD para su crecimiento y este puede ser añadido directamente al medio o mediante la utilización de una cepa nodriza como *Staphylococcus epidermidis* por su habilidad de ser un microorganismo autosuficiente de NAD que le permite crecer a Avpg en el laboratorio (Soriano-Vargas et al., 2013).

Por otro lado, la serovariedad *Avibacterium paragallinarum* NAD-independiente es menos común y no requiere el suplemento de NAD para su desarrollo, lo cual genera especulación de que esta serovariedad podría tener diferencias importantes con las cepas típicas ya conocidas (Jeong et al., 2017).

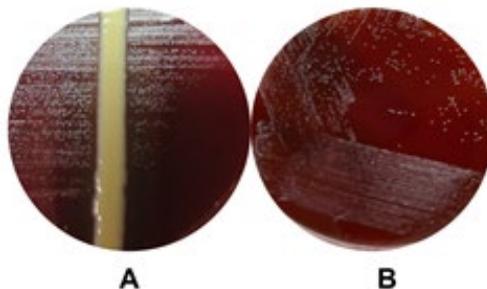


Figura 2. Biovariedades de *Avibacterium paragallinarum* en Agar sangre. A) *Avibacterium paragallinarum* NAD-dependiente con *S. epidermidis* como cepa nodriza. B) *Avibacterium paragallinarum* NAD-independiente. Elaboración propia con ayuda de la Dra. María Elena Cobos Justo del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Seroclasificación de *A. paragallinarum*.

La seroclasificación de *Avibacterium paragallinarum* se basa principalmente en dos maneras: los esquemas de Kume y Page. El esquema de Page clasifica a esta bacteria en los serovares A, B y C mediante aglutinación en placa. Por otro lado, el esquema de Kume se conforma por los serogrupos I, II y III por el método de inhibición de la hemaglutinación en placa. En la actualidad se conocen tres serogrupos (A, B, C) con 9 serovares de *A. Paragallinarum* los cuales se enlistan a continuación: A-1, A-2, A-3, A-4, B-1, C-1, C-2, C-3 y C-4 (Blackall, 1999).

En México se han logrado identificar las serovariedades NAD- dependientes A-1, A-2, C-1, además, respecto a las NAD-independientes, solo han sido reportadas en pocos países como Sudáfrica, Perú o México, donde se han identificado las serovariedades B-1 y C-2. Lo anterior posiciona a México como el país con mayor número de serovariedades de *Avibacterium paragallinarum*, principalmente en estados con mayor producción de huevo a nivel nacional como Puebla, Jalisco o Sonora, este último con la presencia de los tres serogrupos (A, B y C) resaltando la necesidad del desarrollo de vacunas con la presencia los tres serogrupos que sean efectivas (Falconi-Agapito et al., 2015).

Características bioquímicas de *Avibacterium paragallinarum* y *G. anatis*

| Características | <i>A. paragallinarum</i> | <i>G. anatis</i> (haemolytica) | <i>G. anatis</i> (anatis) |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Catalasa | - (0/51) | + | + |
| Haemolysis | - (0/100) | + | - |
| Ornitina descarboxilasa | - (0/9) | - | - |
| L- arabinosa | - (0/100) | - | - |
| D- manitol | + (96/100) | + | + |
| D- galactosa | - (0/100) | + | + |
| α -glucosidasa | - (0/51) | + | + |

Tabla 1. Características bioquímicas del género *Avibacterium paragallinarum*, así como los biovares de *Gallibacterium Anatis*. Obtenida de (Blackall et al., 2005) y modificada por el autor.

Factores de virulencia de *Avibacterium paragallinarum*.

Avibacterium paragallinarum posee la capacidad de causar infección mediada por factores que se encuentran involucrados en distintos procesos. Primeramente, las fimbrias son compuestos de proteínas que forman parte de la estructura bacteriana que contribuyen a la adherencia en células del hospedero y juegan un papel importante en la virulencia (Liu et al., 2016).

De igual forma, la cápsula se encuentra en el exterior de las bacterias, principalmente formada de polisacáridos cuya función es la protección de la célula bacteriana de factores como la desecación o fagocitosis. Aunque las funciones de la cápsula de *A. paragallinarum* no se conocen a fondo, algunos ensayos reportan que la pérdida de la cápsula aumenta la actividad de hemaglutinación y adhesión, pero disminuye la virulencia, resaltando la importancia realizar mayor investigación en esta bacteria (Tu et al., 2014), (Wu et al., 2010).

Además, las toxinas RTX formadas por proteínas tienen la capacidad para formar poros con actividad hemolítica y citotóxica en las células del huésped como los macrófagos aviarios, por lo que desempeña un papel determinante en la infección de *Avibacterium paragallinarum* e incluso estas toxinas son candidatas para el diseño de vacunas contra enfermedades causadas por miembros de la familia Pasteurellaceae (Pan et al., 2012).

Características antigénicas de *Avibacterium paragallinarum*.

Avibacterium paragallinarum posee factores con gran potencial antigénico que podrían ser utilizados como un agente vacunal ante el creciente resurgimiento de infecciones y variaciones que ha presentado esta bacteria en los años recientes. Por tal motivo, la hemaglutinina (HA) es una pieza fundamental en la inmunogenicidad y serotipificación de Avpg considerada como uno de los factores más importantes. La proteína HMTp210 es una proteína altamente antigénica de membrana con un tamaño de 210 kDa codificada por el gen *hmtp210* (Wang et al., 2014).

Por otra parte, resulta interesante que la hemaglutinina puede tener regiones con más capacidad antigénica que otras zonas en diferentes serovares de *Avibacterium paragallinarum* lo que posiciona a esta proteína con grandes posibilidades de ser incluida en las vacunas resaltando la importancia de un estudio profundo de las regiones variables para comprender mejor su función (Araya-Hidalgo et al., 2017).

Avibacterium paragallinarum y la producción de OMVs.

Las OMVs o vesículas de membrana externa, son nanopartículas formadas por lípidos con una forma esférica, pueden llegar a medir de 20 a 300 nm (Ramón Rocha et al., 2006). Una característica importante es la semejanza a la membrana de la cual derivan y dentro pueden contener diversos compuestos como: lípidos, proteínas, ADN, ARN, además de otros componentes bacterianos.

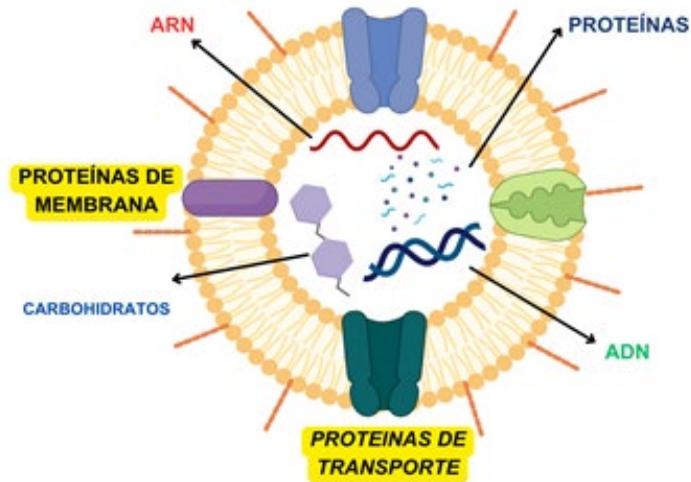


Figura 3. Estructura general de las vesículas de membrana externa.
Elaboración propia en BioRender.

Se ha comprobado que *Avibacterium paragallinarum* secreta vesículas de membrana externa donde se almacena ADN, enzimas, componentes estructurales y endotoxinas. Asimismo, el contenido proteico corresponde principalmente a endotoxinas y enzimas con funciones relacionadas al DNA, componentes estructurales como proteínas con función receptora e incluso proteínas con función desconocida (Mei et al., 2020).

Finalmente, la evaluación de las OMVs de *A. paragallinarum* como candidato vacunal obtuvo resultados interesantes al exponer a pollos sanos contra las OMVs de *Avibacterium paragallinarum* estos desarrollaron síntomas de la coriza infecciosa, incluso se comprobó que las OMVs provocan una respuesta inmune importante. Por tal motivo, las OMVs tienen gran potencial de utilidad para mediar la inmunidad gracias a las proteínas con capacidad antigénica de la superficie, lo que las postula para ser implementadas en la vacunación (Lieberman, 2022).

Además de *A. paragallinarum* existen otros microorganismos que habitan de manera normal en la microbiota de los pollos, pero que con ciertas condiciones específicas son capaces de causar infecciones, generando problemáticas muy importantes, un ejemplo es *Gallibacterium anatis*, de hecho, ambas bacterias pertenecen a la misma familia Pasteurellaceae y poseen una estrecha relación filogenética.

Gallibacterium anatis ¿Una bacteria oportunista?

Gallibacterium anatis es el agente causal de la infección llamada “Gallibacteriosis”, es una bacteria que pertenece a la familia bacteriana Pasteurellaceae y para muchos *G. anatis* es una bacteria oportunista, es decir, que solo en condiciones donde los pollos están inmunosuprimidos puede causar una infección. Sin embargo, en últimos años *G. anatis* se ha presentado con mayor prevalencia debido a su resistencia a los tratamientos disponibles y también tiene la capacidad de agravar una infección causada por otros microorganismos como *E. coli* o *Mycoplasma* (Driessche et al., 2020).

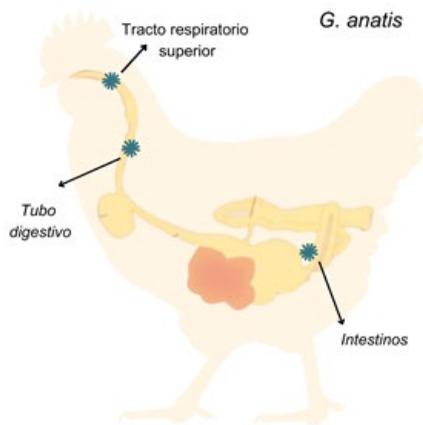


Figura 4. Localización de *G. anatis*. Elaboración propia.

En cuanto a la infección causada por *G. anatis* esta bacteria habita principalmente en el tracto respiratorio superior de aves principalmente pollos, sin embargo, se ha reportado su presencia en otras aves domésticas o silvestres como patos, palomas y también animales no aviares como conejos y vacunos. Aunque *G. anatis* no produce un cuadro clínico específico, es capaz de causar daños importantes como lograr una mala respuesta inmune del huésped para poder infectar, así como, lesiones del tracto respiratorio, inflamando el tubo digestivo e intestinos y el aparato reproductor (Abd El-Ghany et al., 2023).

Lo anterior resalta la importancia de que es más que una infección oportunista, así como el impacto económico generado por *G. anatis* que tiene relación directa con la disminución en la producción de huevos y aumento en las tasas de mortalidad de las gallinas (Driessche et al., 2020).

Generalidades de *Gallibacterium Anatis*

Gallibacterium anatis es una bacteria Gram negativa con morfología cocobacilar, encapsulada, capaz de causar hemólisis, así como aglutinación de glóbulos rojos. Dicha bacteria puede desarrollar colonias de 1 a 2 mm grisáceas, transparentes y circulares cuando se realiza el crecimiento en con alto contenido nutrimental y sangre al cabo de 24 horas a 37 °C, figura 5 (Persson y Bojesen, 2015).

G. anatis se puede dividir en dos principales biovars: *Gallibacterium anatis* no hemolítica y *Gallibacterium anatis haemolytica*, este último responsable de la infección en aves de corral, causada por la inflamación en el oviducto de las aves y el tubo digestivo generando como consecuencia reducción del rendimiento de las aves (Narasinakuppe Krishnegowda et al., 2020).

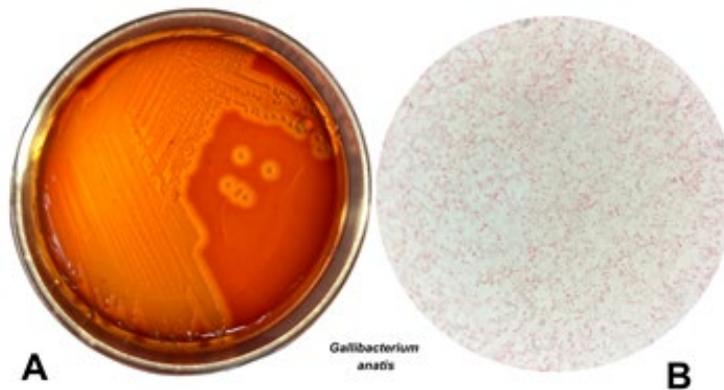


Figura 5. A) *Gallibacterium anatis* haemolytica en Agar gelosa sangre B) Tinción de Gram de *Gallibacterium anatis* haemolytica. Elaboración propia con ayuda de la Dra. María Elena Cobos Justo del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Factores de virulencia de *Gallibacterium anatis*

Las toxinas RTX son descritas en miembros de la familia Pasteurellaceae y se abordaron previamente en este artículo. Hablando específicamente de *Gallibacterium anatis* haemolytica destaca su capacidad de hemólisis en placas de agar sangre, esto es gracias a la proteína llamada “GtxA” tiene como estructura 2038 aminoácidos con dos dominios responsables de sus funciones. Las funciones de esta proteína son dos, primeramente, causar la destrucción de eritrocitos y de igual forma se involucra en el ataque a células de defensa del huésped, específicamente los macrófagos aviares, que son las encargadas de eliminar agentes dañinos (Kristensen et al., 2010), (Tang et al., 2020).

Formación de biopelícula y fimbrias de *G. anatis*

Las biopelículas de microorganismos son comunidades de microorganismos que desarrollan su crecimiento pegados alrededor de una matriz extracelular producida por ellos mismos. La matriz extracelular se encuentra formada por exopolisacáridos o proteínas que le confieren la capacidad a las bacterias de adherirse a otras células o superficies. Con *Gallibacterium anatis* se ha observado su capacidad adhesiva a superficies y formación de biopelículas, lo cual destaca como una habilidad importante para la infección producida por este microorganismo (Sánchez-Alonso et al., 2023).

Para la formación de biopelícula se requiere la interacción de adhesinas con las células u órganos del huésped, *Gallibacterium anatis* posee estructuras similares a las fimbrias tipo F17 que son capaces de expresarse en microorganismos como *E. coli*. Específicamente en *G. anatis* estas estructuras permiten la unión a receptores en la superficie de células, principalmente relacionadas con mucosidad, por lo cual se estima que están directamente relacionadas con la unión a mucosas dentro del organismo del pollo (Persson y Bojesen, 2015).

Por otra parte, las fimbrias son parte de la estructura extracelular bacteriana, en otras palabras, son estructuras similares a los “pelos” que participan en la adherencia celular. *G. anatis* posee genes fimbriales que producen la proteína FliA una subunidad fimbrial que además de tener un efecto en la virulencia de esta bacteria, posee cualidades que podrían ser utilizadas en la inmunización (Bager et al., 2013).

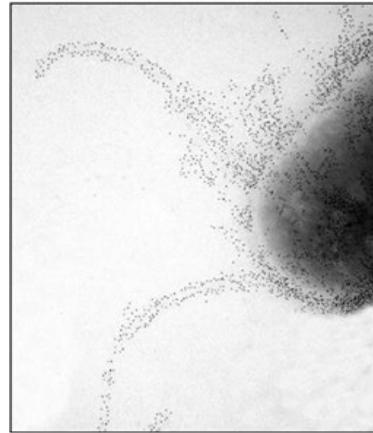


Figura 6. La fimbria FliA expuesta en *G. anatis* observada bajo microscopía electrónica, obtenida de (Persson y Bojesen, 2015).

Hemaglutinación, Metaloproteasas y Cápsula de *G. anatis*

Una habilidad característica de *G. anatis* su capacidad para aglutinar eritrocitos aviáres, esto relacionado con la producción de adhesinas. Las hemaglutininas son adhesinas que se unen a receptores en los eritrocitos de pollos, un ejemplo de lo anterior es una proteína aislada de *Gallibacterium anatis* capaz de aglutinar eritrocitos en otros animales, además de tener presencia en la formación de biopelícula por lo que podría tener un papel interesante entre la interacción de *G. anatis* y el organismo huésped durante la infección (Montes-García et al., 2016).

Por otro lado, las metaloproteasas son enzimas encargadas de realizar la hidrólisis de enlaces en las proteínas. Estas enzimas pueden realizar diversas funciones en bacterias como: participar en la colonización, adquisición de nutrientes y principalmente, la evasión de la respuesta inmune. De ahí que, *G. anatis* sea hábil para degradar las inmunoglobulinas de pollos, cuya función es proteger el organismo (García-Gómez et al., 2005).

Finalmente, la cápsula es una estructura superficial de las bacterias que la producen

y están compuestas por polisacáridos, forma parte de la estructura de bacterias Gram positivas y negativas. La cápsula de *Gallibacterium anatis* es un factor de virulencia interesante que participa en la adhesión celular e incluso la evasión del sistema inmune. Todavía existen algunas dudas respecto a la función específica de la cápsula de *Gallibacterium anatis* (Persson y Bojesen, 2015), pues en los cultivos primarios se observa la presencia de cápsula y en los subcultivos no es posible su visualización, lo cual despierta el interés para entender el comportamiento capsular de *G. anatis*, así como, estudiar la posibilidad de que la cápsula funcione como un componente antigénico como ocurre en las bacterias del género *Haemophilus*.

Conclusión

En definitiva, las infecciones causadas por *A. paragallinarum* y *G. anatis* afectan sectores muy importantes, su control podría hacerse por medio de la vacunación y así evitar otras problemáticas como la resistencia a antibióticos. No obstante, por la variabilidad de serovares que dificultan la prevención, es necesaria la constante actualización de antígenos vacunales. Lo anterior resalta la importancia de implementar nuevas alternativas para la prevención y el control, ya que las bacterias descritas en este artículo poseen características interesantes para utilizarse con los fines mencionados, destacando la importancia de realizar investigación cada vez más profunda enfocada al desarrollo de vacunas para el sector avícola para contribuir en el control de enfermedades en la crianza de los animales o en posibles zoonosis.

DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

DECLARACIÓN DE NO CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no existe conflicto de intereses alguno.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos agradecimiento al CONAHCYT por la beca de estudios de posgrado, al PRODEP por el reconocimiento al CA-323, a la BUAP-VIEP por el apoyo al Cuerpo Académico CA-323 con proyecto 100103133-VIEP2023.

A la Dra. María Elena Cobos Justo por su apoyo para la elaboración de figuras.

REFERENCIAS

- Abd El-Ghany, W. A., Algammal, A. M., Hetta, H. F., & Elbestawy, A. R. (2023). Gallibacterium anatis infection in poultry: a comprehensive review. *Tropical Animal Health and Production*, 55(6), 383. <https://doi.org/10.1007/S11250-023-03796-W>
- Araya-Hidalgo, E., Gutiérrez-Jiménez, C., Chaves-Ramírez, M., Suárez-Esquivel, M., Guzmán-Verri, C., & Barquero-Calvo, E. (2017). Sequence analysis of the hypervariable region in hmp210 of Avibacterium paragallinarum. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 79(7), 1210. <https://doi.org/10.1292/JVMS.16-0530>
- Bager, R. J., Nesta, B., Pors, S. E., Soriani, M., Serino, L., Boyce, J. D., Adler, B., & Bojesen, A. M. (2013). The Fimbrial Protein FlfA from Gallibacterium anatis Is a Virulence Factor and Vaccine Candidate. *Infection and Immunity*, 81(6), 1964. <https://doi.org/10.1128/IAI.00059-13>
- Blackall, P. J. (1999). Infectious Coryza: Overview of the Disease and New Diagnostic Options. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 627. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.627>
- Blackall, P. J., Christensen, H., Beckenham, T., Blackall, L. L., & Bisgaard, M. (2005). Reclassification of Pasteurella gallinarum, [Haemophilus] paragallinarum, Pasteurella avium and Pasteurella volantium as Avibacterium gallinarum gen. nov., comb. nov., Avibacterium paragallinarum comb. nov., Avibacterium avium comb. nov. and Avibacterium volantium comb. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55(1), 353–362. <https://doi.org/10.1099/IJS.0.63357-0/CITE/REFWORKS>
- Driessche, L. Van, Vanneste, K., Bogaerts, B., de Keersmaecker, S. C. J., Roosens, N. H., Haesebrouck, F., de Cremer, L., Deprez, P., Pardon, B., & Boyen, F. (2020). Isolation of Drug-Resistant Gallibacterium anatis from Calves with Unresponsive Bronchopneumonia, Belgium. *Emerging Infectious Diseases*, 26(4), 721. <https://doi.org/10.3201/EID2604.190962>
- El huevo mexicano, un alimento muy valioso | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx. (n.d.). Retrieved December 3, 2023, from <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-huevo-mexicano-un-alimento-muy-valioso>.
- Falconi-Agapito, F., Saravia, L. E., Flores-Pérez, A., & Fernández-Díaz, M. (2015). Naturally Occurring -Nicotinamide Adenine Dinucleotide-Independent Avibacterium paragallinarum Isolate in Peru. <https://doi.org/10.1637/10969-110314-CaseR>, 59(2), 341–343. <https://doi.org/10.1637/10969-110314-CASER>
- García-Gómez, E., Vaca, S., Pérez-Méndez, A., Ibarra-Caballero, J., Pérez-Márquez, V., Tenorio, V. R., & Negrete-Abascal, E. (2005). Gallibacterium anatis-secreted metalloproteases degrade chicken IgG. *Avian Pathology*, 34(5), 426–429. <https://doi.org/10.1080/03079450500267866>
- Guo, M., Liu, D., Chen, X., Wu, Y., & Zhang, X. (2022). Pathogenicity and innate response to Avibacterium paragallinarum in chickens. *Poultry Science*, 101(1), 101523. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2021.101523>
- Jeong, O. M., Kang, M. S., Jeon, B. W., Choi, B. K., Kwon, Y. K., Yoon, S. Y., Blackall, P. J., Lee, H. S., Jung, S. C., & Kim, J. H. (2017). Isolation and characterization of Avibacterium paragallinarum with different nicotinamide adenine dinucleotide requirements. *Veterinary Microbiology*, 205, 62–65. <https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2017.05.005>
- Kristensen, B. M., Frees, D., & Bojesen, A. M. (2010). GtxA from Gallibacterium anatis, a cytolytic RTX-toxin with a novel domain organisation. *Veterinary Research*, 41(3), 25. <https://doi.org/10.1051/VETRES/2009073>

- Lieberman, L. A. (2022). Outer membrane vesicles: A bacterial-derived vaccination system. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1029146. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.1029146/BIBTEX>
- Liu, C. C., Ou, S. C., Tan, D. H., Hsieh, M. K., Shien, J. H., & Chang, P. C. (2016). The Fimbrial Protein is a Virulence Factor and Potential Vaccine Antigen of *Avibacterium paragallinarum*. <https://doi.org/10.1637/11410-031316-Reg.1>, 60(3), 649–655. <https://doi.org/10.1637/11410-031316-REG.1>
- Luna-Castrejón, L. P., Buter, R., Pantoja-Nuñez, G. I., Acuña-Yanes, M., Ceballos-Valenzuela, K., Talavera-Rojas, M., Salgado-Miranda, C., Heuvelink, A., De Wit, S., Soriano-Vargas, E., & Feberwee, A. (2020). Identification, HPG2 Sequence Analysis, and Antimicrobial Susceptibility of *Avibacterium paragallinarum* Isolates Obtained from Outbreaks of Infectious Coryza in Commercial Layers in Sonora State, Mexico. <https://doi.org/10.1637/Aviandiseases-D-20-00103>, 65(1), 95–101. <https://doi.org/10.1637/AVIANDISEASES-D-20-00103>
- Mei, C., Sun, A. H., Blackall, P. J., Xian, H., Li, S. F., Gong, Y. M., & Wang, H. J. (2020). Component Identification and Functional Analysis of Outer Membrane Vesicles Released by *Avibacterium paragallinarum*. *Frontiers in Microbiology*, 11, 518060. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2020.518060/BIBTEX>
- Montes-García, J. F., Vaca, S., Vazquez-Cruz, C., Soriano-Vargas, E., Aguilar-Romero, F., Blackall, P. J., & Negrete-Abascal, E. (2016). Identification of a Hemagglutinin from *Gallibacterium anatis*. *Current Microbiology*, 72(4), 450–456. <https://doi.org/10.1007/S00284-015-0969-5/FIGURES/5>
- Morales-Erasto, V., Fernández-Rosas, P., Negrete-Abascal, E., Salazar-García, F., Blackall, P. J., & Soriano-Vargas, E. (2013). Genotyping, Pathogenicity, and Immunogenicity of *Avibacterium paragallinarum* Serovar B-1 Isolates from the Americas. <https://doi.org/10.1637/10693-101513-ResNote.1>, 58(2), 293–296. <https://doi.org/10.1637/10693-101513-RESNOTE.1>
- Narasínakuppe Krishnegowda, D., Dhama, K., Kumar Mariappan, A., Munuswamy, P., Iqbal Yattoo, M., Tiwari, R., Karthik, K., Bhatt, P., & Reddy, M. R. (2020). Etiology, epidemiology, pathology, and advances in diagnosis, vaccine development, and treatment of *Gallibacterium anatis* infection in poultry: a review. *The Veterinary Quarterly*, 40(1), 16. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1712495>
- Pan, Y. C., Tan, D. H., Shien, J. H., Liu, C. C., He, Y. S., Shen, P. C., & Chang, P. C. (2012). Identification and Characterization of an RTX Toxin-Like Gene and Its Operon from *Avibacterium paragallinarum*. <https://doi.org/10.1637/10047-122211-Reg.1>, 56(3), 537–544. <https://doi.org/10.1637/10047-122211-REG.1>
- Paudel, S., Hess, M., & Hess, C. (2016). Coinfection of *Avibacterium paragallinarum* and *Gallibacterium anatis* in Specific-Pathogen-Free Chickens Complicates Clinical Signs of Infectious Coryza, Which Can Be Prevented by Vaccination. <https://doi.org/10.1637/11481-081016-Reg>, 61(1), 55–63. <https://doi.org/10.1637/11481-081016-REG>
- Persson, G., & Bojesen, A. M. (2015). Bacterial determinants of importance in the virulence of *Gallibacterium anatis* in poultry. *Veterinary Research*, 46(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S13567-015-0206-Z/FIGURES/5>
- Ramón Rocha, M. O., García-González, O., Pérez-Méndez, A., Ibarra-Caballero, J., Pérez-Márquez, V. M., Vaca, S., & Negrete-Abascal, E. (2006). Membrane vesicles released by *Avibacterium paragallinarum* contain putative virulence factors. *FEMS Microbiology Letters*, 257(1), 63–68. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6968.2006.00154.X>

- Sanchez-Alonso, P., Cobos-Justo, E., Avalos-Rangel, M. A., López-Reyes, L., Paniagua-Contreras, G. L., Vaca-Paniagua, F., Anastacio-Marcelino, E., López-Ochoa, A. J., Pérez Marquez, V. M., Negrete-Abascal, E., & Vázquez-Cruz, C. (2023). A Maverick-like cluster in the genome of a pathogenic, moderately virulent strain of *Gallibacterium anatis*, ESV200, a transient biofilm producer. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1084766. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2023.1084766/BIBTEX>
- Soriano-Vargas, E., Sánchez-Morales, J., Morales-Erasto, V., & García-Sánchez, A. (2013). Aislamiento e identificación de *Avibacterium paragallinarum* NAD independiente (serovariedad C-1) en gallinas de reemplazo con coriza infecciosa. *Veterinaria México*, 44(1), 57–62. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922013000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Tang, B., Pors, S. E., Kristensen, B. M., Skjerning, R. B. J., Olsen, R. H., & Bojesen, A. M. (2020). GtxA is a virulence factor that promotes a Th2-like response during *Gallibacterium anatis* infection in laying hens. *Veterinary Research*, 51(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/S13567-020-00764-2/FIGURES/7>
- Tu, T. Y., Hsieh, M. K., Tan, D. H., Ou, S. C., Shien, J. H., Yen, T. Y., & Chang, P. C. (2014). Loss of the Capsule Increases the Adherence Activity, but Decreases the Virulence of *Avibacterium paragallinarum*. <https://doi.org/10.1637/10937-091414-REG>, 59(1), 87–93. <https://doi.org/10.1637/10937-091414-REG>
- Wang, Y. P., Hsieh, M. K., Tan, D. H., Shien, J. H., Ou, S. C., Chen, C. F., & Chang, P. C. (2014). The haemagglutinin of *Avibacterium paragallinarum* is a trimeric autotransporter adhesin that confers haemagglutination, cell adherence and biofilm formation activities. *Veterinary Microbiology*, 174(3–4), 474–482. <https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2014.10.013>
- Wu, J. R., Chen, P. Y., Shien, J. H., Shyu, C. L., Shieh, H. K., Chang, F., & Chang, P. C. (2010). Analysis of the biosynthesis genes and chemical components of the capsule of *Avibacterium paragallinarum*. *Veterinary Microbiology*, 145(1–2), 90–99. <https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2010.03.002>
- Xu, Y., Cheng, J., Huang, X., Xu, M., Feng, J., Liu, C., & Zhang, G. (2019). Characterization of emergent *Avibacterium paragallinarum* strains and the protection conferred by infectious coryza vaccines against them in China. *Poultry Science*, 98(12), 6463–6471. <https://doi.org/10.3382/PS/PEZ531>