

**Sistemas de producción de pollo de engorde en el departamento de Santander y  
modelos de estimación de consumo de alimento**

Por:  
Jenifer Gómez Londoño

Oscar David Múnera Bedoya Dr  
**Director**  
**Director de investigación de Solla S.A.**

Mario Fernando Cerón Muñoz Dr  
**Co-Director**  
**Profesor titular de la Universidad de Antioquia**

Jorge Hernán Duque Noreña MVZ  
**Miembro del comité tutorial**  
**Director de avicultura industrial de Solla S.A.**

Maestría en Ciencias Animales – Modalidad profundización

Universidad de Antioquia

2021

## **Agradecimientos**

Al grupo de Investigación GAMMA de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, que me ha acompañado durante mi proceso de formación y en especial al profesor Mario Fernando Cerón Muñoz quien fue parte fundamental para el desarrollo de este trabajo.

A la empresa Solla y en especial al grupo de investigación NutriSolla por facilitar los medios y compartir su conocimiento para hacer de este trabajo una herramienta aplicable en el sector avícola.

A Óscar David Múnera, Edimer David Jaramillo y Jorge Hernán Duque por sus contribuciones al trabajo de grado y a mi proceso de formación. Sus aportes han sido invaluable.

A todos los administradores de los sistemas de producción que realizaron sus aportes a través de las encuestas de caracterización y que fueron el pilar fundamental para llevar a cabo mi trabajo de grado.

## Resumen

La producción de pollo de engorde es de gran interés para el departamento de Santander dada su alta participación dentro de PIB pecuario, constituyéndose en el principal centro avícola nacional. Es importante conocer las condiciones bajo las cuales realiza la producción de pollo de engorde e identificar el potencial que tienen estos sistemas de producción. Estimar el consumo de alimento del pollo de engorde e identificar los factores que influyen en éste servirá al productor como herramienta para la toma de decisiones en busca de un mejoramiento en el rendimiento zootécnico y la optimización del recurso alimento. Este trabajo buscó conocer las condiciones de producción del pollo de engorde en el departamento de Santander y su efecto en la estimación del consumo de alimento. Para el desarrollo del trabajo se contó con información proveniente de 79 predios avícolas los cuales se encontraban ubicados en 4 provincias del departamento de Santander: Metropolitana, Soto, Guanentá y Yariguíes. Se realizaron análisis descriptivos de las variables evaluadas, las granjas fueron agrupadas a través de un análisis de clúster, un índice de adopción tecnológico para los sistemas de producción y un modelo de estimación de consumo de alimento fueron generados. Se encontró que existe variación en la adopción de tecnologías entre las granjas, siendo las más frecuentes las tecnologías blandas, mientras que tecnologías duras obedecen a adaptaciones relacionadas con las condiciones climáticas de la región donde se ubica la granja. Santander obtuvo un índice de adopción tecnológico bajo lo que podría ofrecer alternativas de tecnificación en el mediano y largo plazo. Se logró desarrollar un modelo con la capacidad de estimar el consumo de alimento a partir de variables zootécnicas y de caracterización de los sistemas de producción.

**Palabras clave:** análisis de clúster, avicultura, regresión lineal múltiple, tecnología.

## Abstract

Broiler production is of great interest to Santander given its high participation in the livestock GDP of this province, which makes it the main Colombian poultry center. It is important to know the conditions under which the broiler production takes place and to identify the potential that have these production systems. Estimating the feed consumption of the broiler chicken and identifying the factors that influence it will serve as a tool for the producer to make decisions in search of an improvement in zootechnical performance and the optimization of the feed resource. This work sought to know the production conditions of broiler in Santander province and its effect on the estimation of feed consumption. For the development of the work, information was available from 79 farms which were located in 4 provinces: Metropolitana, Soto, Guanentá and Yariguíes. Descriptive analyzes of the evaluated variables were carried out, the farms were grouped through a cluster analysis, a technology adoption index for the production systems and a food consumption estimation model were generated. It was found that there is variation in the adoption of technologies between farms, the most frequent being soft technologies, while hard technologies are due to adaptations related to the climatic conditions of the region where the farm is located. Santander obtained a low technology adoption rate, which could offer modernization alternatives in the medium and long term. It was possible to develop a model with the ability to estimate food consumption from zootechnical variables and characterization of production systems.

**Keywords:** cluster analysis, poultry, multiple linear regression, technology.

## Tabla de contenido

<b>Capítulo 1. Introducción general y objetivos .....</b>	<b>12</b>
Introducción general .....	12
Objetivos .....	14
Objetivo general .....	14
Objetivos específicos.....	14
Referencias.....	15
<b>Capítulo 2. Marco teórico.....</b>	<b>16</b>
Sistemas de producción de pollo de engorde .....	16
Modelación matemática .....	21
<i>Análisis de clúster</i> .....	23
<i>Regresión lineal múltiple</i> .....	25
Referencias.....	28
<b>Capítulo 3. Caracterización de sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia .....</b>	<b>35</b>
Resumen .....	35
Introducción .....	36
Materiales y métodos.....	37
Resultados y discusión .....	40
Caracterización de los sistemas de producción .....	40
Análisis de clúster.....	50
Índice de adopción tecnológico .....	53
Conclusiones .....	58
Referencias.....	59
<b>Capítulo 4. Estimación de consumo de alimento en pollos de engorde del departamento de Santander, Colombia.....</b>	<b>65</b>
Introducción .....	66
Materiales y métodos.....	67
Resultados y discusión .....	69
Modelo de estimación de consumo para pollos livianos.....	69
Modelo de estimación de consumo para pollos pesados .....	73
Conclusiones .....	76

Referencias.....	77
<b>Capítulo 5. Consideraciones generales.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>86</b>
Anexo 1. Encuesta de caracterización de sistemas de producción de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia .....	86
Anexo 2. Encuesta para la asignación del factor ponderador en el índice de adopción tecnológico para sistemas de producción de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia .....	88
Anexo 3. Guía para autores de la revista Livestock Research for Rural Development (LRRD).....	89

## Lista de tablas

<b>Capítulo 1. Introducción general y objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 2. Marco teórico.....</b>	<b>16</b>
<b>Capítulo 3. Caracterización de sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia .....</b>	<b>35</b>
Tabla 1. Características agroecológicas de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander .....	41
Tabla 2. Características de infraestructura de galpones de sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander.....	42
Tabla 3. Equipos utilizados para la alimentación de las aves en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander (%)...44	44
Tabla 4. Participación porcentual de equipos para control climático dentro de los galpones en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander .....	44
Tabla 5. Variables de manejo en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander.....	47
Tabla 6. Perfil laboral y académico del personal de granjas en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia.....	49
Tabla 7. Adopción de tecnologías en sistemas de producción industrial de pollo de engorde en Santander, Colombia. ....	55
Tabla 8. Ponderador de tecnologías utilizadas para estimar el índice de adopción tecnológico IATN en sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia .....	57
Tabla 9. Índices tecnológicos de acuerdo al agrupamiento del análisis de clúster de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander .....	58
<b>Capítulo 4. Estimación de consumo de alimento en pollos de engorde del departamento de Santander, Colombia.....</b>	<b>65</b>
Tabla 1. Validación de los supuestos para la estimación del consumo a través de la RLM en pollos de engorde livianos en el departamento de Santander, Colombia .....	70
Tabla 2. Rango obtenido en las variables cuantitativas para el modelo de RLM para la estimación de consumo de alimento en pollos livianos en el departamento de Santander, Colombia .....	73

Tabla 3. Validación de los supuestos para la estimación del consumo a través de la RLM en pollos de engorde pesados en el departamento de Santander, Colombia .....	74
Tabla 4. Rango obtenido en las variables cuantitativas para el modelo de RLM para la estimación de consumo de alimento en pollos pesados en el departamento de Santander, Colombia .....	76
<b>Capítulo 5. Consideraciones generales.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>86</b>

## Lista de figuras

<b>Capítulo 1. Introducción general y objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 2. Marco teórico.....</b>	<b>16</b>
Figura 1. Técnicas multivariadas .....	23
Figura 2. Flujo de trabajo para el desarrollo de modelos predictivos. ....	28
<b>Capítulo 3. Caracterización de sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia .....</b>	<b>35</b>
Figura 1. Distribución de las variables cuantitativas de manejo de acuerdo al agrupamiento del análisis de clúster de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia. ....	51
Figura 2. Distribución de las variables cualitativas de manejo de acuerdo al agrupamiento del análisis de clúster de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia. ....	52
<b>Capítulo 4. Estimación de consumo de alimento en pollos de engorde del departamento de Santander, Colombia.....</b>	<b>65</b>
<b>Capítulo 5. Consideraciones generales.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>86</b>

## Lista de abreviaturas

**AIC:** criterio de información de Akaike

**CONAVE:** Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador

**DANE:** Departamento Administrativo Nacional de Estadística

**FEDEGAN:** Federación Colombiana de Ganaderos

**FENAVI:** Federación Nacional de Avicultores

**IAT:** Índice de Adopción Tecnológico

**IATA:** índice de adopción tecnológico para alimentación

**IATGP:** índice de adopción tecnológico para gestión de la producción

**IATMC:** índice de adopción tecnológico para manejo climático

**IATMS:** índice de adopción tecnológico para manejo sanitario

**IATN:** índice de adopción tecnológico (II)

**IATNA:** índice de adopción tecnológico para alimentación (II)

**IATNMC:** índice de adopción tecnológico para manejo climático (II)

**IATNMS:** índice de adopción tecnológico para manejo sanitario (II)

**ICA:** Instituto Colombiano Agropecuario

**INEC:** Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos

**INTA:** Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

**MADR:** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

**PIB:** producto interno bruto

**RLM:** regresión lineal múltiple

**RMSD:** raíz del error cuadrático medio

**SIPSA:** Sistema de información de precios SIPSA

**TIC:** Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

# Capítulo 1. Introducción general y objetivos

## Introducción general

La producción avícola en el año 2020 tuvo una participación del 32.8% en el PIB pecuario nacional con una producción de 20 billones de pesos generando un crecimiento del 1,82% frente al año 2019 (Revista Semana, 2021). La producción de pollo de engorde representa una actividad de gran impacto en la economía nacional, marcado por su desbordante crecimiento en los últimos años, en donde se ha logrado pasar de un consumo per cápita en el año 2000 de 14.2 kg a 34.0 kg en el año 2020, es decir, el consumo de esta proteína ha ido creciendo a una tasa promedio de 4.5% (FENAVI, 2021). El censo realizado por el ICA para el año 2021 reportó que Santander es el departamento con mayor participación en la producción avícola nacional, con el 24.9% de la capacidad ocupada para la producción de pollo de engorde, los cuales se encuentran alojados en 662 predios (ICA, 2021).

Con el fin de optimizar los procesos productivos, los sistemas de producción agrícolas y pecuarios se encuentra en una revolución digital en donde los datos son parte fundamental para obtener la información necesaria que permita la correcta toma de decisiones (Tortolero, 2019). El aprovechamiento de la información favorece el proceso de planeación y ejecución de actividades tendientes a la optimización de recursos y la maximización de la rentabilidad, la efectividad de estas actividades se logra definiendo y controlando los procesos que intervienen de manera directa o indirecta en la repuesta económica y productiva del sistema (Galeano, 2014). A nivel nacional es poca la información que se encuentra sobre caracterización e implementación de tecnologías a nivel de campo, especialmente en sistemas de producción de pollo de engorde, información que permitiría establecer programas de manejo y gestión de las granjas y la formación de políticas públicas.

Es sabido que los resultados zootécnicos obtenidos en los sistemas de producción de pollo de engorde dependerán de las características de infraestructura, condiciones geográficas, ambientales y el manejo de cada lote (Cobb Vantress, 2019). Conocer las

31 condiciones bajo las cuales funcionan los sistemas de producción de pollo de engorde  
32 permitirá conocer el potencial de desarrollo que tiene el principal departamento avícola  
33 del país.

34 El desarrollo de un modelo de estimación de consumo de alimento facilitará el proceso  
35 de programación logístico de un lote y permitirá identificar los factores que tienen un  
36 mayor efecto sobre el rendimiento zootécnico del ave sirviendo como una herramienta al  
37 productor que permitirá plantear estrategias de mejora en el corto, mediano y largo plazo,  
38 fundamentadas en el conocimiento y el análisis de los datos.

39

## Objetivos

40

### Objetivo general

- Determinar las condiciones de producción del pollo de engorde en el departamento de Santander y su efecto en la estimación del consumo de alimento.

44

### Objetivos específicos

- Caracterizar sistemas de producción de pollo de engorde de acuerdo a la infraestructura, condiciones ambientales, geográficas y de gestión.
- Desarrollar un modelo matemático que permita la estimación del consumo de alimento en lotes de producción de pollo de engorde liviano y pesado.

50

## Referencias

- 51 • Cobb Vantress 2019 Pollo de engorde guía de manejo. Cobb Vantress®.  
52 [https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)  
53 [ESP-WEB\\_2.22.2019.pdf](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)
- 54 • FENAVI 2021 Estadísticas del sector. Federación Nacional de Avicultores de  
55 Colombia. <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>
- 56 • Galeano L 2014 Caracterización de sistemas de producción avícola de huevo mediante  
57 la implementación de modelos de predicción y clasificación. Universidad de Antioquia,  
58 Colombia.  
59 [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/3096/1/LuisFernando\\_20](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/3096/1/LuisFernando_2014Caracterizaci%c3%b3nSistemasproducci%c3%b3n.pdf)  
60 [14Caracterizaci%c3%b3nSistemasproducci%c3%b3n.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/3096/1/LuisFernando_2014Caracterizaci%c3%b3nSistemasproducci%c3%b3n.pdf)
- 61 • ICA 2021 Censo pecuario nacional. ICA.  
62 [https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-](https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx)  
63 [2016/censo-2018.aspx](https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx)
- 64 • Revista Semana 2021 Pollo colombiano 'vuela' a Japón. Revista Semana.  
65 [https://www.semana.com/economia/empresas/articulo/pollo-colombiano-vuela-a-](https://www.semana.com/economia/empresas/articulo/pollo-colombiano-vuela-a-japon/202100/)  
66 [japon/202100/](https://www.semana.com/economia/empresas/articulo/pollo-colombiano-vuela-a-japon/202100/)
- 67 • Tortolero J 2019 Uso de datos para la toma de decisiones en el sector avícola.  
68 Exposición Internacional de Producción y Procesamiento (IPPE). Conferencia llevada  
69 a cabo en Atlanta, Georgia.

70

71

## Capítulo 2. Marco teórico

72

73

74

### Sistemas de producción de pollo de engorde

75

76

77

78

79

80

En el año 2021 en Colombia se registró un inventario avícola correspondiente a 211 millones de aves, las cuales se encontraban alojadas en 440.385 predios. La producción industrial avícola se concentra en 5953 predios en los que se tiene una capacidad ocupada para 202 millones de aves. Geográficamente la capacidad ocupada avícola se encuentra distribuida principalmente en los departamentos de Santander (24.9%), Valle del Cauca (21.2%) y Cundinamarca (18.5%) (ICA, 2021).

81

82

83

84

85

86

87

88

En el censo realizado en el año 2021, Santander registró ante el ICA 1.180 predios dedicados a la producción avícola industrial de los cuales 43 se dedican a la producción de reproductoras, 15 al levante de ponedoras, 460 a la producción de huevo y 662 a la producción de pollo de engorde. Siendo esta última la de mayor participación en el PIB avícola del departamento con un 85% en el año 2014 (ICA, 2021; FENAVI, 2016), cifras que corroboran el impacto que tiene la industria avícola en la economía del departamento y lo ratifican como el principal centro de producción nacional.

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

La producción de pollo de engorde en Colombia se rige bajo la resolución número 3652 del 2014, expedida por el ICA: *“Por medio de la cual se establecen los requisitos para la certificación de granjas avícolas bioseguras de engorde y se dictan otras disposiciones”*, En esta se establece que la producción de pollo de engorde debe realizarse bajo el método “todo dentro – todo fuera” (ICA, 2014). Aun cuando en 2014 se realizó el tercer Censo Nacional Agropecuario, en los registros disponibles no incluye información relacionada con las características físicas de las granjas avícolas para el departamento de Santander. FENAVI en el año 2016 realizó una caracterización de tipo económica para la avicultura del departamento de Santander, sin que se evidencien publicaciones que reporten información que permita conocer las características físicas y de infraestructura de las granjas avícolas, por estas razones se desconoce información reciente de las peculiaridades que poseen los sistemas de

101 producción avícolas en el país (DANE, 2014; FENAVI, 2016). La última caracterización  
102 de granjas de que se realizó para el departamento de Santander correspondió al  
103 Censo Nacional de Avicultura Industrial, el cual se realizó en el año 2002 y cuyo  
104 objetivo fue proporcionar información confiable y actualizada sobre el sector pecuario,  
105 en este se entregó información sobre el volumen de la población avícola del país, su  
106 ubicación y parámetros técnicos involucrados en la producción avícola (MADR et al,  
107 2002). Aun cuando a través de este censo se logró consolidar información relevante  
108 para el sector, no se incluyeron caracterizaciones de los sistemas de producción en  
109 cuanto a condiciones agroecológicas, de infraestructura, equipos, ni el nivel de  
110 adopción de tecnologías asociadas al proceso productivo. Las características de los  
111 sistemas de producción avícola permiten conocer el potencial productivo que tiene el  
112 sector puesto que, de estas características dependerá el manejo que se le dé a las  
113 aves en producción.

114 Es importante conocer las condiciones en las cuales se están desarrollando los  
115 procesos de producción. La selección genética, las mejoras en la nutrición y el manejo  
116 adecuado de los animales han permitido que la tasa de crecimiento temprano de los  
117 pollos de engorde haya avanzado a gran escala y se haya reducido la cantidad de  
118 alimento necesaria para la producción de carne (Goliomytis, 2003). En los años de  
119 1960, el pollo de engorde iniciaba su proceso a nivel industrial y lograba alcanzar 2 kg  
120 de peso en 80 días, con un consumo de alimento de 5.8 kg, obteniendo así una  
121 conversión alimenticia de 2.90 (Gutierrez, 2018). Actualmente los pollos alcanzan un  
122 peso de 2 kg en 33 días, con un consumo de alimento de 2.95 kg y con una conversión  
123 de 1.46 (Aviagen, 2017), la tendencia a la optimización de parámetros productivos  
124 representa retos para los productores quienes deben ofrecer condiciones a las aves  
125 que les permita expresar su potencial genético sin sacrificar la rentabilidad.

126 El alimento representa el mayor costo de producción dentro de los sistemas de  
127 producción de pollo de engorde, autores han reportado participaciones en el costo total  
128 de producción que van desde el 56% hasta el 80% (MADR, 2019; DANE, 2015; SIPSA,  
129 2010). La participación del alimento en los costos de producción lo convierte en el  
130 elemento al que mayor atención prestan los productores, y es por esto que los índices

131 de producción más relevantes en la industria avícola siempre incluyen el consumo de  
132 alimento un factor altamente relevante. Solla (2017) y Aviagen (2018) reportan los  
133 principales índices de producción:

134 **Conversión alimenticia (CV)** =  $\frac{C(g)}{P(g)}$  [1]

135 **Factor de eficiencia americana (FEA)** =  $\frac{P(kg)}{\frac{C(kg)}{P(kg)}} * 100$  [2]

136 **Factor de eficiencia de producción (FEPP)** =  $\frac{\left(\left(1 - \left(\frac{A_i - A_f}{A_i}\right)\right) * 100\right) * P(kg)}{E(d) * \left(\frac{C(kg)}{P(kg)}\right)} * 100$  [3]

137 **Índice de productividad (IP)** =  $\frac{\frac{P(kg)}{\left(\frac{C(kg)}{P(kg)}\right)}}{\left(\frac{C(kg)}{P(kg)}\right)} * 100$  [4]

138 Donde:

139  $C(g)$ = consumo

140  $P(g)$ = peso

141  $E(d)$ = edad

142  $A_i$ = aves iniciales

143  $A_f$ = aves finales

144

145 En busca de mejorar el rendimiento zootécnico de las aves, los productores han  
146 recurrido a la introducción de tecnologías blandas y duras como la principal  
147 herramienta con la cual facilitar al ave la expresión de su potencial genético, sin que  
148 se evidencien trabajos que caractericen su implementación a nivel nacional.

149 La adopción de tecnologías en sistemas de producción agropecuario puede  
150 clasificarse en dos grandes grupos: las tecnologías duras que se basan principalmente  
151 en la adopción de equipos y maquinaria necesaria para el proceso productivo, y las  
152 tecnologías blandas que se basan en los sistemas, los procesos y los procedimientos  
153 de producción permitiendo manejar indirectamente los factores productivos y tener una  
154 visión sistemática de la organización (Guevara y Castellanos, 2000).

155 El adecuado manejo de las aves depende en gran medida de las tecnologías tanto  
156 duras como blandas adoptadas en los sistemas de producción, es por esto que el uso  
157 de tecnología es considerado como un factor clave para el correcto crecimiento del  
158 ave. En la guía de manejo genético desarrollado por Cobb Vantress (2019), se  
159 mencionan algunas tecnologías como factores de alta importancia en la producción,  
160 entre ellas se incluye el sobretecho, equipos que brinden una adecuada calefacción e  
161 instalaciones que tengan la suficiente ventilación para mantener una adecuada  
162 humedad en la cama y que se permita el enfriamiento óptimo de las aves.

163 En Colombia la producción de pollo de engorde es la principal actividad pecuaria que  
164 impulsa el desarrollo y la adopción de nuevas tecnologías para obtener mayor  
165 eficiencia productiva, esto ha permitido que diferentes universidades del país se  
166 interesen por desarrollar sistemas que facilitan el monitoreo de los sistemas que hay  
167 en un galpón, tales como ventilación, calefacción, iluminación, temperatura, entre otros  
168 (DTYT, 2013). Sin embargo, se desconoce el nivel y el tipo de tecnología que están  
169 adoptando los avicultores, lo que permitiría establecer la relevancia de los equipos de  
170 monitoreo. Otros países como Ecuador también han realizado esfuerzos para mejorar  
171 las tecnologías que se utilizan en los sistemas avícolas, sin embargo, se realizó un  
172 trabajo de análisis de la innovación tecnológica avícola en el cual se realizaron  
173 encuestas y se tuvo en cuenta como fuentes principales a la Corporación Nacional de  
174 Avicultores del Ecuador (CONAVE) y el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos  
175 (INEC), llegando a la conclusión de que no existe innovación tecnológica en el contexto  
176 de la industria 4.0 dentro de la industria avícola, siendo un limitante el poco  
177 conocimiento del tema por parte de los productores y la carencia de departamentos  
178 especializados en innovación y transformación digital (Barzallo et al, 2019). En Brasil  
179 se evaluó la implementación de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
180 (TIC), tecnologías consideradas blandas, y se identificó que el 60% de las empresas  
181 avícolas y el 50% de los productores rurales las utilizan como una estrategia para  
182 adquirir ventajas como controlar información interna y externa para facilitar el proceso  
183 de toma de decisiones estratégicas (Gonçalves et al, 2019).

184 Gracias a la implementación de políticas sanitarias nacionales, los avicultores en  
185 Colombia tienen una visión positiva de la bioseguridad, sin embargo, son escépticos  
186 en invertir en medidas de bioseguridad dado los altos costos iniciales que esta implica  
187 sin tener en cuenta los beneficios futuros que se obtendrán (Anzola et al, 2010). En el  
188 año 2014 el ICA expide las resoluciones por medio de las cuales se establecen los  
189 requisitos para la certificación de granjas avícolas bioseguras, captando un mayor  
190 interés por parte de los productores y logrando para el año 2020 que a nivel nacional  
191 alrededor de 2500 granjas (56%) contaran con la certificación como granjas avícolas  
192 bioseguras (GAB) frente a 4482 proyectadas por el ICA (ICA, 2014; Bajaras, 2020).  
193 Santander es uno de los departamentos que mayor avance tiene en el tema, logrando  
194 que para el año 2019 el 71% de las granjas contaran con la certificación GAB  
195 (Vanguardia, 2019).

196 Entre los beneficios de incorporar nuevas tecnologías en el sector avícola los  
197 productores podrían encontrar aspectos relacionados con la reducción de costos por  
198 desperdicios de alimento, mejora en las condiciones sanitarias de los galpones,  
199 producción verde, mantener condiciones ambientales estables para el ciclo productivo  
200 de las aves, minimizar las pérdidas por errores humanos, disminución de la tasa de  
201 mortalidad, competir por obtener una mayor participación en el sector avícola y por  
202 ende mayores ingresos (Pachón y Suarez, 2018).

203 Para ser más competitivos y sostenibles, los productores de pollo de engorde no deben  
204 preocuparse solamente por el presente, sino también por el futuro, deben recolectar  
205 gran cantidad de datos que circulan en todos los aspectos productivos y convertirlos  
206 en una herramienta para la toma de decisiones y en algunos casos para el desarrollo  
207 de investigaciones (Pachón y Suarez, 2018). La modelación matemática mediante  
208 técnicas multivariadas permite a los productores desarrollar modelos que facilitan la  
209 identificación de relaciones entre variables de diferentes índoles, favoreciendo la  
210 comprensión de los fenómenos que ocurren dentro de los sistemas de producción y  
211 ofreciendo alternativas que les permiten optimizar los procesos de producción y  
212 aumentar la rentabilidad, asegurando condiciones de bienestar para los operarios y los  
213 animales.

214 En Colombia se han desarrollado modelos matemáticos aplicados en la producción de  
215 pollo de engorde, Múnera et al (2018) modelaron la curva de crecimiento del pollo de  
216 engorde de la línea genética Ross AP utilizando modelos lineales y no lineales, se  
217 utilizó el criterio de información Akaike (AIC) y el criterio de información Bayesiano  
218 (BIC) para comparar los modelos; el modelo cuadrático fue el mejor modelo para la  
219 predicción de la curva de crecimiento de pollos hasta los 42 días de edad. Guerrero  
220 (2014) desplegó un modelo de regresión lineal multivariado el cual permitió estimar el  
221 impacto que tenían las variables peso, consumo, kilos al sacrificio y ganancia diaria  
222 sobre la conversión alimenticia, logró un modelo con un coeficiente de determinación  
223 del 98,8%. Molina (2016) elaboró un modelo de regresión lineal tipo datos de panel  
224 para predecir el peso de las aves en edades adecuadas para el beneficio de las aves,  
225 para tal fin se tuvo en cuenta los registros de cada galpón de aves respecto al  
226 encasamiento, los informes técnicos semanales y el desempeño final de las aves al  
227 día de su beneficio, esta herramienta se desarrolló buscando una mejora en el proceso  
228 de programación de beneficio de las aves de engorde.

229

### 230 **Modelación matemática**

231 Se conoce como modelación matemática a una representación o abstracción de la  
232 realidad que tiene como fin ayudar a entender cierto problema o alguna situación de  
233 interés en la física, química, biología, entre otros (Brito et al. 2011).

234 Para Brito et al. (2011) el proceso de modelación pasa por 4 principales fases las  
235 cuales son:

- 236 1. Identificación de un problema.
- 237 2. Formulación del modelo matemático que mejor se ajuste, generalmente a través  
238 de ecuaciones o relaciones entre variables que describen la situación, además  
239 se crea la hipótesis que simplifica el fenómeno de forma que pueda ser tratado.
- 240 3. Desarrollar el modelo de forma que se pueda realizar la interpretación de los  
241 resultados y la generación de conclusiones matemáticas.

242 4. Predecir valores con base en el modelo, con esto se validará si la información  
243 predicha coincide con los datos reales dando lugar a un análisis de bondad de  
244 ajuste.

245 En el proceso de desarrollo de un modelo se utilizan análisis univariados, bivariados  
246 y/o multivariados, es decir, análisis con una, dos o más de dos variables  
247 respectivamente. Según Cuadras (2019), el análisis multivariado se define como: *“la*  
248 *parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e*  
249 *interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre*  
250 *una muestra de individuos.”*

251 Para Sosa (2006), los principales objetivos del análisis multivariado pueden resumirse  
252 en dos:

- 253 1. Proporcionar un método que tiene como fin estudiar un conjunto de datos con  
254 múltiples variables de una forma que el análisis univariado y bivariado no son  
255 capaces de hacer.
- 256 2. Ayudar al analista en la toma de decisiones según el contexto en el que se  
257 encuentra, teniendo en cuenta la información disponible en los datos  
258 analizados.

259 Para Salvador (2000) el análisis multivariado se divide en 3 tipos, los cuales son  
260 utilizadas según el tipo de variables que se pretenda evaluar. En la figura 1 se observa  
261 las técnicas utilizadas para cada tipo de análisis.

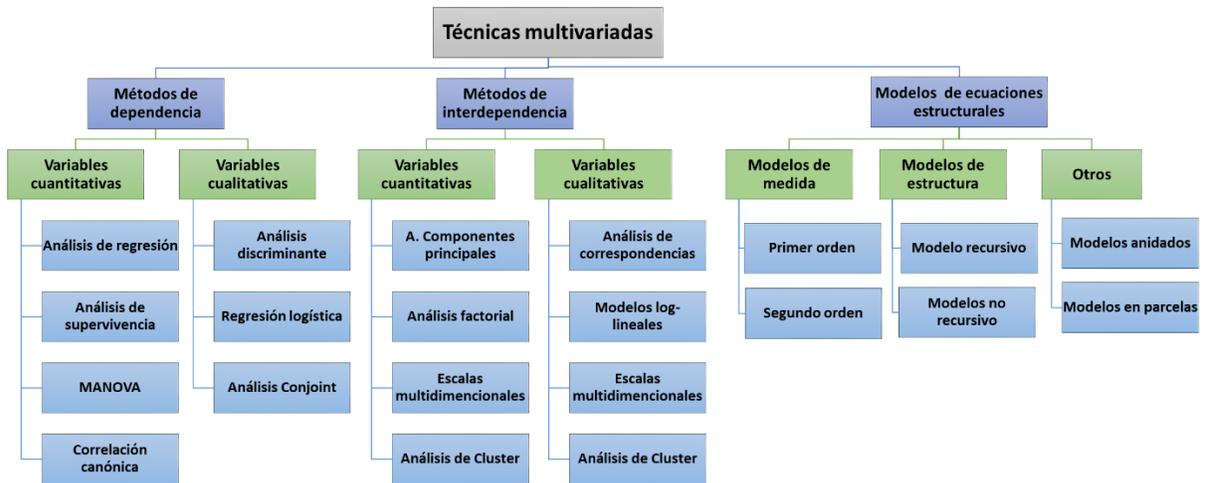
262 ➤ **Métodos de dependencia:** en este grupo las variables son clasificadas en  
263 dependientes e independientes y su finalidad consiste en determinar si las  
264 variables dependientes son afectadas por las independientes y de qué forma.

265

266 ➤ **Métodos de interdependencia:** estos métodos no diferencian que variables  
267 son dependientes y cuales independientes, el objetivo de estos se centra en  
268 identificar cómo y por qué las variables están relacionadas.

269

270 ➤ **Modelos de ecuaciones estructurales:** analiza las relaciones existentes entre  
 271 variables observadas y variables latentes, las últimas son variables construidas  
 272 a partir de las variables observadas. El objetivo que tienen estos métodos  
 273 consiste en analizar cómo se relacionan las variables.  
 274



275

276 **Figura 1.** Técnicas multivariadas (Adaptado de Salvador, 2000).

277 El análisis de clúster permite generar grupos que tienen un comportamiento similar y  
 278 es por esto que es considerado una metodología adecuada para agrupar los sistemas  
 279 de producción de pollo de engorde de acuerdo a las características de estos. El análisis  
 280 de regresión como método de dependencia permite determinar las principales  
 281 variables que tienen efecto sobre determinada variable dependiente.

282

283 ***Análisis de clúster***

284 El análisis de clúster o también denominado análisis de conglomerados es una técnica  
 285 que tiene como fin clasificar observaciones de forma que cada grupo sea homogéneo  
 286 respecto a las variables utilizadas para caracterizarlo y que los grupos sean lo más  
 287 distintos posibles unos de otros (Aldás y Uriel, 2017). Dos metodologías son  
 288 planteadas para el desarrollo del análisis de clúster: clúster jerárquico y clúster no  
 289 jerárquico.

290 *Clúster jerárquico*

291 Los métodos jerárquicos permiten la aglomeración o división de clústeres para crear  
292 nuevos, siendo indispensable la construcción de la matriz de distancias o similitudes.  
293 Algunas de las medidas de similaridad más reconocidas son: distancia euclídeana,  
294 distancia euclídeana al cuadrado, distancia de Minkowski, distancia city block o  
295 “Manhattan” y distancia de Ward (Venegas y Pineda, 2017; Aldás y Uriel, 2017).

296 Los algoritmos de clasificación son de 2 tipos: aglomeración, parte de elementos  
297 individuales y los van agregando a un grupo; y división, parte de un conjunto de  
298 elementos y los divide hasta llegar a elementos individuales. Los algoritmos de  
299 aglomeración son los más utilizados dado que requieren un menor tiempo y requieren  
300 de un menor esfuerzo computacional (Venegas y Pineda, 2017).

301 Una de las metodologías utilizadas para validar el análisis de clúster es a través del  
302 coeficiente de correlación cofenético, el cual mide la correlación entre las distancias  
303 iniciales, tomadas a partir de los datos originales y las distancias finales con las cuales  
304 los individuos se han unido durante el desarrollo del método. Valores altos del  
305 coeficiente de correlación indica un adecuado proceso de clusterización (Lara y  
306 Muñuzuri, 2014).

307 *Clúster no jerárquico*

308 En los métodos no jerárquicos el conjunto de datos es distribuido en un número de  
309 clústers previamente especificado. No existe un criterio exacto acerca del número de  
310 grupos a formar, este puede definirse de forma aleatoria o puede utilizarse una métrica  
311 que permita identificar el número de clúster óptimos en el cual los grupos generados  
312 sean lo más homogéneos posible, también puede utilizarse una herramienta  
313 discriminante, caída mediante un punto de inflexión en la similitud o en la  
314 homogeneidad (Salvador, 2017).

315 Los métodos de clasificación más utilizados son el algoritmo k-means, K-medoids,  
316 PAM y Clara.

317 El método k-means tiene como ventaja que es escalable y eficiente en procesos que  
318 involucran grandes conjuntos de datos, es de cálculo rápido y trabaja bien con valores  
319 faltantes, sin embargo, dado que su algoritmo se basa en el promedio este es sensible  
320 a valores extremos. El algoritmo comienza seleccionando los casos más distantes  
321 entre sí y a continuación se inicia el proceso de asignación de cada caso al centro más  
322 próximo y actualizando el valor del centro a medida que los casos se han asignado a  
323 uno de los conglomerados (Leiva y Torres, 2010).

324 El método k-medoids funciona de forma similar al algoritmo k-means, diferenciándose  
325 por la sustitución del vector de promedio por el correspondiente vector de la mediana  
326 como centro del conglomerado, su principal ventaja frente al método k-means es no  
327 ser influida por los valores extremos (Jin y Han, 2011)

328 El algoritmo PAM es un método tipo k-medoids que intenta determinar el número de  
329 particiones determinando los objetos representativos en cada conglomerado. El  
330 algoritmo Clara separa múltiples muestras de la base completa y aplica el algoritmo  
331 PAM sobre cada una de ellas para luego encontrar los conjuntos de k-medoids de las  
332 muestras (Leiva y Torres, 2010).

333 Una vez desarrollado el análisis de clúster el siguiente paso consiste en la aplicación  
334 de una métrica que permita evaluar la calidad del agrupamiento obtenido, el coeficiente  
335 de Silhouette es una de las posibles métricas a utilizar, este coeficiente está acotado  
336 entre -1 y 1, si el valor obtenido para una observación es cercano a cero nos indica  
337 que la observación está ubicada en la frontera de los clúster, si el valor es negativo  
338 nos indica que la observación está mal clasificada y por el contrario cuando este valor  
339 es positivo nos indica una correcta asignación de la observación a su respectivo clúster  
340 (Banchero, 2015).

341

### 342 ***Regresión lineal múltiple***

343 La regresión es una técnica estadística que consiste en calcular la relación entre  
344 variables en forma de función matemática. La regresión lineal tiene una versión sencilla

345 en la que se emparejan 2 variables, pero esto no suele ser suficiente para comprender  
346 fenómenos mínimamente complejos en la que influyen más de dos variables, para  
347 estos casos se tiene la regresión lineal múltiple (Montero, 2016).

348 Existen diferentes metodologías para la selección de variables predictores,  
349 destacándose 2 principales: Best Subset Selection y la selección paso a paso o  
350 Stepwise (Zhang, 2016).

351 El método Best Subset Selection consiste en evaluar todos los posibles modelos que  
352 se puedan crear por combinación de los predictores disponibles y es por esto que tiene  
353 un alto requerimiento computacional, también tiende a generar problemas de  
354 sobreajuste dado que al generarse tantos modelos se puede encontrar un buen  
355 resultado solo por azar, por lo cual no se recomienda para modelos con más de 10  
356 predictores (Amat, 2016).

357 El método de selección paso a paso contiene diferentes metodologías de aplicación,  
358 Heinze et al (2018) explica los 3 métodos más utilizados como:

359 - Eliminación hacia atrás (Backward Stepwise Regression): el modelo inicia con  
360 todas las variables en la ecuación y va excluyendo la variable menos influyente  
361 en cada etapa de acuerdo al contraste individual de la  $t$  o de la  $F$ .

362

363 - Selección hacia adelante (Forward Stepwise Regression): el modelo inicia con  
364 una variable independiente determinada por la de mayor correlación con la  
365 variable dependiente, en cada etapa se incluye una variable nueva hasta  
366 terminar con un modelo que contiene todas las variables independientes en la  
367 ecuación.

368

369 - Pasos sucesivos (Stepwise Regression): este método combina los dos  
370 procedimientos anteriores, inicia incluyendo una variable que no se encuentren  
371 en la ecuación y que tengan la probabilidad  $F$  más pequeña, sin embargo, las  
372 variables ya incluidas pueden ser eliminadas del modelo si se encuentra que

373 esta ya no es significativa en el modelo, el modelo finaliza cuando no hay más  
374 variables candidatas a ser incluidas o eliminadas.

375 Una vez se han desarrollado los modelos se debe contar con un indicador que permita  
376 medir el grado de ajuste entre el modelo y los datos, lo que permitirá seleccionar el  
377 modelo más adecuado. Las medidas de bondad de ajuste más reconocidas son el  
378 coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$   
379 ajustado) y el estadístico Akaike Information Criterium (AIC) (Aldás y Uriel, 2017).

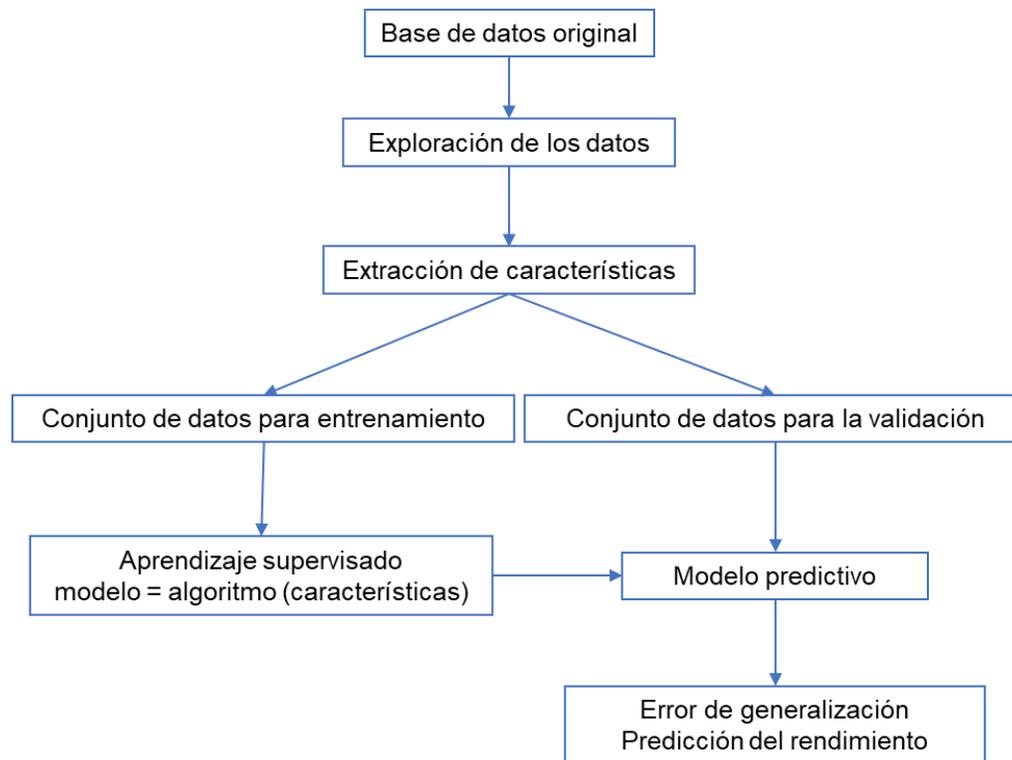
380 El  $R^2$  es una medida que permite identificar la capacidad que tienen las variables  
381 independientes para predecir la variable dependiente, está acotado entre 0 y 1, donde  
382 un  $R^2$  pequeño implica que la varianza de la perturbación es grande en relación a la  
383 variación de la variable dependiente, lo que significa que el modelo no tiene la  
384 capacidad de estimar con precisión. El  $R^2$  aumenta su valor o lo mantiene cuando se  
385 añaden nuevas variables explicativas, por lo que un alto número de predictores tenderá  
386 a generar un alto  $R^2$ , el  $R^2$  ajustado supera esta limitación del  $R^2$  al ajustarlo de manera  
387 que se tenga en cuenta el número de variables incluidas en el modelo y sea penalizado  
388 por la inclusión de un mayor número de predictores (Dagnino, 2014; Uriel, 2013).

389 El  $R^2$  y  $R^2$  ajustado no se recomienda para comparar modelos en los que la forma  
390 funcional de la variable dependiente es diferente, tampoco es recomendado en la  
391 comparación de modelos con diferente número de predictores, por lo que uno de los  
392 criterios recomendados para la comparación de modelos es el AIC (Uriel, 2013).

393 Para la selección del modelo más apropiado se han desarrollado diferentes criterios  
394 basados en la teoría de la información, en el que se destaca el criterio AIC, el cual  
395 presenta una formulación simple y de fácil aplicación, no posee escala de evaluación  
396 por lo que una vez calculado el AIC para cada modelo, se elige el modelo cuyo valor  
397 AIC sea mínimo (Amaya, 2018).

398 Una técnica ampliamente utilizada en el ámbito del machine learning para modelos  
399 predictivos es el de validación cruzada, en el cual la base de datos es segmentada en  
400 un grupo para el entrenamiento del modelo y otro para la validación de este, con esta  
401 técnica se busca evaluar el comportamiento del modelo cuando es sometido a nueva

402 información e identificar posibles casos de sobreajuste o subajuste del modelo (Tarca  
403 et al, 2007; Chicco, 2017). En la Figura 2 se observa el procedimiento para el desarrollo  
404 de modelos predictivos.



405

406 **Figura 2.** Flujo de trabajo para el desarrollo de modelos predictivos. Adaptado de  
407 Valleta et al (2017)

408

409

## Referencias

- 410 • Aldás J y Uriel E 2017 Análisis de conglomerados. Análisis multivariante aplicado  
411 con R, 2da edición, pp. 77-124.
- 412 • Amat J 2016 Selección de predictores y mejor modelo lineal múltiple: subset  
413 selection, Ridge regression, Lasso regression y dimensión reduction. Github.  
414 [https://github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadistica-con-](https://github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadistica-con-R/blob/master/PDF_format/31_Seleccion_de_predictores_y_mejor_modelo_Subset_selection%2C_Ridge%2C_Lasso_y_dimension_reduction.pdf)  
415 [R/blob/master/PDF\\_format/31\\_Seleccion\\_de\\_predictores\\_y\\_mejor\\_modelo\\_Sub](https://github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadistica-con-R/blob/master/PDF_format/31_Seleccion_de_predictores_y_mejor_modelo_Subset_selection%2C_Ridge%2C_Lasso_y_dimension_reduction.pdf)  
416 [set\\_selection%2C\\_Ridge%2C\\_Lasso\\_y\\_dimension\\_reduction.pdf](https://github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadistica-con-R/blob/master/PDF_format/31_Seleccion_de_predictores_y_mejor_modelo_Subset_selection%2C_Ridge%2C_Lasso_y_dimension_reduction.pdf)

- 417 • Amaya L 2018 Criterio de Akaike para la selección de modelos con  
418 transformaciones. Universidad Santo Tomás, Colombia.  
419 [http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12544/2018leonelamaya.p](http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12544/2018leonelamaya.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
420 [df?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12544/2018leonelamaya.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 421 • Anzola H, Pedraza Á y Lezzaca M 2010 Las buenas prácticas de bioseguridad  
422 en granjas de reproducción aviar y plantas de incubación. Instituto Colombiano  
423 Agropecuario. [https://www.ica.gov.co/getattachment/af9943f9-87a5-4897-9962-](https://www.ica.gov.co/getattachment/af9943f9-87a5-4897-9962-2d414fa0fdbf/Publicacion-10.aspx)  
424 [2d414fa0fdbf/Publicacion-10.aspx](https://www.ica.gov.co/getattachment/af9943f9-87a5-4897-9962-2d414fa0fdbf/Publicacion-10.aspx)
- 425 • Aviagen 2018 Manual de manejo de pollo de engorde. Aviagen®.  
426 [http://es.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanis](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf)  
427 [h\\_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf)
- 428 • Aviagen 2017 Ross 308 AP objetivos de rendimiento. Aviagen®.  
429 [http://es.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanis](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross308AP-Broiler-PO-2017-ES.pdf)  
430 [h\\_TechDocs/Ross308AP-Broiler-PO-2017-ES.pdf](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross308AP-Broiler-PO-2017-ES.pdf)
- 431 • Banchemo S 2015 Calidad del agrupamiento: Coeficiente de Silueta. Universidad  
432 Nacional de Lujan, Argentina.  
433 [http://www.labredes.unlu.edu.ar/sites/www.labredes.unlu.edu.ar/files/site/data/b](http://www.labredes.unlu.edu.ar/sites/www.labredes.unlu.edu.ar/files/site/data/bdm/coeficiente-silueta.pdf)  
434 [dm/coeficiente-silueta.pdf](http://www.labredes.unlu.edu.ar/sites/www.labredes.unlu.edu.ar/files/site/data/bdm/coeficiente-silueta.pdf)
- 435 • Barajas A 2020 17 granjas avícolas bioseguras más en el sur de Colombia.  
436 Industria Avícola. [https://www.industriaavicola.net/manejo-produccion-y-](https://www.industriaavicola.net/manejo-produccion-y-equipo/17-granjas-avicolas-bioseguras-mas-en-el-sur-de-colombia/)  
437 [equipo/17-granjas-avicolas-bioseguras-mas-en-el-sur-de-colombia/](https://www.industriaavicola.net/manejo-produccion-y-equipo/17-granjas-avicolas-bioseguras-mas-en-el-sur-de-colombia/)
- 438 • Barzallo D 2019 Análisis de la innovación tecnológica avícola ecuatoriano en el  
439 contexto de industria 4.0. Revista Investigación Tecnológica del IST Central  
440 Técnico. Vol 1 (2). pp 7-15.  
441 [http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion\\_tecnologica/article/vi](http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/23/15)  
442 [ew/23/15](http://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/23/15)
- 443 • Brito M, Alemán I, Fraga E, Para J y Arias R 2011 Papel de la modelación  
444 matemática en la formación de los ingenieros. Revista Ingeniería mecánica. Vol  
445 14 (2). pp 129-139. <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v14n2/im05211.pdf>

- 446 • Chicco 2017 Ten quick tips for machine learning in computational biology. Bio  
447 Data Mining. Vol 10 (35). <https://doi.org/10.1186/s13040-017-0155-3>
- 448 • Cobb Vantress 2019 Pollo de engorde guía de manejo. Cobb Vantress®.  
449 [https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)  
450 [2019-ESP-WEB\\_2.22.2019.pdf](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)
- 451 • Cuadras C 2019 Nuevos métodos del análisis multivariante. Universidad de  
452 Barcelona, España: <http://www.ub.edu/stat/personal/cuadras/metodos.pdf>
- 453 • Dagnino J 2014 Correlación. Revista chilena de anestesia. Vol 43. pp 150-153.  
454 [http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff\\_15\\_correlacion-2-](http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf)  
455 [2014\\_edit.pdf](http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf)
- 456 • DANE 2015 Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción  
457 agropecuaria. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.  
458 [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_j](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jun_2015.pdf)  
459 [un\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jun_2015.pdf)
- 460 • DANE 2014 Censo Nacional Agropecuario 2014. Departamento Administrativo  
461 Nacional de Estadística. [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014#6)  
462 [tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014#6](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014#6)
- 463 • DCYT 2013 Sistema de monitoreo optimiza el funcionamiento de granjas  
464 avícolas. Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología.  
465 [https://www.dicyt.com/noticias/sistema-de-monitoreo-optimiza-el-](https://www.dicyt.com/noticias/sistema-de-monitoreo-optimiza-el-funcionamiento-de-granjas-avicolas)  
466 [funcionamiento-de-granjas-avicolas](https://www.dicyt.com/noticias/sistema-de-monitoreo-optimiza-el-funcionamiento-de-granjas-avicolas)
- 467 • FENAVI 2016 Caracterización económica del sector avícola en el departamento  
468 de Santander. Federación Nacional de Avicultores de Colombia.  
469 [http://fenavi.org/wp-](http://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION_SANTANDER_2016.pdf)  
470 [content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION\\_SANTANDER\\_2016.pdf](http://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION_SANTANDER_2016.pdf)
- 471 • Guerrero V 2014 Análisis de la producción de pollo de engorde de Avidesa Mac  
472 Pollo S.A. Universidad Santo Tomás, Colombia.  
473 <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21272>
- 474 • Guevara L y Castellanos O 2000 Incidencia de la tecnología blanda y la  
475 tecnología dura en el desarrollo industrial de la biotecnología en Colombia.

- 476 Innovar Journal. Vol 1(15). pp 79–94.  
477 <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/24210>
- 478 • Goliomytis M, Panopoulou E y Rogdakis E 2003 Growth curves for body weight  
479 and major component parts, feed consumption, and mortality of male broiler  
480 chickens raised to maturity. Poultry Science. Vol 82 (7).  
481 <https://doi.org/10.1093/ps/82.7.1061>
  - 482 • Gutierrez M 2018 ¿A qué se debe el crecimiento espectacular del pollo en poco  
483 tiempo? AviNews: [https://avicultura.info/a-que-se-debe-el-crecimiento-](https://avicultura.info/a-que-se-debe-el-crecimiento-espectacular-del-pollo-en-poco-tiempo/)  
484 [espectacular-del-pollo-en-poco-tiempo/](https://avicultura.info/a-que-se-debe-el-crecimiento-espectacular-del-pollo-en-poco-tiempo/)
  - 485 • Heinze G, Wallisch C y Dunkler D 2018 Variable selection – A review and  
486 recommendations for the practicing statistician. Biometrical Journey. Vol 60 (3).  
487 pp 431-449. <https://doi.org/10.1002/bimj.201700067>
  - 488 • ICA 2021 Censo pecuario nacional. ICA.  
489 [https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-](https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx)  
490 [veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx](https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx)
  - 491 • ICA 2014 Resolución N° 3652. “Por medio de la cual se establecen los requisitos  
492 para la certificación de granjas avícolas bioseguras de engorde y se dictas otras  
493 disposiciones”. Federación Nacional de Avicultores. [https://fenavi.org/wp-](https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/04/RESOLUCION-3652-DE-2014-1.pdf)  
494 [content/uploads/2018/04/RESOLUCION-3652-DE-2014-1.pdf](https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/04/RESOLUCION-3652-DE-2014-1.pdf)
  - 495 • Jin X y Han J 2011 K-Medoids Clustering. Encyclopedia of Machine Learning.  
496 Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8\\_426](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8_426)
  - 497 • Gonçalves M, Portes G, Gonzáles I 2019 Tecnologia da informação e  
498 comunicação como vantagem competitiva nas empresas de avicultura em  
499 conceição da feira-ba. Revista Formadores. Vol 12 (6). pp 61-82. [https://seer-](https://seer-adventista.com.br/ojs3/index.php/formadores/article/view/1066/860)  
500 [adventista.com.br/ojs3/index.php/formadores/article/view/1066/860](https://seer-adventista.com.br/ojs3/index.php/formadores/article/view/1066/860)
  - 501 • Lara J y Muñuzuri J 2014 Técnicas de clusterización. Universidad de Sevilla,  
502 España.  
503 <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5453/fichero/PFC+tecnicas+clusterizacion>  
504 [.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5453/fichero/PFC+tecnicas+clusterizacion)
  - 505 • Leiva S y Torres F 2010 Una revisión de los algoritmos de partición más comunes  
506 en el análisis de conglomerados: un estudio comparativo. Revista Colombiana de

- 507 Estadística. Vol 33 (2). pp 321-339.  
508 <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/40783>
- 509 • MADR 2019 Cadena avícola. Sistema de Información de Gestión y Desempeño  
510 de Organizaciones de Cadena, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural,  
511 [https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-](https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)  
512 [30%20Cifras%20Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
  - 513 • MADR, DANE, FENAVI y FONAV 2002 I Censo nacional de avicultura industrial.  
514 Departamento Administrativo Nacional de Estadística.  
515 [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD\\_00170\\_2002\\_EJ\\_5.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD_00170_2002_EJ_5.PDF)
  - 516 • Molina L 2016 Modelo matemático tipo datos de panel para predecir el peso del  
517 pollo de engorde en Avides Mac Pollo S.A. Universidad Industrial de Santander,  
518 Colombia. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/163429.pdf>
  - 519 • Montero R 2016 Modelos de regresión lineal múltiple. Universidad de Granada,  
520 España. [https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion\\_lineal.pdf](https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf)
  - 521 • Múnera Ó, Gómez L, Galeano L, Ángel C 2018 Evaluación de modelos de la  
522 curva de crecimiento en pollos de engorde comerciales. Conexión Agropecuaria  
523 JDC. Vol 8 (2). pp 333.  
524 <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/442/467>
  - 525 • Pachón A y Suarez J 2018 Influencia de las Tecnologías de la Información (TI)  
526 en el Sector Avícola Colombiano. Universidad Nacional Abierta y a Distancia,  
527 Colombia.  
528 [https://www.academia.edu/40840319/Influencia\\_de\\_las\\_Tecnolog%C3%ADas\\_](https://www.academia.edu/40840319/Influencia_de_las_Tecnolog%C3%ADas_de_la_Informaci%C3%B3n_TI_en_el_Sector_Av%C3%ADcola_Colombiano)  
529 [de\\_la\\_Informaci%C3%B3n\\_TI\\_en\\_el\\_Sector\\_Av%C3%ADcola\\_Colombiano](https://www.academia.edu/40840319/Influencia_de_las_Tecnolog%C3%ADas_de_la_Informaci%C3%B3n_TI_en_el_Sector_Av%C3%ADcola_Colombiano)
  - 530 • Salvador C 2017 Descripción del procedimiento metodológico del análisis de  
531 clúster no jerárquico con el algoritmo Clarans. Universidad Nacional Agraria La  
532 Molina, Perú.  
533 [https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3345/salvador-](https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3345/salvador-alfaro-carlos-agustin.pdf?sequence=3&isAllowed=y)  
534 [alfaro-carlos-agustin.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3345/salvador-alfaro-carlos-agustin.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
  - 535 • Salvador M 2000 Introducción al Análisis Multivariante. Universidad de Zaragoza,  
536 España: <http://ciberconta.unizar.es/LECCION/anamul/inicio.html>

- 537 • SIPSA 2010 Costo de producción kilo de carne de pollo. Sistema de información  
538 de precios.  
539 [https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/1680/EC%20Pollo%20co](https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/1680/EC%20Pollo%20comercial-grande.pdf)  
540 [mercial-grande.pdf](https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/1680/EC%20Pollo%20comercial-grande.pdf)
- 541 • Solla 2017 Manual de manejo para pollo de engorde. Solla.  
542 [https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/MANUAL](https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/MANUAL%20%20POLLO%20DE%20ENGORDE%20SOLLA%202017.pdf)  
543 [%20%20POLLO%20DE%20ENGORDE%20SOLLA%202017.pdf](https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/MANUAL%20%20POLLO%20DE%20ENGORDE%20SOLLA%202017.pdf)
- 544 • Sosa M 2006 Teoría sobre análisis multivariante. Biblioteca de ingeniería de la  
545 Universidad de Sevilla, España.  
546 [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11162/direccion/Proyecto+Manuel+Sosa](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11162/direccion/Proyecto+Manuel+Sosa%252F)  
547 [%252F](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11162/direccion/Proyecto+Manuel+Sosa%252F)
- 548 • Tarca A, Carey V, Chen X, Romero R y Drăghici S 2007 Machine Learning and  
549 its applications to Biology. Revista PLOS Computacional Biology. Vol 3 (6)  
550 <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.0030116>
- 551 • Uriel E 2013 Regresión lineal múltiple: estimación y propiedades. Universidad de  
552 Valencia, España.  
553 [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3\\_Regresion\\_lineal\\_multiple\\_est](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
554 [imacion\\_y\\_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
555 [disposition=inline%3B+filename%3D3\\_Regresion\\_lineal\\_multiple.pdf&Expires=](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
556 [1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1B](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
557 [INjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76k](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
558 [NzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
559 [7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
560 [QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
561 [w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
562 [VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA\\_\\_&Key-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)  
563 [Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55082644/3_Regresion_lineal_multiple_estimacion_y_propiedades.pdf?1511368640=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D3_Regresion_lineal_multiple.pdf&Expires=1621279163&Signature=hJHRSYCJwMWHsJHk0zP4t7wPGLzSUxMiw2GAS1BINjDA6qPE3Sv5e480WGtqCgvaEHkWPoSb1HGid0PhvklwCqtXQs1YItNIE76kNzO5lwumBFZuStsKjSU1IHgB-vzEQCwxcF1opC1YZiNMG1WQAYlcll1MCoE-7ayUTL-X6Ymj4Y1Fwy-QqULQJDu~~1IKHNIq2~oXxhl~7s5wBBd8zpsd8izrPx8gATuHAR7M~K7VZDy1w~-KsOyGsyN~ZTmlquYISIVlzVcMxxoue25sGpG2kB13gyH8R-VL~c4HUVRraGZ6QpF4J~ePry7UHIGhRUodR912rCOQBBMDxPnPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- 564 • Valletta J, Torney C, Kings M, Thornton A y Madden J 2017 Applications of  
565 machine learning in animal behavior studies. Animal Behavior. Vol 124. pp 203-  
566 220. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.12.005>

- 567 • Vanguardia, 2019 Santander tiene un 25% de la producción avícola. Periódico  
568 Vanguardia. [https://www.vanguardia.com/economia/local/santander-tiene-el-25-](https://www.vanguardia.com/economia/local/santander-tiene-el-25-de-la-produccion-avicola-cg778105)  
569 [de-la-produccion-avicola-cg778105](https://www.vanguardia.com/economia/local/santander-tiene-el-25-de-la-produccion-avicola-cg778105)
- 570 • Venegas G y Pineda W 2017 Método de clúster jerárquicos para datos  
571 funcionales multivariados: una aplicación en mercadeo. Universidad Santo  
572 Tomás, Colombia.  
573 [https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12525/2018gustavoveneg](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12525/2018gustavovenegas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
574 [as.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12525/2018gustavovenegas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 575 • Zhang Z 2016 Variable selection with stepwise and best subset approaches.  
576 Annals of Translational Medicine. Vol 4 (7).  
577 <https://doi.org/10.21037/atm.2016.03.35>

578 **Capítulo 3. Caracterización de sistemas de producción industrial de pollo de**  
579 **engorde en el departamento de Santander, Colombia**

580 *Este capítulo fue realizado bajo las normas de la revista LRRD*

581 Jenifer Gómez-Londoño<sup>1,2</sup>, Mario Fernando Cerón-Muñoz<sup>2</sup>, Jorge Hernán Duque-  
582 Noreña<sup>1</sup>, Edimer David-Jaramillo<sup>1</sup>, Oscar David Múnera-Bedoya<sup>1</sup>

583 <sup>1</sup> *Grupo de investigación NutriSolla, Solla S.A., Carrera 42 No. 33 – 80 Autopista Sur*  
584 *Itagüí – Colombia*

585 <sup>2</sup> *Grupo de Investigación GAMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de*  
586 *Antioquia, Calle 70 No. 52 – 21 Medellín – Colombia*

587 **Resumen**

588 La producción de pollo de engorde es de gran interés para el departamento de Santander  
589 dada su alta participación dentro de PIB pecuario, lo que lo constituye en el principal  
590 centro avícola nacional. Es importante conocer las condiciones bajo las cuales realiza la  
591 producción de pollo de engorde e identificar el potencial que tienen estos sistemas de  
592 producción. El objetivo de este trabajo fue caracterizar los sistemas de producción  
593 industrial de pollo de engorde ubicados en el departamento de Santander. Para el  
594 desarrollo del trabajo se contó con información proveniente de 79 predios avícolas los  
595 cuales se encontraban ubicados en 4 provincias: Metropolitana, Soto, Guanentá y  
596 Yariguíes. Se realizaron análisis descriptivos de las variables evaluadas, un análisis de  
597 clúster y se generó un índice de adopción tecnológico. Se encontró que existe variación  
598 en la adopción de tecnologías, siendo las más frecuentes las tecnologías blandas.  
599 Santander obtuvo un índice de adopción tecnológico bajo. Es necesario desarrollar  
600 estudios que permitan relacionar las condiciones agroecológicas y de adopción  
601 tecnológica en los sistemas de producción de pollo de engorde con parámetros  
602 productivos de interés.

603 **Palabras clave:** adopción tecnológica, análisis de clúster, avicultura.

604

## Introducción

605

606 En Colombia la avicultura representa un eslabón de alta importancia en la economía del  
607 sector agropecuario. En el año 2019 la avicultura en el país sumó \$ 21.6 billones, lo que  
608 representó una participación del 7.5% en el PIB agropecuario y del 32.8% en el PIB  
609 pecuario (FENAVI 2020). Entre los años 2010 y 2018 la producción de pollo de engorde  
610 tuvo un crecimiento constante, equivalente a un del 2.3% (FENAVI 2020).

611 De acuerdo al censo pecuario nacional, el departamento de Santander se posiciona con  
612 la mayor capacidad ocupada para la producción industrial de pollo de engorde a nivel  
613 nacional, con 30'197 mil aves, lo que corresponde al 26.35% de la capacidad de Colombia  
614 y cuenta con 791 granjas para la producción industrial de pollo de engorde,  
615 correspondiente al 24% de los sistemas de producción del país (ICA 2020).

616 El departamento de Santander se encuentra dividido en 7 provincias: Comunera, García  
617 Rovira, Guanentá, Metropolitana, Soto Norte, Vélez y Yariguíes, las cuales cuentan con  
618 26, 0, 113, 541, 6, 48 y 57 predios destinados a la producción industrial de pollo de  
619 engorde, respectivamente (ICA 2020). A pesar de la importancia que tiene el  
620 departamento de Santander en la producción industrial de pollo de engorde, existe poco  
621 conocimiento de las condiciones bajo las cuales se desarrollan los programas productivos  
622 y el grado de adopción tecnológica de este, lo que genera dificultades al momento de  
623 proponer investigaciones o programas de extensión y capacitación que puedan conducir  
624 a un mejoramiento de las condiciones actuales.

625 La implementación de índices de adopción tecnológica (IAT) en el sector agropecuario  
626 ha sido realizado en sistemas pecuarios como el lechero (Vélez et al 2013; Barrios et al  
627 2019), permitiendo identificar la implementación de tecnologías blandas y duras, sin  
628 embargo, su aplicación en el sector avícola no es conocida. Las tecnologías blandas  
629 representan aquellas tecnologías relacionadas con los métodos de operación y gestión  
630 del conocimiento, las tecnologías duras se relacionan con los equipos, maquinaria y los  
631 procesos productivos (Barrios et al 2019).

632 La respuesta productiva de las aves está condicionada por múltiples factores entre los  
633 que se encuentran las condiciones de infraestructura, ambientales y de manejo (Alabi y

634 Aruna 2006). Este trabajo busca conocer las condiciones de producción industrial de pollo  
635 de engorde en el departamento de Santander a través de la caracterización de los  
636 sistemas de producción y desarrollar un IAT basado en la implementación de tecnologías  
637 blandas y duras.

638

### **Materiales y métodos**

639 Se caracterizaron 79 sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el  
640 departamento de Santander en 16 municipios de Santander pertenecientes a cuatro  
641 provincias: Guanentá (7), Metropolitana (64), Soto (1), Yariguíes (7). Dado que la  
642 provincia de Soto solo participa con el 0.81% de la producción de pollo de engorde del  
643 departamento de Santander y que solo se cuenta con una granja proveniente de esta  
644 región, se decidió agrupar esta granja con la provincia Metropolitana puesto que son  
645 provincias ubicadas geográficamente cerca y con condiciones medio ambientales  
646 similares.

647 La caracterización tuvo en cuenta la siguiente información:

648 *Variables agroecológicas:* municipio y vereda donde se ubica el sistema de producción,  
649 georreferenciación (latitud y longitud), altura sobre el nivel del mar (m), temperatura  
650 promedio (°C), precipitación anual (mm/año) y distancia desde la granja a la planta de  
651 beneficio (km).

652 *Variables de infraestructura:* número de galpones, orientación de los galpones (Norte-sur,  
653 Occidente-orientado o mixto), largo y ancho promedio de los galpones, altura a la pared  
654 lateral de los galpones, tipo de comedero (manual o automático), tipo de bebedero  
655 (campana o niple), presencia de nebulizadores, planta de tratamiento de agua,  
656 extractores de aire, ventiladores, sobretecho, sensores de temperatura, sensores de  
657 humedad relativa, vivienda en la granja para el operario y tipo de piso en los galpones  
658 (tierra o cemento).

659 *Variables de manejo:* duración promedio del vacío sanitario (días), uso de medicación  
660 curativa en el último año, grado de escolaridad del administrador de la granja, años de  
661 experiencia del administrador de la granja, reutilización de la cama, profundidad promedio  
662 de la cama, pH del agua, número de aves por comedero, número de aves por bebedero,

663 número de aves por extractor, número de aves por ventilador, grado de escolaridad de  
664 los operarios, experiencia promedio de los operarios en producción de pollo de engorde,  
665 uso de alimentación balanceada, registro ICA como granja biosegura, pollito de un día  
666 proveniente de granja con registro ICA como granja biosegura, aplicación de vacunas,  
667 registros técnicos, registros económicos, asistencia técnica, capacitaciones técnicas y  
668 pesaje de aves.

669 La información de las variables temperatura y precipitación anual de los sistemas de  
670 producción fue obtenida a partir de la información geográfica satelital con la plataforma  
671 CHELSA “(Climatologías en alta resolución para las áreas de la superficie terrestre),  
672 actualmente alojado por el Instituto Federal Suizo para la Investigación de bosques, nieve  
673 y paisaje WSL” (CHELSA 2020).

674 La caracterización de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde se realizó  
675 mediante un análisis estadístico descriptivo de las condiciones agroambientales, de  
676 infraestructura y de manejo. Se realizó un análisis de clúster evaluando métodos  
677 jerárquicos y no jerárquicos con el fin de generar agrupaciones de los sistemas de  
678 producción que presentaran mayor similitud entre ellos, la base de datos fue normalizada  
679 previo al análisis. Los criterios de selección y evaluación fueron: coeficiente de silueta  
680 (Řezanková 2018), coeficiente de correlación cofenética (Saraçli et al 2013) y análisis  
681 gráfico del dendograma (Aldás y Uriel 2017).

682 El índice de adopción tecnológico tuvo en cuenta la ponderación porcentual de 20  
683 variables agrupadas en cuatro dimensiones: alimentación ( $IAT_A$ ), manejo climático  
684 ( $IAT_{MC}$ ), manejo sanitario ( $IAT_{MS}$ ) y gestión de la producción ( $IAT_{GP}$ ). Cada variable fue  
685 valorada por la percepción de 37 expertos en avicultura (25 profesionales y 12 docentes  
686 universitarios). Las variables fueron:

687  **$IAT_A$ :** tipo de comedero, tipo de bebedero y alimentación balanceada.

688  **$IAT_{MC}$ :** nebulizadores, extractores, ventiladores, sobretecho, sensor de temperatura,  
689 sensor de humedad y panel de enfriamiento.

690  **$IAT_{MS}$ :** tratamiento de agua, tipo de piso, certificación de granja biosegura, uso de pollito  
691 proveniente de granja biosegura y vacunación.

692 **IAT<sub>GP</sub>**: registros técnicos, registros económicos, asistencia técnica, capacitación a  
693 empleados, pesaje de las aves durante la producción.

694 Se calculó IAT para cada granja teniendo en cuenta la ecuación:

$$695 \quad IAT = \sum_{j=1}^4 \left( \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n} \right) * p_j$$

696 Donde:

697 IAT: índice de adopción tecnológico

698 *i*: Número de tecnologías por dimensión

699 *j*: número de dimensiones

700 *v<sub>i</sub>*: valor obtenido por el uso de la tecnología en la dimensión *j*

701 *p<sub>j</sub>*: ponderación otorgada a la *j*-ésima dimensión

702 *n*: número de observaciones

703 De acuerdo a la escala planteada por Barrios et al (2019) y Vélez et al (2013) el nivel de  
704 adopción tecnológico de cada sistema de producción se definió así:

705 Nivel tecnológico alto: IAT mayor o igual a 66

706 Nivel tecnológico medio: IAT mayor o igual a 33 y menor de 66

707 Nivel tecnológico bajo: IAT menor a 33

708 La metodología Bootstrapping (Zieffler 2011) fue utilizada con el fin de evaluar si existía  
709 diferencia estadística entre los grupos generados en el clúster a nivel del índice  
710 tecnológico con un nivel de significancia del 0.05. Este método fue seleccionado dado  
711 que los datos obtenidos son de tipo observacional y no presentaron distribución normal.

712 El proyecto no presentó ningún riesgo para la salud de los participantes y su contribución  
713 fue voluntaria. La información recopilada mediante dichas encuestas se utilizó  
714 exclusivamente para el desarrollo de esta investigación y no fue suministrada a terceros.

715

716

## Resultados y discusión

717

### Caracterización de los sistemas de producción

718

Se evidenció que dentro de un sistema de producción industrial de pollo conformado por varios galpones de engorde pueden existir diferencias en las tecnologías implementadas entre un galpón a otro, para el presente trabajo esas situaciones se reportaron como tecnologías mixtas, esta situación puede deberse a los costos de implementación y a las características específicas de cada galpón (área, topografía donde se encuentra construido el galpón, antigüedad del mismo, entre otros).

724

### *Variables agroecológicas*

725

Se encontró que la altura (msnm) promedio para las granjas caracterizadas en el departamento de Santander es de  $1107 \pm 449$ , la altura promedio más baja se registró en la provincia de Yariguíes con  $249 \pm 302$  msnm, mientras que la provincia con la mayor altura promedio fue Guanentá con  $1435 \pm 119$  msnm. Condiciones que permiten el adecuado desempeño del pollo de engorde evitando altas tasas de mortalidad a causa de muerte súbita o síndrome de hipertensión arterial el cual se deriva de una mala respuesta fisiológica a la demanda de oxígeno por parte del ave (Huera 2021; Valerio et al 2021).

733

La temperatura promedio en los municipios estudiados fue de  $21.4 \pm 2.46^\circ\text{C}$ , temperaturas promedio más bajas se registraron en la provincia de Guanentá con  $18.9 \pm 0.74^\circ\text{C}$  y las más altas se dieron en la provincia de Yariguíes con un promedio de  $26.6 \pm 0.44^\circ\text{C}$  (Tabla 1) siendo rangos cercanos a los ideales para la producción avícola, que se ubican entre  $18.3^\circ\text{C}$  y  $23.9^\circ\text{C}$  (Estrada-Pareja et al 2007), sin embargo, los requerimientos de temperatura pueden variar según la edad del pollo, por lo cual existen equipos y labores de manejo que permiten garantizar rangos de temperatura óptimos según la fase productiva. En cuanto a precipitación anual, valores más bajos fueron registrados en la provincia Metropolitana con  $1390 \pm 310$  mm/año, mientras la más alta se dio en la provincia de Yariguíes con  $1920 \pm 246$  mm/año.

743

**Tabla 1.** Características agroecológicas de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander

Provincia	Número de granjas	Altura (msnm)	Temperatura (°C)	Precipitación anual (mm)	Distancia de la granja a planta de beneficio (km)
Metropolitana	65	1163 ± 374	21.1 ± 1.88	1390 ± 310	31.3 ± 17.1
Guanentá	7	1435 ± 119	18.9 ± 0.74	1519 ± 254	104 ± 13.8
Yariguíes	7	247 ± 302	26.6 ± 0.44	1920 ± 246	106 ± 16.9

745

746 Con respecto a la ubicación de las granjas, se encontraron distancias entre la granja y la  
 747 planta de beneficio desde 1 km hasta 121 km, el promedio para el total de granjas  
 748 caracterizadas fue de 44.3±32.8 km, menores distancias se encontraron en la provincia  
 749 Metropolitana a 31.3±17.1 km, mientras las más distantes están ubicadas en las  
 750 provincias de Guanentá y Yariguíes con 104±13.8 km y 106±16.9 km, respectivamente.  
 751 Es importante considerar las distancias entre los sistemas de producción y las plantas de  
 752 beneficio para establecer programas y tiempos óptimos de ayuno de los animales previo  
 753 al proceso de beneficio, con el fin de evitar que los animales lleguen con alimento en su  
 754 tracto digestivo o que gasten reservas corporales afectando su peso final (Carreño,  
 755 2020). Vargas et al (2005) encontraron que la merma de peso previa al beneficio se da  
 756 como respuesta fisiológica por el estrés causado durante el ayuno, cargue y transporte  
 757 de las aves, lo cual está influenciado por aspectos como el tiempo de transporte y el  
 758 manejo previo de las aves, entre otros.

759

### 760 ***Variables de infraestructura***

761 Estudios de satisfacción en empleados del sector agropecuario han evaluado el  
 762 cumplimiento de necesidades básicas como la vivienda como un factor relacionado con  
 763 la motivación y la adopción de comportamientos que favorecen el mejoramiento de los

764 parámetros productivos (Esguerra et al 2018). En cuanto al número promedio de  
 765 galpones por sistema de producción en el departamento de Santander fue de  $5.28 \pm 3.27$   
 766 con un rango entre 1 y 19 galpones, el promedio mínimo lo registró la provincia  
 767 Metropolitana con  $4.98 \pm 2.68$  y el máximo para la provincia de Guanentá con  $7.29 \pm 6.63$   
 768 (Tabla 2). Se evidencia una alta variabilidad en el número de galpones por sistema de  
 769 producción, valor que fue inferior a lo reportado en 2002 con el primer censo avícola de  
 770 Colombia, de acuerdo al cual el departamento de Santander contaba con un promedio  
 771 de 3.47 galpones por granja lo que podría indicar que los productores han optado por la  
 772 construcción de nuevos galpones dentro de las granjas como alternativa para el aumento  
 773 de la producción (MADR et al, 2002).

**Tabla 2.** Características de infraestructura de galpones de sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander.

Provincia	Promedio de galpones por granja	Orientación del galpón (%)		Tipo de piso (%)		Dimensiones promedio de los galpones (m)		
		Norte-Sur	Oriente-Occidente	Cemento	Tierra	Largo	Ancho	Alto
Guanentá	$7.29 \pm 6.63$	42.9	28.6	14.3	57.1	$110 \pm 53.5$	$10.5 \pm 0.87$	$2.23 \pm 0.26$
Metropolitana	$4.98 \pm 2.68$	35.4	50.8	23.1	70.8	$84.1 \pm 28.1$	$11.1 \pm 1.26$	$2.55 \pm 0.40$
Yariguíes	$6.01 \pm 3.51$	14.3	85.7	14.3	71.4	$114 \pm 35.8$	$12.3 \pm 1.73$	$2.53 \pm 0.34$

774 \*El valor restante para en la orientación del galpón corresponde a sistemas en los cuales  
 775 se tienen galpones en ambos sentidos, igualmente ocurre con el valor restante para el  
 776 tipo de piso.

777

778 La dimensión promedio para el largo del galpón fue de  $89.1 \pm 32.9$  m (mínimo 20 m y  
 779 máximo 205 m), los galpones más largos en promedio se ubicaron en Yariguíes con  
 780  $114 \pm 35.8$  m y el más corto en la provincia Metropolitana con  $84.1 \pm 28.1$  m, para el ancho  
 781 de los galpones el promedio fue de  $11.2 \pm 1.32$  m. Galpones más anchos en promedio se  
 782 ubicaron en la provincia de Yariguíes con  $12.3 \pm 1.73$  m, y los menos anchos se ubicaron  
 783 en provincia de Guanentá con  $10.5 \pm 0.87$  m. La altura promedio de los galpones en los  
 784 muros laterales fue de  $2.52 \pm 0.39$  m, los galpones más altos en promedio se ubicaron en  
 785 la provincia Metropolitana con  $2.55 \pm 0.40$  m y los más bajos en la provincia de Guanentá  
 786 con  $2.23 \pm 0.26$  m.

787 Se encontró que el 51.9% de los sistemas de producción tenían ubicados sus galpones  
788 en sentido oriente a occidente, el 34.2% de norte a sur y el 13.9% tenían galpones en  
789 ambos sentidos. La recomendación es que los galpones para la producción de pollo de  
790 engorde se deben construir de oriente a occidente en climas cálidos como lo es  
791 Santander, esto con el fin de evitar el sobrecalentamiento de los muros laterales (DANE  
792 2015).

793 El tipo de piso de los galpones puede ser de tierra o de cemento, el piso de cemento  
794 exige una mayor inversión económica, pero a cambio ofrece un mejor aislamiento de la  
795 humedad del piso y favorece las labores de aseo y desinfección lo que mejoraría el status  
796 sanitario de la granja (DANE 2015). Sin embargo, en Santander solo el 30.4% de las  
797 granjas tuvieron al menos un galpón con piso de cemento, esto podría deberse al costo  
798 de la inversión.

799 La Tabla 3 muestra el tipo de equipo utilizado para la alimentación de las aves en los  
800 sistemas de producción, se identificó que los equipos mayormente utilizados son los  
801 bebederos de campana y los comederos manuales, los cuales fueron usadas en todas  
802 las provincias del departamento. Los bebederos de tipo niple son poco utilizados. Según  
803 Galeano (2018), los bebederos de tipo niple representan ventajas en el menor  
804 desperdicio de agua, mejor temperatura del agua y una baja humedad en la cama, lo que  
805 disminuye los índices de amoniaco dentro del galpón. Los equipos de comedero  
806 automático también son poco utilizados, aun cuando estos ofrecen ventajas como la  
807 disminución del estrés en las aves por un menor contacto con el operario y disminución  
808 del tiempo utilizado por el operario para realizar las labores de alimentación (Galeano  
809 2018).

810

811

812

813

**Tabla 3.** Equipos utilizados para la alimentación de las aves en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander (%).

Provincia	Tipo de bebedero			Tipo de comedero		
	Campana	Niple	Mixto	Automático	Manual	Mixto
Guanentá	85.7	0.00	14.3	0.00	85.7	14.3
Metropolitana	96.9	1.54	1.54	7.69	89.2	3.08
Yariguíes	85.7	14.3	0.00	14.3	85.7	0.00

814

815 En los equipos y metodologías empleadas para el control climático (Tabla 4) se encontró  
816 que la tecnología más utilizada es el sobretecho, las granjas que lo tienen en todos sus  
817 galpones representan el 68.4% y el 6.33% lo tienen en al menos un galpón. La provincia  
818 Metropolitana es la que menor adopción de esta tecnología tiene (63.1%). De acuerdo  
819 a García (2011) el uso de sobretechos representa beneficios económicos en la  
820 disminución del uso de gas para la calefacción de las aves y la disminución de las  
821 concentraciones de amoníaco dentro del galpón. Moreno (2011) indicó que la inversión  
822 requerida para la instalación del sistema de aislamiento de techo se retorna en el ahorro  
823 de combustible y en la mejora en los rendimientos del ave, recomendado el uso de  
824 materiales de tipo impermeables que permitan una adecuada limpieza y desinfección.

825

**Tabla 4.** Participación porcentual de equipos para control climático dentro de los galpones en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander.

Provincia	Extractores de aire		Ventiladores		Nebulizadores		Sobretecho		Panel de enfriamiento (No. granjas)		Tratamiento del agua	
	Si	Mixto	Si	Mixto	Si	Mixto	Si	Mixto	Si	Mixto	Manual	Planta
Guanentá	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.7	14.3	0.00	0.00	85.7	14.3
Metropolitana	6.15	1.54	40.0	40.00	3.08	0.00	63.1	6.15	0.00	0.00	87.7	12.3
Yariguíes	57.1	14.29	14.3	14.3	42.9	14.3	100	0.00	14.3	0.00	85.7	14.3

826 \*Mixto hace referencia a granjas en las cuales al menos un galpón tenía presencia del  
827 equipo, mientras los otros galpones no.

828

829 Se encontró que la temperatura promedio de la provincia influyó en el tipo de tecnología  
830 implementada para el control de la temperatura. Paneles de enfriamiento solo fueron  
831 observados en la provincia de Yariguíes, la cual contaba con una de las temperaturas  
832 promedio más altas. Un adecuado uso de los paneles de enfriamiento o paneles  
833 evaporativos requiere de un buen sistema de ventilación, puesto que por cada grado  
834 centígrado que el sistema de paneles reduce en la temperatura, la humedad relativa  
835 aumenta en un 4.5% aproximadamente, lo que sin la suficiente velocidad del aire podría  
836 generar efectos negativos sobre las aves (Czarick 2019).

837 Los extractores de aire solo fueron reportados en las provincias Metropolitana y  
838 Yariguíes, con una participación del 7.69% y 71.4%, respectivamente, mientras que los  
839 nebulizadores participaron con el 3.08% y 57.1%, respectivamente en las mismas  
840 provincias. Estos sistemas funcionan generando un vacío parcial o de presión negativa  
841 generando el ingreso de aire al interior del galpón, las principales ventajas que presenta  
842 un adecuado sistema de ventilación son: eliminación de gases nocivos, reducción de la  
843 humedad relativa y mantener a las aves dentro de su temperatura de confort (Morera  
844 2015).

845 El uso de ventiladores fue reportado en 3 de las 4 provincias evaluadas, con un porcentaje  
846 de adopción del 46.2% para la provincia Metropolitana, 28.6% para la provincia de  
847 Yariguíes y del 0% para Guanentá. La ausencia de implementación de extractores,  
848 nebulizadores y ventiladores al mismo tiempo en las granjas fue observado en el 49.4%  
849 de sistemas de producción encuestados, valor que está por debajo del reportado en el  
850 censo avícola 2002 (MADR et al 2002), en la cual el número de granjas que no poseía  
851 ninguna de las tres tecnologías correspondía al 93.7%, su implementación pone  
852 evidencia los esfuerzo del sector para aumentar la adopción de este tipo de tecnologías  
853 durante los últimos años, pero deja en evidencia los esfuerzos que se deben hacer para  
854 mejorar el nivel tecnológico de la región con miras al mejoramiento de las condiciones  
855 ambientales en los galpones, especialmente en temas relacionados con el control de la  
856 temperatura y las concentraciones de gases en el interior de los galpones. Estrada et al  
857 (2007) encontraron que las aves expuestas a una mayor temperatura afectaban su  
858 productividad desde un menor consumo y una mayor mortalidad, también discutieron que

859 la selección genética de los pollos para obtener una alta tasa de crecimiento parece tener  
860 un efecto negativo sobre la sensibilidad del pollo a condiciones ambientales no óptimas,  
861 lo cual podría estar haciendo que los productores de pollo de engorde cada vez busquen  
862 controlar de manera más eficiente los factores climáticos dentro del galpón.

863 Se identificó que los sensores de temperatura y humedad presentaron un bajo nivel de  
864 adopción con 22.8% y 5.06%, respectivamente. La temperatura y humedad afectan la  
865 respuesta productiva del ave y varían de acuerdo a la etapa fisiológica de las aves,  
866 valores por fuera del rango requerido en cada etapa causan efectos en el bienestar de  
867 las aves, humedades altas pueden causar camas húmedas y daños en las patas del ave,  
868 mientras que la baja humedad puede causar problemas respiratorios debidos al aumento  
869 del polvo y los microorganismos presentes en el aire (Corkey et al 2013). Jones et al  
870 (2005) consideraron que monitorear y controlar la humedad relativa contribuye  
871 sustancialmente al bienestar de los pollos por lo cual recomienda utilizar sensores  
872 ubicándolos en varios sectores del galpón.

### 873 ***Variables de manejo***

874 En cuanto a prácticas sanitarias, se encontró que el 54.4% de las granjas no utilizaron  
875 medicación curativa en los últimos 6 lotes (Tabla 5), lo que representa aproximadamente  
876 el último año de producción y es un indicador del estatus sanitario de las granjas. Se  
877 encontró que el vacío sanitario va desde los 10 días hasta los 21 días, con un valor  
878 promedio de  $16.7 \pm 3.11$  días, la provincia de Yariguíes fue la que tuvo el vacío sanitario  
879 promedio más bajo ( $14.4 \pm 3.74$  días) y la provincia de Guanentá el más alto ( $20 \pm 0.00$   
880 días), valores que son cercanos a los recomendados por el DANE (2015) de mínimo 15  
881 días.

882

883

884

885

**Tabla 5.** Variables de manejo en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander.

Provincia	Uso de medicamentos en los últimos 6 lotes (%)	Duración del vacío sanitario (días)	pH del agua	Profundidad de la cama (cm)	Aves por comedero	Aves por bebedero de campana	Aves por extractor	Aves por ventilador
Guanentá	28.6	20 ± 0.00	5.43 ± 0.53	5.00 ± 0.00	40.2 ± 1.43	77.3 ± 3.10		
Metropolitana	49.2	16.6 ± 2.95	5.99 ± 0.31	6.88 ± 3.26	39.9 ± 4.17	77.2 ± 7.80	3044 ± 486	2162 ± 1311
Yariguíes	28.6	14.4 ± 3.74	5.62 ± 0.59	5.24 ± 2.29	42 ± 4.34	76 ± 4.90	3031 ± 456	992 ± 11.8

886

887 La variable profundidad promedio de la cama para Guanentá de  $5.00 \pm 0.00$  cm, mientras  
 888 la provincia Metropolitana presentó valores promedio más altos con  $6.88 \pm 3.26$  cm, estos  
 889 valores fueron superiores a los recomendados en la guía de manejo de la línea genética  
 890 Cobb (Cobb 2012), que sugiere rangos mínimos entre 2.50 cm hasta 5.00 cm  
 891 dependiendo del material utilizado, con el fin de favorecer la absorción de la humedad, la  
 892 dilución de la materia fecal y el aislamiento de las aves de las temperaturas frías del piso.

893 Se encontró que para las granjas estudiadas, el pH del agua fluctuó entre 5 y 7, siendo  
 894 la provincia de Guanentá la que presentó valores promedio más bajos con  $5.43 \pm 0.53$  y la  
 895 provincia de Metropolitana el valor promedio más alto (pH de  $5.99 \pm 0.31$ ). Kirkpatrick y  
 896 Fleming (2008) y Oliveros (2012) concordaron en que pH por debajo de 6 pueden generar  
 897 problemas como la disminución en el consumo de agua, un menor rendimiento de las  
 898 aves, aumento en la predisposición a infestaciones parasitarias y problemas de corrosión  
 899 en el sistema de agua, situaciones que deben ser monitoreadas especialmente en  
 900 granjas en las cuales se presenten altas temperaturas y no se disponga de tecnologías  
 901 como ventiladores, ambiente controlado, entre otras. A nivel metabólico, Lituma (2017)  
 902 en un estudio cuyo objetivo fue evaluar el efecto del pH del agua sobre la conversión  
 903 alimenticia, encontró que las aves que consumieron agua con un pH de 6.9 presentaron  
 904 mejor conversión alimenticia y mejor costo beneficio frente a otras aves que consumieron  
 905 agua con pH más bajo a causa del uso de acidificantes.

906 Existen variables ambientales que pueden influir en el número de aves por unidad de  
 907 área, por comedero y por bebedero. La densidad de aves por comedero para las granjas  
 908 estudiadas fue de  $40.2 \pm 4.03$  aves/comedero, la densidad más alta se obtuvo en la

909 provincia de Yariguíes con  $42 \pm 4.35$  y la más baja en la provincia de Metropolitana ( $39.9$   
910  $\pm 4.17$ ). Aviagen (2014) recomienda una densidad que va de 45 a 80 aves por plato  
911 disminuyendo a medida que el ave aumenta su tamaño. El Instituto Nicaragüense de  
912 Tecnología Agropecuaria –INTA- (2019) recomienda un bebedero por cada 35 a 40 aves.  
913 La densidad de aves por bebedero de campana fue de  $74.9 \pm 12.9$  aves/bebedero, la  
914 densidad más alta se obtuvo en la provincia de Guanentá con  $77.3 \pm 3.10$  aves/bebedero  
915 y la más baja en la provincia de Yariguíes con 66.8 aves/bebedero, estos valores  
916 corresponden a los sugeridos por Acosta (2015), quien recomienda un bebedero por cada  
917 80 aves.

918 Solo las provincias Metropolitana y Yariguíes reportaron la implementación de extractores  
919 en los galpones, con una densidad promedio de  $3038 \pm 444$  aves/extractor. Las aves por  
920 ventilador promedio fueron de  $2089 \pm 1301$  aves. Las provincias Metropolitana y Yariguíes  
921 reportaron  $2162 \pm 1311$  y  $992 \pm 11.8$  aves/ventilador, respectivamente. Diferencias en el  
922 número de aves por equipo pueden deberse a las temperaturas promedio de cada  
923 provincia, el tamaño del galpón y tipo de ventilador, teniendo en cuenta que se  
924 recomienda que el recambio total del aire tarde menos de un minuto evitando que se  
925 genere sofocamiento, estrés calórico, pérdida de apetito o incluso la muerte de las aves  
926 (García 2016).

927 Respecto al recurso humano (Tabla 6), se encontró que el 78.5% de las granjas contaban  
928 con un administrador con formación académica profesional y solo el 21.5% con formación  
929 técnica. La experiencia promedio de los administradores en el sector avícola fue la  
930 variable con mayor variabilidad con valores que van desde 1 año hasta 41 años, el  
931 promedio fue de  $8.48 \pm 11.1$ . Los operarios de granja en su mayoría tuvieron grado escolar  
932 primaria en el 64.4% de las granjas, el 33.9% poseían estudios secundarios y solo el  
933 1.7% poseían estudios técnicos. Estos valores fueron similares a los reportados por  
934 Fenavi (2016), donde la mayoría de los trabajadores del sector avícola del departamento  
935 de Santander cuentan solo con primaria y le siguen los trabajadores con secundaria, en  
936 total el 83% de los trabajadores se encuentran en uno de estos dos grupos. La  
937 experiencia promedio de los operarios de granja en cada provincia fluctuó entre 8 y 9  
938 años, siendo la más alta para la provincia Metropolitana con  $9.07 \pm 7.80$  y la más baja

939 para la provincia de Guanentá con  $8.47 \pm 5.41$ . Fenavi (2016) reportó que el 72% de los  
 940 trabajadores del sector avícola del departamento de Santander afirman tener una  
 941 experiencia superior a los 5 años.

**Tabla 6.** Perfil laboral y académico del personal de granjas en los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia

Provincia	Grado escolar del administrador de granja (%)		Experiencia laboral del administrador de granja (años)	Grado escolar de los operarios de granja (%)			Experiencia laboral de los operarios de granja (años)
	Profesional	Técnico		Primaria	Secundaria	Técnico	
Guanentá	100	0.00	$7 \pm 7.48$	76	24	0.00	$8.47 \pm 5.41$
Metropolitana	73.9	26.1	$8.51 \pm 11.2$	61.4	36.4	2.27	$9.07 \pm 7.80$
Yariguíes	100	0.00	$9.71 \pm 14$	69.6	30.4	0.00	$8.93 \pm 2.66$

942

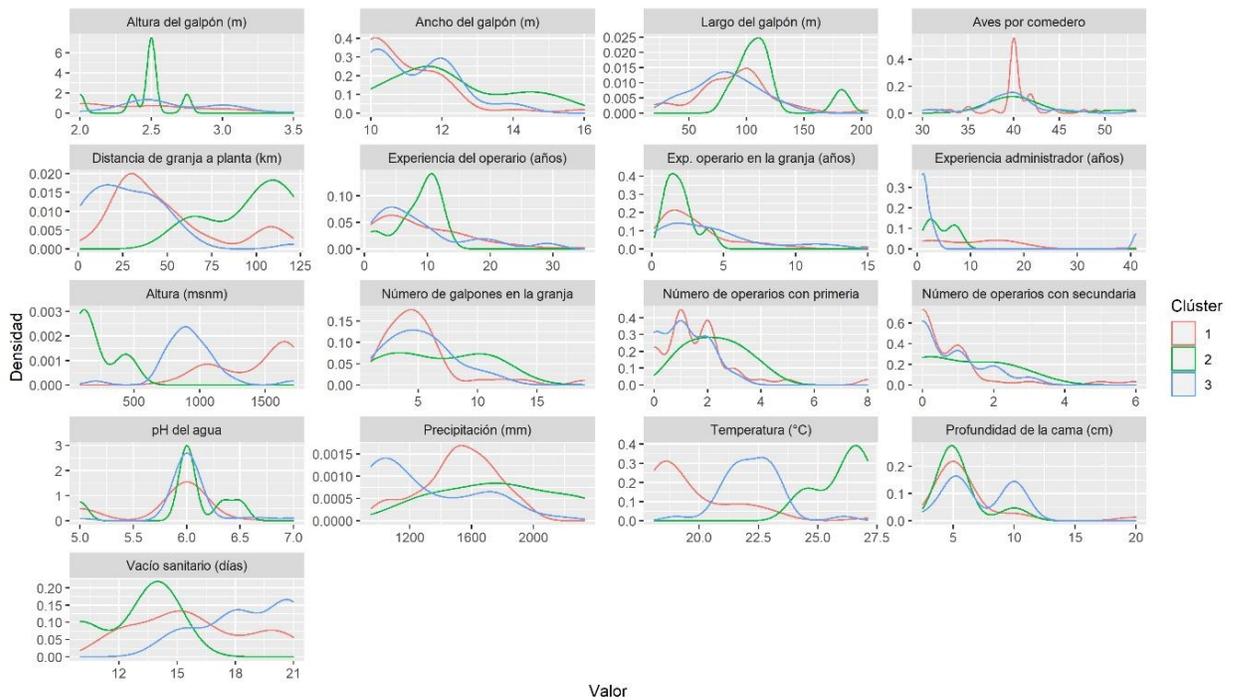
943 En cuanto al uso de alimentos balanceados, registro ICA de granja biosegura, origen del  
 944 pollito de un día de granjas bioseguras, aplicación de vacunas, control sanitario de los  
 945 animales, manejo e implementación de registros técnicos, registros y económicos,  
 946 asistencia técnica, capacitaciones técnicas y pesaje de aves se encontró que el 100% de  
 947 los sistemas encuestados tienen implementadas estas medidas. Estos valores fueron  
 948 equivalentes a los reportados por Castro y López (2018) para la industria avícola del  
 949 centro del Valle del Cauca, encontrando que el 100% de las granjas cuentan con  
 950 asistencia técnica, son granjas certificadas por el ICA como granjas bioseguras, utilizan  
 951 vacunación en las aves y cuentan con los registros de la producción. De acuerdo con  
 952 Aguilera (2014), la adopción de estas tecnologías en el país inició a mediados de siglo  
 953 XX a causa de un brote de Newcastle que causó la muerte de más de 10 millones de  
 954 aves, despertando el interés de los productores por tecnificarse y evitar que dichos  
 955 sucesos se repitieran. El uso de registros técnicos y económicos en los sistemas de  
 956 producción avícola de pollo de engorde son la principal herramienta para identificar las  
 957 causas y definir un problema, lo que permite desarrollar estrategias que eviten que dicho  
 958 suceso negativo se repita (Glatz y Pym 2013).

959           **Análisis de clúster**

960   Diferentes metodologías para la generación del clúster fueron probadas: se inició con la  
961   evaluación de diversos análisis de clúster jerárquicos los cuales no permitieron evidenciar  
962   un claro agrupamiento de las granjas. Métodos no jerárquicos fueron evaluados  
963   encontrando que el mejor análisis de clúster se generó bajo el método kmeans con el  
964   algoritmo “Hartigan Wong”. La selección del método se basó en el coeficiente de silueta  
965   con el cual se buscó un coeficiente positivo para cada observación.

966   Con el análisis de clúster se identificaron 3 grupos de sistemas de producción en función  
967   a sus características agroecológicas de infraestructura y de manejo. El clúster 1 se  
968   relacionó con un bajo control de variables climáticas, agrupó 39 granjas y se caracterizó  
969   por tener los sistemas de producción a mayor altura sobre el nivel del mar y por ende la  
970   menor temperatura promedio, también por un menor número de galpones promedio,  
971   siendo el único grupo que presenta administrador con grado de escolaridad técnico, no  
972   cuenta con nebulizadores, ni ventiladores, es el grupo que presenta el menor número de  
973   sistemas de producción con extractores y no cuenta con sensores de humedad (Figura 1  
974   y 2).

975



976

977 **Figura 1.** Distribución de las variables cuantitativas de manejo de acuerdo al  
 978 agrupamiento del análisis de clúster de los sistemas de producción industrial de pollo de  
 979 engorde en el departamento de Santander, Colombia.

980



981

982 **Figura 2.** Distribución de las variables cualitativas de manejo de acuerdo al agrupamiento  
 983 del análisis de clúster de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el  
 984 departamento de Santander, Colombia.

985

986 El clúster número 2 se relacionó con un alto control de variables climáticas y agrupó 7  
 987 sistemas de producción que se caracterizaron por ser las de mayor distancia entre granja  
 988 y planta, tener operarios con la menor experiencia en el sistema de producción, estar  
 989 ubicadas en los lugares con menor altura sobre el nivel del mar, mayor precipitación anual  
 990 promedio, mayor temperatura promedio, menor vacío sanitario, todos los sistemas de  
 991 producción cuentan con extractores, es el único grupo con nebulizadores y todos los  
 992 sistemas de producción cuentan con sensor de temperatura y sobretecho.

993 El clúster 3 se relacionó con un nivel medio para el control de variables climáticas y  
 994 agrupó 33 granjas que se caracterizaron por ser las granjas más cercanas a la planta de  
 995 beneficio, las de menor precipitación anual promedio, las de mayor vacío sanitario, todos  
 996 sus administradores son profesionales, ningún sistema de producción cuenta con  
 997 nebulizadores y es el único grupo que cuenta con ventiladores.

998 **Índice de adopción tecnológico**

999 Las puntuaciones obtenidas mediante el panel de expertos evidenciaron que el  
1000 componente tecnológico con mayor relevancia fue alimentación con 32 puntos, seguido  
1001 de manejo sanitario con 26 puntos, manejo climático y gestión de la producción con 23 y  
1002 19 puntos, respectivamente. Algunas de las razones por las cuales el panel de expertos  
1003 pudo considerar al grupo de alimentación como el de mayor relevancia puede ser lo  
1004 expuesto por Grashorn (2017), quien indicó que el mejoramiento genético ha logrado  
1005 aumentar la tasa de crecimiento del pollo de engorde lo que ha dado lugar a un mayor  
1006 requerimiento de nutrientes por parte del ave. El costo de producción del pollo de engorde  
1007 puede ser otra de las razones dado que el alimento participa con el 70% de los costos  
1008 totales de acuerdo a lo reportado por el MADR (2019).

1009 Para el IAT<sub>A</sub> la variable alimentación balanceada tuvo gran importancia, de acuerdo con  
1010 Fanatico (2013) el suministro de alimento balanceado evitará que las aves puedan sufrir  
1011 de enfermedades nutricionales y favorecerá el rendimiento productivo de las aves. En el  
1012 IAT<sub>MC</sub> se observó que los nebulizadores no son considerados una tecnología de alta  
1013 importancia lo cual puede deberse a lo expuesto por Linden (2013) y Czarick & Fairchild  
1014 (2009), quienes indicaron su importancia, dado que en los momentos de poca ventilación  
1015 en el galpón se puede aumentar la humedad relativa generando estrés por calor en las  
1016 aves y el aumento en la mortalidad del lote.

1017 En el IAT<sub>MS</sub> se destaca la importancia del tratamiento del agua destinada al consumo de  
1018 los animales, lo que se podría explicarse dado que se ha demostrado que el agua es el  
1019 vehículo natural para la transmisión de enfermedades, un inadecuado tratamiento puede  
1020 generar la infección de lotes con diferentes especies bacterianas, como *E. coli*,  
1021 *Salmonella*, *Campylobacter* o *Pseudomonas*, también con enfermedades parasitarias,  
1022 como *Cryptosporidium*, o víricas como HPAI, bursitis infecciosa o newcastle (Ruiz y  
1023 Tabares 2012). Para el IAT<sub>GP</sub> las variables asistencia técnica y capacitación de  
1024 empleados fueron las de mayor relevancia, lo que reconoce la importancia del  
1025 conocimiento técnico e investigativo en los sistemas de producción.

1026 Las tecnologías blandas obtuvieron una frecuencia de adopción del 1, las tecnologías  
1027 duras variaron entre 0.05 y 1 (Tabla 7). Las tecnologías duras con menor frecuencia

1028 fueron el uso de bebedero de niple con 0.05 y del sensor de humedad con 0.06, las  
1029 tecnologías duras con mayor frecuencia fueron alimentación balanceada, pollito de granja  
1030 biosegura y vacunación. Las tecnologías blandas y las tecnologías duras con mayor  
1031 frecuencia de adopción demuestran la importancia que se da en la región a los factores  
1032 relacionados con el estatus sanitario de los sistemas de producción, buscando  
1033 protegerlos ante los riesgos sanitarios que se pueden presentar en los lotes de  
1034 producción de pollo de engorde. También se puede observar que existe una relación  
1035 entre la adopción de tecnologías y el costo que estas implican, puesto que a excepción  
1036 de la alimentación las tecnologías que requieren una mayor inversión son aquellas que  
1037 menor nivel de adopción presentan.

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

**Tabla 7.** Adopción de tecnologías en sistemas de producción industrial de pollo de engorde en Santander, Colombia.

<b>Dimensión</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Frecuencia de adopción</b>	<b>Tipo de tecnología</b>
Alimentación	Comedero automático	0.11	Dura
	Bebedero niple	0.05	Dura
	Alimentación balanceada	1.00	Dura
	Nebulizadores	0.08	Dura
Manejo climático	Extractores	0.13	Dura
	Ventiladores	0.41	Dura
	Sobretecho	0.75	Dura
	Sensor de temperatura	0.24	Dura
	Sensor de humedad	0.06	Dura
	Panel de enfriamiento	0.01	Dura
Manejo sanitario	Planta de tratamiento	0.13	Dura
	Piso en cemento	0.30	Dura
	Granja biosegura	1.00	Blanda
	Pollito de granja biosegura	1.00	Dura
	Vacunación	1.00	Dura
Gestión de la producción	Registros técnicos	1.00	Blanda
	Registros económicos	1.00	Blanda
	Asistencia técnica	1.00	Blanda
	Capacitaciones técnicas	1.00	Blanda
	Pesaje de aves	1.00	Blanda

1052 El promedio obtenido del IAT de todos los sistemas de producción caracterizados fue de  
1053 62.2. El IAT en las provincias del departamento fue similar entre ellas, la provincia con  
1054 mayor IAT fue Yariguíes con  $70.3 \pm 11$ , seguida la provincia Metropolitana y Guantán con  
1055 un promedio de  $61.4 \pm 5.38$  y  $61.3 \pm 5.91$  respectivamente. El sistema de producción con el  
1056 mayor IAT (91) se encontró en la provincia de Yariguíes, porque cuenta con todas las  
1057 tecnologías, exceptuando: piso en cemento, nebulizadores y ventiladores. En el valor  
1058 mínimo de IAT se encontraron 4 sistemas de producción con 53 puntos y estuvieron  
1059 ubicadas en la provincia Metropolitana. Se logró identificar que los sistemas de  
1060 producción con mayor reto de temperatura tienden a adoptar un mayor número de  
1061 tecnologías duras como los extractores y el sobretecho. No se evidenció registros de IAT  
1062 aplicados en el sector avícola, por el contrario se evidenció la existencia de 2 trabajos  
1063 aplicados en ganadería de leche, uno de estos realizado en Colombia y en el que se  
1064 encontró un IAT similar que se ubicó en nivel medio, atribuyendo la falta de adopción  
1065 tecnológica a razones de tipo económico (Barrios 2019; Vélez et al 2013).

1066 De acuerdo a la escala del IAT no se registraron sistemas de producción con un índice  
1067 tecnológico bajo, 60 sistemas de producción (76%) tienen un nivel tecnológico medio y  
1068 19 sistemas de producción (24.1%) tienen un nivel tecnológico alto.

1069 Al identificar variables tecnológicas con frecuencia del 100% se optó por eliminarlas, y  
1070 hacer un nuevo índice (IATN), dado que estas variables se consideran constantes en la  
1071 región y su alta implementación hace que ya no sean un factor diferenciador entre  
1072 granjas. Se construyó nuevamente el índice de adopción tecnológico conservando la  
1073 proporción de cada grupo, dando como resultado un nuevo ponderador (Tabla 8).

1074

1075

1076

1077

**Tabla 8.** Ponderador de tecnologías utilizadas para estimar el índice de adopción tecnológico IATN en sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander, Colombia

<b>Alimentación (40)<sup>1</sup></b>	<b>Manejo climático (28)</b>	<b>Manejo sanitario (32)</b>
Tipo de comedero (20)	Nebulizadores (3)	Tratamiento de agua (24)
Tipo de bebedero (20)	Extractores (5)	Tipo de piso (8)
	Ventiladores (5)	
	Sobretecho (5)	
	Sensor de temperatura (4)	
	Sensor de humedad (3)	
	Panel de enfriamiento (3)	

<sup>1</sup> El número entre paréntesis es el ponderador utilizado para estimar el IATN

1078 De acuerdo al nuevo ponderador el IATN en el departamento de Santander fue de  
 1079  $16.6 \pm 15.4$  ubicándose en un nivel bajo de adopción tecnológica, de acuerdo a la escala  
 1080 planteada por Barrios et al (2019). Los resultados obtenidos por provincia en escala de  
 1081 mayor a menor fueron: Yariguíes  $28.1 \pm 26.2$ , Guanentá  $17.6 \pm 17.8$ , Metropolitana  
 1082  $15.2 \pm 13.4$  y Soto  $14 \pm 0.00$ .

1083 Se evaluaron los clústeres generados de acuerdo al IAT<sub>N</sub> y a los subgrupos que fueron  
 1084 considerados para su creación (IAT<sub>NA</sub>, IAT<sub>NMC</sub>, IAT<sub>NMS</sub>), el clúster 1 que se relacionó con  
 1085 un bajo control de variables climáticas fue el de menor adopción tecnológica en los 3  
 1086 grupos evaluados, el clúster 2 que se relacionó con un alto control de variables climáticas  
 1087 obtuvo un mayor puntaje promedio en los grupos IAT<sub>NA</sub> y IAT<sub>NMC</sub> logrando el IAT<sub>N</sub> más  
 1088 alto y el clúster 3 que se relacionó con un nivel medio para el control de variables  
 1089 climáticas obtuvo un nivel medio de IAT<sub>N</sub>, con el mejor puntaje en el IAT<sub>NMS</sub> (Tabla 9). El  
 1090 IAT<sub>N</sub> más alto lo obtuvo el clúster 2 con  $30.9 \pm 24$ . Se evaluó si existía diferencia estadística  
 1091 ( $p\text{-value} < 0.05$ ) entre los clústeres dado el IAT<sub>N</sub> mediante la metodología Bootstrapping  
 1092 encontrando que existía diferencia estadística entre los clústeres 1 y 2, el clúster 3 no  
 1093 presentó diferencia estadística con el clúster 1 y 2.

**Tabla 9.** Índices tecnológicos de acuerdo al agrupamiento del análisis de clúster de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander

Clúster	IATN <sub>A</sub> <sup>1</sup>	IATN <sub>MC</sub> <sup>2</sup>	IATN <sub>MS</sub> <sup>3</sup>	IATN <sup>4</sup>
1	2.05±7.67	5.46±2.53	4.92±7.48	12.4±11.3
2	5.71±15.1	19.4±2.88	5.71±8.9	30.9±24
3	4.24±9.69	8.12±3.88	6.06±9.17	18.4±15.7

<sup>1</sup> Índice de Adopción Tecnológica Alimentación

<sup>2</sup> Índice de Adopción Tecnológica Manejo climático

<sup>3</sup> Índice de Adopción Tecnológica Manejo Sanitario

<sup>4</sup> Nuevo Índice de Adopción Tecnológica

1094

1095

### Conclusiones

1096 • El sector avícola del departamento de Santander posee un IAT<sub>N</sub> bajo, lo cual sugiere  
1097 la necesidad de evaluar el efecto que esto tiene sobre los resultados productivos  
1098 con miras al incremento de la productividad a largo plazo en la zona.

1099

1100 • Se encontró que existe variabilidad entre los galpones de un mismo sistema de  
1101 producción en referencia a la adopción de tecnologías duras, se presume que el  
1102 factor económico es el principal limitante para la adopción de tecnologías en todo el  
1103 sistema de producción.

1104

1105 • Existe una alta adopción de tecnologías blandas las cuales contribuyen a la solución  
1106 eficaz de problemas relacionados con la dirección empresarial y que a su vez  
1107 requieren de una baja inversión económica, demostrando la alta importancia que se  
1108 le da al conocimiento técnico en la región.

1109

1110 • Las tecnologías duras que presentan una mayor frecuencia de adopción son  
1111 aquellas que se encuentra relacionadas con los factores sanitarios, demostrando la  
1112 importancia que se da en la región al estatus sanitario.

1113

1114 • La alimentación balanceada fue la variable con mayor puntaje obtenido dentro del  
1115 índice de adopción tecnológica desarrollado por el panel de expertos, lo cual puede  
1116 estar relacionado con la mayor participación dentro de los costos de producción.

1117

1118 • Existe una marcada diferencia en la adopción de tecnología de acuerdo a las  
1119 provincias del departamento de Santander, considerándose que el factor  
1120 temperatura está influenciando la adopción de tecnologías duras, puesto que,  
1121 cuando existen retos climáticos se tiende a adoptar un mayor número de estas  
1122 tecnologías

1123

1124

### Referencias

1125 • Acosta D 2015 Manejo de pollo de engorde. Servicio Nacional de Aprendizaje.  
1126 [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4618/1/Manejo\\_de\\_pollo\\_de\\_engo](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4618/1/Manejo_de_pollo_de_engorde.PDF)  
1127 [rde.PDF](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4618/1/Manejo_de_pollo_de_engorde.PDF)

1128 • Aguilera M 2014 Determinantes del desarrollo en la avicultura en Colombia:  
1129 instituciones, organizaciones y tecnología. Revista del Banco de la República. 214:  
1130 1-55. [https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/dtser\\_214.pdf](https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_214.pdf)

1131 • Alabi A y Aruna B 2006 Technical efficiency of family poultry production in Niger-  
1132 delta, Nigeria. Journal Central European Agriculture, 6(4): 531-537.  
1133 <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/jcea/article/view/332> . DOI:  
1134 <https://doi.org/10.5513/jcea.v6i4.332>

1135 • Aldás J y Uriel E 2017 Análisis de conglomerados. Análisis multivariante aplicado  
1136 con R, 2da edición, pp. 77-124.

1137 • Aviagen 2014 Manual de manejo del pollo de engorde Ross. Aviagen, pp 37-38.  
1138 [http://eu.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_](http://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf)  
1139 [TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf](http://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf)

1140 • Barrios D, Restrepo-Escobar F y Cerón-Muñoz M 2019 Adopción tecnológica en  
1141 agronegocios lecheros. Livestock Research for Rural Development, Volumen 31,  
1142 Artículo #116. <http://www.lrrd.org/lrrd31/8/cero31116.html>

- 1143 • Carreño K 2020 Estandarización de un protocolo de ayuno para beneficio de pollo  
1144 de engorde línea Ross AP®, en la zona Mesa de los Santos en ambiente tradicional  
1145 en Distraves S.A.S. Tesis de pregrado. Universidad Cooperativa de Colombia,  
1146 [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/19765/1/2020\\_estandarizacion\\_protocolo\\_ayuno.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/19765/1/2020_estandarizacion_protocolo_ayuno.pdf)  
1147
- 1148 • Castro A y López S 2018 Caracterización de la industria avícola en el centro del  
1149 Valle del Cauca. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira,  
1150 <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/10174/T636.5%20L925.pdf?sequence=1&isAllowed=y>  
1151
- 1152 • CHELSA 2020 CHELSA – Free climate data at high resolution. CHELSA-climate.  
1153 <https://chelsa-climate.org/>
- 1154 • Cobb 2012 Guía de manejo del pollo de engorde. Pronavícola, pp 12-14.  
1155 <http://www.pronavicola.com/contenido/manuales/Cobb.pdf>
- 1156 • Corkey G, Ward S, Kenny C and Hemmingway P 2013 Incorporating Smart Sensing  
1157 Technologies into the Poultry Industry. Journal of World's Poultry Research, 3(4):  
1158 106-128.  
1159 <https://eprints.dkit.ie/349/1/J%20%20World%27s%20Poult%20%20Res%20%203%284%29%20106-128%202013.pdf>  
1160
- 1161 • Czarick M 2019 Using Pads Without High Air Speeds Results in Elevated Body  
1162 Temperatures. Poultry Housing Tips. Vol 31 (7).  
1163 <https://www.poultryventilation.com/node/5118>
- 1164 • Czarick M y Fairchild B 2009 Poultry Housing Tips. University of Georgia  
1165 Cooperative Extension Service, Volumen 21, Artículo #10.  
1166 <https://poultryhealthtoday.com/poultry-housing-tips-without-air-movement-evaporative-cooling-pads-can-increase-bird-heat-stress-2/#:~:text=bird%20heat%20stress-,Poultry%20housing%20tips%3A%20Without%20air%20movement%20evaporative%20cooling,can%20increase%20bird%20heat%20stress&text=Though%20evaporative%20cooling%20is%20used,of%20reducing%20bird%20heat%20stress.>  
1167  
1168  
1169  
1170  
1171
- 1172 • DANE 2015 El Pollo de engorde (*Gallus domesticus*), fuente proteica de excelente  
1173 calidad en la alimentación y nutrición humana. Departamento Administrativo

- 1174 Nacional de Estadística, Volumen 36, pp 2-5.  
1175 [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_jun](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jun)  
1176 [\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jun_2015.pdf)
- 1177 • Esguerra J, Cassoli L, Múnera-Bedoya O, Cerón-Muñoz M y Machado P 2018  
1178 Calidad de la leche: factores asociados al personal vinculado al ordeño. Revista  
1179 MVZ Córdoba, 23 (1): 6461-6473.  
1180 <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/revistamvz/article/view/1241>
  - 1181 • Estrada-Pareja M, Márquez-Girón S y Restrepo L 2007 Efecto de la temperatura y  
1182 la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en  
1183 pollos de engorde. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 20(3): 288-303,  
1184 <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a07.pdf>
  - 1185 • Fanatico A 2013 Alimentación de pollos para obtener mejor salud y mayor  
1186 rendimiento. El Sitio Avícola,  
1187 <http://www.elsitioavicola.com/articles/2491/alimentacion-de-pollos-para-obtener->  
1188 [mejor-salud-y-mayor-](http://www.elsitioavicola.com/articles/2491/alimentacion-de-pollos-para-obtener-mejor-salud-y-mayor-)  
1189 [rendimiento/#:~:text=La%20forma%20m%C3%A1s%20conveniente%20de,prote%](http://www.elsitioavicola.com/articles/2491/alimentacion-de-pollos-para-obtener-mejor-salud-y-mayor-rendimiento/#:~:text=La%20forma%20m%C3%A1s%20conveniente%20de,prote%C3%ADnas%2C%20vitaminas%20y%20suplementos%20minerales)  
1190 [C3%ADnas%2C%20vitaminas%20y%20suplementos%20minerales](http://www.elsitioavicola.com/articles/2491/alimentacion-de-pollos-para-obtener-mejor-salud-y-mayor-rendimiento/#:~:text=La%20forma%20m%C3%A1s%20conveniente%20de,prote%C3%ADnas%2C%20vitaminas%20y%20suplementos%20minerales)
  - 1191 • FENAVI 2016 Caracterización económica del sector avícola en el departamento de  
1192 Santander. Federación Nacional de Avicultores de Colombia, pp 31-36.  
1193 [http://fenavi.org/wp-](http://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION_SANTANDER_2016.pdf)  
1194 [content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION\\_SANTANDER\\_2016.pdf](http://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION_SANTANDER_2016.pdf)
  - 1195 • FENAVI 2020 PIB avícola 2019. Fenaviquín, Volumen 304, pp 1-3.  
1196 [https://fenavi.org/wp-content/uploads/2020/03/Fenaviquin\\_ed3042020\\_2.pdf](https://fenavi.org/wp-content/uploads/2020/03/Fenaviquin_ed3042020_2.pdf)
  - 1197 • García J 2016 Diseño e implementación de un sistema de acondicionamiento del  
1198 aire en un galpón avícola. Escuela Superior Politecnica del Litoral, Ecuador.  
1199 <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97999/D-CD88487.pdf>
  - 1200 • Glatz P y Pym R 2013 Alojamiento y manejo de las aves de corral en los países en  
1201 desarrollo. Del libro: Revisión del desarrollo avícola, pp 25-30.  
1202 <http://www.fao.org/3/a-i3531s.pdf>
  - 1203 • Jones T, Donnelly C and Dawkins S 2005 Environmental and management factors  
1204 affecting the welfare of chickens on commercial farms in the United Kingdom and

- 1205 Denmark stocked at five densities. *Poultry Science*, 84(8): 1155-1165.  
1206 [https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0032579119446488?token=1C06FAB48](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0032579119446488?token=1C06FAB480CF611779A66726204B6AE0AC6453CA040FE925CAA95419DD18DB450D044C7A68B1C142B4CDB0D11C4FD14C)  
1207 [0CF611779A66726204B6AE0AC6453CA040FE925CAA95419DD18DB450D044C](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0032579119446488?token=1C06FAB480CF611779A66726204B6AE0AC6453CA040FE925CAA95419DD18DB450D044C7A68B1C142B4CDB0D11C4FD14C)  
1208 [7A68B1C142B4CDB0D11C4FD14C](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0032579119446488?token=1C06FAB480CF611779A66726204B6AE0AC6453CA040FE925CAA95419DD18DB450D044C7A68B1C142B4CDB0D11C4FD14C)
- 1209 • Huera D y Campos R 2021 Evaluación de estrategias alimenticias más probiótico  
1210 para el control del síndrome de ascitis en pollos broiler en la ciudad de Tulcán.  
1211 Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador.  
1212 [http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/954/1/377-](http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/954/1/377-%20HUERA%20ORDO%c3%91EZ%20DANNY%20STIVEN.pdf)  
1213 [%20HUERA%20ORDO%c3%91EZ%20DANNY%20STIVEN.pdf](http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/954/1/377-%20HUERA%20ORDO%c3%91EZ%20DANNY%20STIVEN.pdf)
  - 1214 • ICA 2020 Censo pecuario nacional, Instituto Colombiano Agropecuario.  
1215 [https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-](https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018)  
1216 [2016/censo-2018](https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018)
  - 1217 • INTA 2019 Guía técnica producción de carne en sistemas de pollos de engorde,  
1218 Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, [https://inta.gob.ni/project/guia-](https://inta.gob.ni/project/guia-tecnica-produccion-de-carne-en-sistemas-de-pollos-de-engorde/)  
1219 [tecnica-produccion-de-carne-en-sistemas-de-pollos-de-engorde/](https://inta.gob.ni/project/guia-tecnica-produccion-de-carne-en-sistemas-de-pollos-de-engorde/)
  - 1220 • Galeano Y 2018 Automatización de planta avícola. Tesis de pregrado. Universidad  
1221 Distrital Francisco Jose De Caldas, pp 11-12.  
1222 [http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13879/1/GaleanoMoyanoYeliKat](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13879/1/GaleanoMoyanoYeliKaterin2018.pdf)  
1223 [erin2018.pdf](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13879/1/GaleanoMoyanoYeliKaterin2018.pdf)
  - 1224 • García S 2011 Importancia del aislamiento en avicultura: aspectos económicos de  
1225 su instalación. *Revista Selecciones Avícolas*, enero 2011, pp 7-14.  
1226 [https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/1/5790-importancia-del-aislamiento-](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/1/5790-importancia-del-aislamiento-en-avicultura-aspectos-economicos-de-su-instalacion-i.pdf)  
1227 [en-avicultura-aspectos-economicos-de-su-instalacion-i.pdf](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/1/5790-importancia-del-aislamiento-en-avicultura-aspectos-economicos-de-su-instalacion-i.pdf)
  - 1228 • Grashorn M 2017 Requerimientos nutricionales de los pollos de engorde con  
1229 diferente capacidad de crecimiento. *Revista Selecciones Avícolas*, septiembre  
1230 2017, pp 24-28. [https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2017/9/24-28-](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2017/9/24-28-requerimientos-nutricionales-pollos-engorde-diferente-capaciad-crecimiento-SA201709.pdf)  
1231 [requerimientos-nutricionales-pollos-engorde-diferente-capaciad-crecimiento-](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2017/9/24-28-requerimientos-nutricionales-pollos-engorde-diferente-capaciad-crecimiento-SA201709.pdf)  
1232 [SA201709.pdf](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2017/9/24-28-requerimientos-nutricionales-pollos-engorde-diferente-capaciad-crecimiento-SA201709.pdf)
  - 1233 • Kirkpatrick K y Fleming E 2008 Calidad de agua. *Aviagen*, pp. 7-8.  
1234 [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/SPRossTechNoteWaterQuality.pdf)  
1235 [TechDocs/SPRossTechNoteWaterQuality.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/SPRossTechNoteWaterQuality.pdf)

- 1236 • Linden J 2013 Evaporative Cooling Systems: How and Why They Work. The Poultry  
1237 Site, [https://www.thepoultrysite.com/articles/evaporative-cooling-systems-how-and-](https://www.thepoultrysite.com/articles/evaporative-cooling-systems-how-and-why-they-work)  
1238 [why-they-work](https://www.thepoultrysite.com/articles/evaporative-cooling-systems-how-and-why-they-work)
- 1239 • Lituma W 2017 Evaluación de la conversión alimenticia utilizando ácidos orgánicos  
1240 al agua en pollos de engorde. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana,  
1241 <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14670/1/UPS-CT007206.pdf>
- 1242 • MADR, DANE, FENAVI y FONAV 2002 I censo nacional de avicultura industrial.  
1243 Departamento Administrativo Nacional de Estadística.  
1244 [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD\\_00170\\_2002\\_EJ\\_5.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LD_00170_2002_EJ_5.PDF)
- 1245 • MADR 2019 Cadena avícola. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de  
1246 Organizaciones de Cadena, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural,  
1247 [https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-](https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)  
1248 [30%20Cifras%20Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- 1249 • Moreno J 2011 Instalaciones para pollo de engorde. Revista Selecciones Avícolas.  
1250 pp 13-20. [https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/7/6162-instalaciones-para-](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/7/6162-instalaciones-para-pollo-de-engorde.pdf)  
1251 [pollo-de-engorde.pdf](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/7/6162-instalaciones-para-pollo-de-engorde.pdf)
- 1252 • Morera S 2015 Diseño del sistema de ventilación para una nave de pollos de  
1253 engorde. Revista online AviNews. <https://avicultura.info/sistema-de-ventilacion/>
- 1254 • Oliveros Y 2012 Importancia del agua en la actividad avícola. Sitio Argentino de  
1255 Producción Animal, pp 1-2. [http://www.produccion-animal.com.ar/agua\\_bebida/160-](http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/160-avicola.pdf)  
1256 [avicola.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/160-avicola.pdf)
- 1257 • Řezanková H 2018 Different approaches to the silhouette coefficient calculation in  
1258 cluster evaluation. 21st International Scientific Conference AMSE. [http://www.amse-](http://www.amse-conference.eu/wp-content/uploads/2018/09/AMSE_2018_Rezankova.pdf)  
1259 [conference.eu/wp-content/uploads/2018/09/AMSE\\_2018\\_Rezankova.pdf](http://www.amse-conference.eu/wp-content/uploads/2018/09/AMSE_2018_Rezankova.pdf)
- 1260 • Ruiz E y Tabares J 2012 La sanidad del agua de bebida en avicultura. Revista  
1261 Selecciones Avícolas, abril 2012, pp 19-22. [https://seleccionesavicolas.com/pdf-](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2012/4/6639-la-sanidad-del-agua-de-bebida-en-avicultura.pdf)  
1262 [files/2012/4/6639-la-sanidad-del-agua-de-bebida-en-avicultura.pdf](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2012/4/6639-la-sanidad-del-agua-de-bebida-en-avicultura.pdf)
- 1263 • Saraçlı S, Doğan N y Doğan I 2013 Comparison of hierarchical cluster analysis  
1264 methods by cophenetic correlation. Journal of Inequalities and Applications,  
1265 Volumen 2013, artículo 203 <https://doi.org/10.1186/1029-242X-2013-203>

- 1266 • Valerio D y Berrospi J 2021 Efecto de la restricción alimenticia en la incidencia del  
1267 síndrome de ascitis y el rendimiento productivo de tres líneas comerciales de pollos  
1268 de engorde a 2980 m.s.n.m. en el centro experimental de Huariaca –UNDAC.  
1269 Revista de Investigación Multidisciplinaria CTScafé. Vol 5 (14). pp 30-47.  
1270 <http://www.ctscafe.pe/index.php/ctscafe/article/view/154/163>
- 1271 • Vargas M, Moreno F y Forero E 2005 Evaluación del efecto del tiempo de transporte  
1272 sobre la pérdida de peso de pollos de engorde en dos líneas comerciales. Revista  
1273 de Medicina Veterinaria, 1(10):77-94.  
1274 <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1145&context=mv>
- 1275 • Vélez I, Espinosa G, Omaña S, González O y Quiroz V 2013 Adopción de tecnología  
1276 en unidades de producción de lechería familiar en Guanajuato, México. Actas  
1277 Iberoamericanas de Conservación Animal, 3: 88-96.  
1278 [http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo\\_110\\_lin\\_photo/articulos/2013/Trabajo014\\_AICA2013.pdf](http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2013/Trabajo014_AICA2013.pdf)
- 1280 • Zieffler A, Harring J y Long J 2011 Comparing Groups Randomization and Bootstrap  
1281 Methods Using R, Nueva Jersey, Estados Unidos, Editorial WILEY, pp 137-170.

1282 **Capítulo 4. Estimación de consumo de alimento en pollos de engorde del**  
1283 **departamento de Santander, Colombia**

1284 *Este capítulo fue realizado bajo las normas de la revista LRRD*

1285 Jenifer Gómez-Londoño<sup>1,2</sup>, Mario Fernando Cerón-Muñoz<sup>2</sup>, Jorge Hernán Duque-  
1286 Noreña<sup>1</sup>, Edimer David-Jaramillo<sup>1</sup>, Oscar David Múnera-Bedoya<sup>1</sup>

1287 <sup>1</sup> *Grupo de investigación NutriSolla, Solla S.A., Carrera 42 No. 33 – 80 Autopista Sur*  
1288 *Itagüí – Colombia*

1289 <sup>2</sup> *Grupo de Investigación GAMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de*  
1290 *Antioquia, Calle 70 No. 52 – 21 Medellín – Colombia*

1291

1292 **Resumen**

1293 La producción de pollo de engorde es de gran interés para el departamento de Santander  
1294 dada su alta participación dentro de PIB pecuario, lo que lo constituye en el principal  
1295 centro avícola nacional. La alta dependencia de insumos en la producción de pollo de  
1296 engorde obliga a los avicultores a monitorear y gestionar los recursos de forma óptima.  
1297 El alimento balanceado representa entre el 60 y 80% de los costos de producción del  
1298 pollo de engorde, es importante identificar los factores que ejercen un mayor afecto sobre  
1299 el consumo de alimento en las aves. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo  
1300 matemático que permitiera la estimación del consumo de alimento en lotes de producción  
1301 de pollo de engorde liviano y pesado con miras a optimizar la planeación de los sistemas  
1302 de producción, gestión de inventarios de alimento y maximizar el sistema de producción.  
1303 Para el desarrollo de este trabajo se contó con 1272 registros provenientes de 78  
1304 sistemas de producción de pollo de engorde del departamento de Santander, la base de  
1305 datos contó con 5 variables zootécnicas y 19 variables de caracterización. Se realizó un  
1306 modelo de regresión lineal múltiple con selección de predictores mediante el método de  
1307 selección paso a paso. Se encontró que el peso de las aves es la variable que mayor  
1308 efecto ejerce sobre la estimación del consumo de alimento en el pollo de engorde y que  
1309 existe un mayor número de variables que afectan el consumo de alimento cuando el pollo

1310 es llevado a un peso pesado. La regresión lineal múltiple constituyó una herramienta que  
1311 permitió estimar el efecto que tienen las variables zootécnicas, ambientales y de  
1312 infraestructura sobre el consumo de alimento del pollo, identificándose que la  
1313 implementación de tecnología permite optimizar el consumo de alimento como estrategia  
1314 para mejorar los resultados zootécnicos.

1315 **Palabras clave:** Avicultura, gestión de granjas avícolas, tasa de consumo, conversión  
1316 alimenticia, optimización de producción.

1317

1318

## Introducción

1319 El pollo es la carne más consumida en Colombia con una producción total de 1'620  
1320 toneladas y un consumo per cápita de 33.7 kg para el año 2020 (Fenavi 2021, Fedegan  
1321 2021). La industria avícola se caracteriza por haber aumentado su eficiencia año tras año.  
1322 El alimento es el parámetro que tiene mayor participación sobre el costo total de  
1323 producción del pollo de engorde, diferentes autores han reportado participaciones que  
1324 van entre el 56% y el 80% de los costos totales (MADR 2019, DANE 2015, SIPSA 2010),  
1325 aunado a esto, en el año 2020 Fenavi reportó un aumento en el costo del alimento  
1326 balanceado del 10.1% al comparar el mes de septiembre del año 2020 con el mismo  
1327 periodo del año 2019; también se reportó el aumento en el costo de materias primas como  
1328 el maíz y la soya importada (Fenavi 2020).

1329 El consumo de alimento está relacionado con el crecimiento de los pollos de engorde.  
1330 Además de una adecuada formulación de la dieta, el mantenimiento de niveles óptimos  
1331 de alimentación es el factor más importante que determinará la tasa de crecimiento y la  
1332 eficacia de utilización de los nutrientes (Quishpe 2006). Existen guías de manejo para  
1333 cada genética de pollo de engorde que contienen tablas sugeridas para la alimentación  
1334 según la edad del ave (Aviagen 2017; Cobb-Vantress 2018). En Colombia existen  
1335 programas de restricción alimentaria en los cuales el consumo acumulado de alimento  
1336 varía con respecto a las tablas de la guía genética, estas dependen principalmente de la  
1337 densidad nutricional de la dieta, los programas de alimentación y el costo del alimento  
1338 (Gómez et al 2019). También deben considerarse las condiciones ambientales y de

1339 infraestructura. Villar (2019) y Uzcátegui et al (2020) incluyeron la restricción alimenticia  
1340 como una estrategia nutricional que busca favorecer los indicadores de eficiencia  
1341 biológica y disminuir la mortalidad a causa de enfermedades metabólicas, favoreciendo  
1342 la disminución de los costos de producción.

1343 En los sistemas de producción de pollo de engorde en los cuales se presenta un consumo  
1344 por debajo de lo sugerido por las líneas genéticas es importante la predicción del peso y  
1345 el consumo de alimento. El peso al beneficio dependerá de lo establecido por el mercado,  
1346 mientras que el consumo variará de acuerdo a las condiciones de cada sistema de  
1347 producción, la estimación de estos parámetros permitirá optimizar la programación y  
1348 gestión de los sistemas de producción avícola. Molina (2016) desarrolló un modelo  
1349 matemático que predice el peso de los pollos de engorde en una empresa avícola de  
1350 Santander, sin embargo, no se evidencian estudios que permitan predecir el consumo de  
1351 alimento.

1352 Se pretende predecir el consumo de alimento a través de predictores que obedecen a  
1353 variables zootécnicas, ambientales y de infraestructura de las granjas, esto permitirá una  
1354 estimación cercana a la fecha en la cual el ave logrará el consumo requerido para obtener  
1355 el peso a beneficio presupuestado por la empresa.

1356

1357

### **Materiales y métodos**

1358 Se incluyeron 1272 registros provenientes de 179 unidades productivas, que a su vez  
1359 corresponden a 78 sistemas de producción de pollo de engorde en el departamento de  
1360 Santander, Colombia. La unidad productiva fue definida como la unidad mínima de  
1361 gestión administrativa para cada granja, puede estar conformada por uno o por varios  
1362 galpones y cuyo objetivo es facilitar el seguimiento y la evaluación de indicadores  
1363 zootécnicos, de este modo granjas grandes pueden contar con varias unidades  
1364 productivas.

1365 La información zootécnica fue recolectada mediante registros históricos entre enero 2019  
1366 y marzo 2020, la caracterización de los sistemas de producción mediante encuestas  
1367 realizadas a los administradores y la información de las variables temperatura y

1368 precipitación anual fue obtenida a partir de información geográfica satelital con la  
1369 plataforma CHELSA “(Climatologías en alta resolución para las áreas de la superficie  
1370 terrestre), actualmente alojado por el Instituto Federal Suizo para la Investigación de  
1371 bosques, nieve y paisaje WSL” (CHELSA, 2020). La variable índice tecnológico se  
1372 construyó a partir del índice de ponderación definido por Gómez et al (2021).

1373 Las variables zootécnicas de las cuales se dispuso fueron: peso, consumo, mortalidad,  
1374 sexo y densidad inicial (pollos/m<sup>2</sup>). Las variables correspondientes a la caracterización  
1375 de los sistemas de producción industrial de pollo de engorde incluyeron: condiciones  
1376 agroambientales, de infraestructura y de manejo. Basados en criterios técnicos fueron  
1377 seleccionadas 19 variables de caracterización para el desarrollo del modelo. Se  
1378 seleccionaron: tratamiento del agua (manual o planta de tratamiento), orientación (norte-  
1379 sur, oriente-occidente o mixto), tipo de comedero (automático o manual), sobretecho  
1380 (presencia o ausencia), ventilación (ventiladores, extractores o ninguno), altura sobre el  
1381 nivel del mar (m), temperatura (°C), precipitación (m<sup>3</sup>), duración del vacío sanitario (días),  
1382 profundidad de la cama (cm), ancho del galpón (m), aves por comedero y experiencia del  
1383 operario (años); todas las variables zootécnicas fueron seleccionadas.

1384 Los pesos al beneficio fueron agrupados en peso liviano (menor o igual a 2.3 kg) y peso  
1385 pesado (mayor a 2.3 kg), clasificación que es determinada a nivel comercial dependiendo  
1386 del mercado objetivo.

1387 Los modelos de regresión lineal múltiple fueron realizados a través del software  
1388 estadístico R<sup>®</sup> (R core team 2020) con las librerías stats (R core team 2020), rsample  
1389 (Silge et al 2021), nortest (Gross y Ligges 2015), lmtest (Hothorn et al 2020), car (Fox et  
1390 al 2020) y yardstick (Kuhn et al 2021).

1391 La validación del supuesto de normalidad se realizó mediante la prueba Lilliefors dado  
1392 que la base de datos contaba con más de 50 observaciones y la prueba Kolmogorov-  
1393 Smirnov se descartó puesto que no se conoce la media ni la desviación estándar de la  
1394 población (Romero 2016).

1395 Se empleó la validación cruzada como metodología para identificar la salida del algoritmo  
1396 ante el suministro de nueva información, lo que permitió valorar el rendimiento de este

1397 en términos de capacidad de estimación (Arlot y Celisse 2010). El 70% de la base de  
1398 datos fue utilizada para el entrenamiento del modelo y el 30% para realizar el testeo del  
1399 modelo buscando evaluar la existencia de sobreajuste o subajuste (Laude, 2017). El  
1400 coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) fueron  
1401 empleados para la evaluación del modelo (Novales, 2010).

1402 La selección de los predictores se realizó mediante el método de selección paso a paso  
1403 (stepwise selection) utilizando como métrica de validación la optimización del AIC (Zhang,  
1404 2016), lo que permitió probar las diferencias significativas entre diferentes  
1405 especificaciones del modelo (Akaike 1973).

1406

## 1407 **Resultados y discusión**

### 1408 **Modelo de estimación de consumo para pollos livianos**

1409 Para predecir el consumo de alimento el modelo de regresión lineal múltiple bajo la  
1410 metodología de selección de predictores paso a paso incluyó las variables: peso,  
1411 mortalidad, densidad, temperatura, altura sobre el nivel del mar, profundidad de la cama,  
1412 temperatura, precipitación, sobretecho y sexo. La variable temperatura fue eliminada del  
1413 modelo dado que presentó colinealidad con la variable altura sobre el nivel de mar.

1414 En la tabla 1 se observa el resultado obtenido en la validación de los supuestos,  
1415 aceptándose las hipótesis de normalidad, homocedasticidad, ausencia de  
1416 multicolinealidad y ausencia de autocorrelación.

1417

1418

1419

1420

1421

**Tabla 1.** Validación de los supuestos para la estimación del consumo a través de la RLM en pollos de engorde livianos en el departamento de Santander, Colombia

Supuesto	Test	Resultado
Normalidad	Lilliefors test <sup>1</sup>	p-valor >0.05
Homocedasticidad	Breusch Pagan <sup>2</sup>	p-valor >0.05
Multicolinealidad	VIF <sup>2,3</sup>	VIF<2
Autocorrelación	Durbin Watson <sup>2</sup>	p-valor >0.05

<sup>1</sup> Romero (2016). <sup>2</sup> Aldás y Uriel (2017). <sup>3</sup> Factor de Inflación de la Varianza

1422

1423 El test F validó que el modelo fue significativo ( $p < 0.05$ ). El  $R^2$  obtenido fue de 0.78, lo que  
 1424 permite presumir que el ajuste del modelo fue bueno y tiene la capacidad de estimar el  
 1425 consumo de alimento. También se evaluó el  $R^2$  ajustado puesto que el  $R^2$  tiende a generar  
 1426 una imagen demasiado optimista del ajuste de la regresión, por lo que existe una  
 1427 tendencia por parte de los investigadores hacia preferir la evaluación de los modelos  
 1428 mediante el  $R^2$  ajustado (Martínez 2005), en el modelo desarrollado el  $R^2$  ajustado fue de  
 1429 0.78 corroborando un buen ajuste del modelo. Empero, este valor es inferior al obtenido  
 1430 por Molina (2016) quien estimó el peso de las aves a beneficio a través de los resultados  
 1431 semanales de las aves y obtuvo un  $R^2$  del 0.90, indicando que puede existir una mayor  
 1432 precisión cuando se intenta estimar parámetros zootécnicos a través de los registros  
 1433 semanales.

1434 El RMSD fue de 86.7 g para la base de datos de entrenamiento y de 82.2 g para la base  
 1435 de datos de testeo, con lo cual se identificó que el RMSD de los datos de entrenamiento  
 1436 y los datos de testeo difiere solo en 4.55 g, confirmando un correcto ajuste del modelo a  
 1437 la nueva información suministrada.

1438

1439

1440

1441 El modelo final fue definido como:

$$1442 \quad \text{Consumo} = 120 + 1.55P + 3026M - 13.2D - 0.003A - 3.97PC + 0.034PR - 16.77S - 106SM$$

1443 Donde:

1444  $P$ = Peso (g)

1445  $M$ = Mortalidad (%)

1446  $D$ = Densidad (pollos iniciales/m<sup>2</sup>)

1447  $A$ = Altura sobre el nivel del mar (m)

1448  $PC$ = Profundidad de la cama

1449  $PR$ = Precipitación

1450  $S$ = Sobretecho

1451  $SM$ = Sexo macho

1452 La variable con mayor influencia en la estimación del consumo de alimento es el peso del  
1453 ave. Esto puede ser resultado del alto coeficiente de correlación obtenido entre ambas  
1454 variables (0.89). Arbor Acres® (2009) indicó que un adecuado consumo de alimento  
1455 permitirá lograr el peso objetivo para un lote de pollos de engorde.

1456 El cálculo del promedio de consumo de alimento en el ámbito comercial se ve impactado  
1457 por la mortalidad, puesto que este se realiza dividiendo el total del alimento entregado al  
1458 lote entre las aves beneficiadas (Acosta y Jaramillo 2015), de esta manera a las aves  
1459 beneficiadas se les cargará el alimento consumido por las aves muertas, causando una  
1460 sobreestimación de la cantidad de alimento total por ave al final del periodo evaluado.  
1461 Por otro lado, Francia et al (2009) reportaron que el elevado peso muscular que logra el  
1462 ave en un marco óseo cada vez más pequeño y el consumo de raciones altas en proteína  
1463 y energía han generado un aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares  
1464 y metabólicas, afectando la mortalidad en los lotes de pollo de engorde.

1465 El sexo del pollo de engorde es un factor de alta incidencia en los resultados zootécnicos,  
1466 Rosero et al (2012) encontraron que el consumo de alimento es inferior en las hembras

1467 frente a los machos en todas las etapas de crecimiento del ave, concluyendo que los  
1468 machos son más eficientes en términos de consumo de alimento, ganancia de peso y  
1469 conversión alimenticia.

1470 El modelo obtenido evidenció un menor consumo de alimento al aumentar la densidad,  
1471 coincidiendo con lo reportado por Galán (2019), quien sugirió que el aumento de la  
1472 densidad produce una disminución del consumo de alimento. Arbor Acres (2009) indicó  
1473 que la densidad deberá determinarse de acuerdo a las condiciones de temperatura  
1474 ambiental y de humedad con el fin de evitar el incremento de la presión ambiental sobre  
1475 el pollo lo cual reduciría la rentabilidad del mismo. Esto podría deberse a un aumento en  
1476 la competencia entre individuos por acceso a los recursos disponibles.

1477 Dentro de las variables de caracterización incluidas en el modelo para la predicción del  
1478 consumo se encontraron la altura sobre el nivel del mar, profundidad de la cama,  
1479 sobretecho y precipitación.

1480 Una baja altura sobre el nivel del mar aumentará el estrés calórico conduciendo a la  
1481 disminución del consumo de alimento para minimizar la cantidad de calor generado por  
1482 la digestión y el metabolismo energético. La sensación térmica se determina por la  
1483 temperatura y la humedad relativa, el aumento de la precipitación generará un aumento  
1484 en la humedad relativa lo que aunado a una alta temperatura generará estrés térmico en  
1485 el ave afectando su rendimiento zootécnico como se evidenció en el modelo desarrollado  
1486 (Estrada et al 2007). En lugares ubicados a bajas alturas sobre el nivel del mar se hace  
1487 necesario el uso de equipos mecánicos que favorezcan la ventilación generando una  
1488 disminución en la temperatura ambiente y cuyo principal objetivo es mantener las aves  
1489 en su zona de confort, esto permite que el ave utilice la energía suministrada a través del  
1490 alimento de forma más eficiente en el proceso de crecimiento, logrando que las aves  
1491 tengan un adecuado nivel de bienestar y rendimiento económico (Aviagen, 2019).

1492 Se encontró que a mayor profundidad de la cama se presentó un menor consumo de  
1493 alimento. La profundidad de la cama tiene un alto impacto sobre la calidad de la misma,  
1494 Quishpe (2006) consideró que la calidad de la cama es un estresante ambiental que  
1495 generará indirectamente la disminución en el consumo de alimento. Igualmente ocurre

1496 con la calidad del aire el cual influye sobre el consumo de alimento y es por esto que el  
1497 sobretecho toma importancia como una alternativa para mejorar la remoción de gases  
1498 dentro del galpón (García 2011)

1499 Para obtener una correcta estimación del consumo de alimento a partir del modelo  
1500 desarrollado se requiere que los nuevos datos a suministrar se encuentren dentro del  
1501 rango obtenido por la base de datos con la cual se desarrolló el modelo. La tabla 2  
1502 describe el rango para las variables cuantitativas que fueron seleccionadas en el modelo  
1503 desarrollado.

1504

**Tabla 2.** Rango obtenido en las variables cuantitativas para el modelo de RLM para la estimación de consumo de alimento en pollos livianos en el departamento de Santander, Colombia

<b>Variable</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Peso (g)	1702	2299
Consumo (g)	2514	4245
Mortalidad (proporción)	0.0137	0.16
Densidad (pollos/m <sup>2</sup> )	8.74	18
Altura sobre el nivel del mar (m)	90	1715
Profundidad de la cama (cm)	2.5	20
Precipitación (m <sup>3</sup> )	948	2328

1505

### 1506 **Modelo de estimación de consumo para pollos pesados**

1507 Para el modelo que contempló aves con un peso superior a 2300 g las variables que  
1508 fueron seleccionadas bajo el método de selección paso a paso fueron: peso, mortalidad,  
1509 altura sobre el nivel de mar, vacío sanitario, ancho del galpón, temperatura, precipitación,  
1510 tipo de comedero, sobretecho, índice tecnológico, sexo y ventilación. Las variables  
1511 temperatura y ventilación fueron eliminadas del modelo dado que presentaron  
1512 colinealidad con las variables altura sobre el nivel del mar e índice de adopción  
1513 tecnológico respectivamente.

1514 El test F validó que el modelo fue significativo ( $p < 0.01$ ). El  $R^2$  obtenido fue de 0.87 y el  
1515  $R^2$  ajustado de 0.87, valores que dan indicio de un buen ajuste del modelo.

1516 En la tabla 3 se observa el resultado obtenido en la validación de los supuestos  
 1517 aceptándose las hipótesis de normalidad, homocedasticidad, ausencia de  
 1518 multicolinealidad y ausencia de autocorrelación.

**Tabla 3.** Validación de los supuestos para la estimación del consumo a través de la RLM en pollos de engorde pesados en el departamento de Santander, Colombia

Supuesto	Test	Resultado
Normalidad	Lilliefors test <sup>1</sup>	p-valor > 0.05
Homocedasticidad	Breusch Pagan <sup>2</sup>	p-valor > 0.05
Multicolinealidad	VIF <sup>2,3</sup>	VIF < 4
Autocorrelación	Durbin Watson <sup>2</sup>	p-valor > 0.05

<sup>1</sup> Romero (2016). <sup>2</sup> Aldás y Uriel (2017). <sup>3</sup> Factor de Inflación de la Varianza

1519

1520 El RMSD para la base de datos de entrenamiento fue de 117.3 g y de 116.7 g para la  
 1521 base de datos de testeo, se evidenció que la diferencia entre ambos RMSD fue de solo  
 1522 0.67 g, con lo cual se corroboró un correcto ajuste del modelo a nueva información  
 1523 suministrada.

1524 El modelo final fue definido como:

$$1525 \text{ Consumo} = -228 + 1.85P + 3483M - 0.0151A - 2.51V + 13.6AG + 0.0498PR - 129CM + 41.58S$$

$$1526 \quad \quad \quad - 6.78IT - 198SM$$

1527 Donde:

1528  $P$ = Peso (g)

1529  $M$ = Mortalidad (%)

1530  $A$ = Altura sobre el nivel del mar (m)

1531  $V$ = Vacío sanitario

1532  $AG$ = Ancho del galpón

1533 *PR*= Precipitación

1534 *CM*= Comedero manual

1535 *S*= Sobretecho

1536 *IT*= Índice tecnológico

1537 *SM*= Sexo macho

1538

1539 El modelo para pollos pesados incluye 4 variables adicionales a las mencionadas en el  
1540 modelo de pollos livianos: vacío sanitario, ancho del galpón, tipo de comedero e índice  
1541 tecnológico.

1542 El vacío sanitario es conocido como el periodo transcurrido desde la salida del último  
1543 pollo del lote hasta el ingreso de un nuevo lote, el periodo recomendado va de 15 a 21  
1544 días, controlar este proceso toma importancia en el mantenimiento del estatus sanitario  
1545 de la granja, puesto que un corto periodo termina por comprometer el rendimiento  
1546 zootécnico del ave (Barroeta et al 2013). Las enfermedades infecciosas es uno de los  
1547 principales problemas de la industria avícola representando pérdidas millonarias para los  
1548 productores, tomar medidas preventivas se hace necesario; los procesos de limpieza y  
1549 desinfección en las granjas tienen como objetivo bajar o disminuir la carga bacteriana en  
1550 las instalaciones y es la medida de prevención más importante para la industria avícola,  
1551 puesto que evita la transmisión de enfermedades de un lote a otro o de una granja hacia  
1552 otras (Duarte et al 2017).

1553 De acuerdo con Cobb-Vantress (2019) el ancho del galpón toma relevancia en el flujo de  
1554 aire requerido para la remoción adecuada de los gases generados dentro del galpón,  
1555 indicando que a medida que se aumenta el ancho del galpón los requerimientos de  
1556 ventilación son mayores, Quishpe (2006) relacionó la calidad del aire como un factor que  
1557 afecta negativamente el consumo de alimento.

1558 El modelo indicó que pollos con comederos manuales tienden a consumir menor cantidad  
1559 de alimento lo cual coincide con lo reportado por Espinosa (2010), quien indicó que los

1560 comederos automáticos son reconocidos por estimular el consumo de alimento,  
1561 favoreciendo la eficiencia alimenticia, sin embargo, este también menciona que un  
1562 exceso en el estímulo de consumo de alimento puede generar un tránsito rápido que  
1563 afectará el crecimiento del ave.

1564 La tabla 4 describe el rango de variación para las variables cuantitativas que fueron  
1565 seleccionadas en el modelo, permitiendo identificar el rango en el cual el modelo es capaz  
1566 de realizar una adecuada estimación del consumo de alimento.

**Tabla 4.** Rango obtenido en las variables cuantitativas para el modelo de RLM para la estimación de consumo de alimento en pollos pesados en el departamento de Santander, Colombia

<b>Variable</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Peso (g)	2301	3110
Consumo (g)	3350	5216
Mortalidad (proporción)	0.016	0.204
Altura sobre el nivel del mar (m)	90	1715
Vacío sanitario (días)	10	21
Ancho del galpón (m)	10	16.1
Precipitación (m <sup>2</sup> )	948	2328
Índice tecnológico	53	91

1567

1568

1569

### **Conclusiones**

1570 • El desarrollo de dos modelos de regresión lineal múltiple permitió obtener  
1571 ecuaciones que describen el comportamiento del consumo a través de variables  
1572 zootécnicas, ambientales, de manejo e infraestructura con un nivel de precisión  
1573 adecuado.

1574

1575 • El consumo de alimento en pollos livianos está determinado por las variables peso,  
1576 sexo, mortalidad, densidad, altura sobre el nivel del mar, profundidad de la cama y  
1577 sobretecho. En los pollos pesados las variables que están influyendo sobre el  
1578 consumo de alimento son el peso, sexo, mortalidad, altura sobre el nivel del mar,

1579 vacío sanitario, ancho del galpón, precipitación, tipo de comedero, sobretecho e  
1580 índice tecnológico.

1581

1582 • La variable peso es la variable que mayor influencia representa en la estimación del  
1583 consumo de alimento en los dos modelos desarrollados.

1584

1585 • En ambos modelos existe variabilidad en el consumo de alimento que no fue  
1586 explicada por los modelos desarrollados, lo que puede ser explicado por las  
1587 variables relacionadas con la presentación y composición nutricional del alimento.

1588

1589 • La aplicación de la RLM constituye una herramienta que permite estimar el efecto  
1590 que tienen diferentes variables sobre el consumo de alimento en los pollos de  
1591 engorde del departamento de Santander.

1592

1593 • La implementación de tecnología en los sistemas de producción de pollo de engorde  
1594 permite a los productores tomar decisiones y optimizar del consumo de alimento  
1595 como estrategia para mejorar los resultados zootécnicos y económicos.

1596

1597

1598

## Referencias

1599 • Acosta D y Jaramillo A 2015 Manejo del pollo de engorde. Servicio Nacional de  
1600 Aprendizaje.

1601 [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4618/Manejo\\_de\\_pollo\\_de\\_](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4618/Manejo_de_pollo_de_engorde.PDF?sequence=1)  
1602 [engorde.PDF?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4618/Manejo_de_pollo_de_engorde.PDF?sequence=1)

1603 • Arbor Acres 2009 Guía de manejo del pollo de engorde. Aviagen.  
1604 [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/smA-Acres-Guia-de-Manejo-del-Pollo-Engorde-2009.pdf)  
1605 [TechDocs/smA-Acres-Guia-de-Manejo-del-Pollo-Engorde-2009.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/smA-Acres-Guia-de-Manejo-del-Pollo-Engorde-2009.pdf)

1606 • Akaike H 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood  
1607 principle. International Symposium on Information Theory, 2nd ed. Acadeemiai  
1608 Kiadi, Budapest, Hungary, pp. 267–281.

- 1609 • Arlot S y Celisse A 2010 A survey of cross-validation procedures for model selection.  
1610 Statistics Surveys. Vol 4. pp 40-79, <https://doi.org/10.1214/09-SS054>
- 1611 • Aviagen 2017 Objetivos de rendimiento. Aviagen.  
1612 [http://es.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Ross308AP-Broiler-PO-2017-ES.pdf](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross308AP-Broiler-PO-2017-ES.pdf)
- 1614 • Aviagen 2014 Manejo del ambiente en el galpón de pollo de engorde. Aviagen.  
1615 [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Aviagen-Manejo-Ambiente-Galpón-Pollo-Engorde-2009.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Aviagen-Manejo-Ambiente-Galpón-Pollo-Engorde-2009.pdf)
- 1617 • Barroeta A, Izquierdo D y Pérez J 2013 Manual de avicultura. Universitat Autònoma  
1618 de Barcelona.  
1619 [https://www.academia.edu/25287174/MANUAL\\_DE\\_AVICULTURA\\_Breve\\_manual\\_de\\_aproximaci%C3%B3n\\_a\\_la\\_empresa\\_av%C3%ADcola\\_para\\_estudiantes\\_de\\_veterinaria\\_Departament\\_de\\_Ci%C3%A8ncia\\_Animal\\_i\\_dels\\_Aliments\\_Unitat\\_de\\_Ci%C3%A8ncia\\_Animal\\_Facultat\\_de\\_Veterin%C3%A0ria](https://www.academia.edu/25287174/MANUAL_DE_AVICULTURA_Breve_manual_de_aproximaci%C3%B3n_a_la_empresa_av%C3%ADcola_para_estudiantes_de_veterinaria_Departament_de_Ci%C3%A8ncia_Animal_i_dels_Aliments_Unitat_de_Ci%C3%A8ncia_Animal_Facultat_de_Veterin%C3%A0ria)
- 1623 • CHELSA 2020 CHELSA – Free climate data at high resolution. CHELSA-climate.  
1624 <https://chelsa-climate.org/>
- 1625 • Cobb-Vantress 2018 Broiler performance and nutrition supplement. Cobb-Vantress.  
1626 <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/product-guides/bdc20a5443/70dec630-0abf-11e9-9c88-c51e407c53ab.pdf>
- 1628 • Cobb-Vantress 2019 Pollo de engorde guía de manejo. Cobb-Vantress.  
1629 [https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB\\_2.22.2019.pdf](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)
- 1631 • Dane 2015 Boletín mensual insumos y factores asociados a la producción  
1632 agropecuaria. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.  
1633 [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_jun\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jun_2015.pdf)
- 1635 • Duarte A, Hernández M, Bautista C 2017 Manejo sanitario de pollos de engorde en  
1636 granjas de Cundinamarca, Colombia. Revista Sistemas de Producción  
1637 Agroecológicos. Vol 8 (1). pp 95-119.  
1638 <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/697/751>
- 1639

- 1640 • Espinosa H 2010 Comparación de rendimientos sobre parámetros zootécnicos y  
1641 económicos, utilizando comederos automáticos y manuales en pollos de engorde  
1642 en el trópico. Universidad católica de Santiago de Guayaquil.  
1643 [http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/960/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-](http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/960/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-3.pdf)  
1644 [3.pdf](http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/960/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-3.pdf)
- 1645 • Estrada M, Márquez S y Restrepo L 2007 Efecto de la temperatura y la humedad  
1646 relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de  
1647 engorde. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol 20. pp 288-303.¶  
1648 <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324142/20781324>
- 1649 • FEDEGAN 2021 Consumo aparente per capita anual. Federación Colombiana de  
1650 Ganaderos. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>
- 1651 • FENAVI 2020 Boletín Fenaviquín. Federación Nacional de Avicultores de Colombia.  
1652 Vol. 319. [https://fenavi.org/wp-content/uploads/2020/11/Fenaviquin\\_ed3192020.pdf](https://fenavi.org/wp-content/uploads/2020/11/Fenaviquin_ed3192020.pdf)
- 1653 • FENAVI 2021 Producción de pollo (ton). Federación Nacional de Avicultores de  
1654 Colombia <https://fenavi.org/informacion-estadistica/>
- 1655 • Francia M, Icochea E, Reyna P y Figueroa E 2009 Tasas de mortalidad, eliminados  
1656 y descartes de dos líneas genéticas de pollos de carne. Revista de investigaciones  
1657 veterinarias del Perú. Vol 20 n°2.  
1658 [https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/612/4](https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/612/485)  
1659 [85](https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/612/485)
- 1660 • Fox J et al 2020 car: Companion to Applied Regression. Cran R-project.  
1661 <https://cran.r-project.org/web/packages/car/index.html>
- 1662 • García S 2011 Importancia del aislamiento en avicultura: aspectos económicos de  
1663 su instalación. Revista Selecciones Avícolas, pp. 7-14.  
1664 [https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/1/5790-importancia-del-aislamiento-](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/1/5790-importancia-del-aislamiento-en-avicultura-aspectos-economicos-de-su-instalacion-i.pdf)  
1665 [en-avicultura-aspectos-economicos-de-su-instalacion-i.pdf](https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2011/1/5790-importancia-del-aislamiento-en-avicultura-aspectos-economicos-de-su-instalacion-i.pdf)
- 1666 • Galán M 2019 implementar protocolos para mejorar los parámetros zootécnicos  
1667 (calidad y uniformidad de las aves) en la granja El Roble. Universidad Cooperativa  
1668 de Colombia.  
1669 [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10123/1/2019\\_implementar\\_](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10123/1/2019_implementar_protocolo_mejorar.pdf)  
1670 [protocolo\\_mejorar.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/10123/1/2019_implementar_protocolo_mejorar.pdf)

- 1671 • Gómez J, Cerón M, Duque J, David E y Múnera Ó 2021 Caracterización de sistemas  
1672 de producción industrial de pollo de engorde en el departamento de Santander,  
1673 Colombia. Revista Lasallista de Investigación. Artículo sometido.
- 1674 • Gómez L, Tillman N, Restrepo O, Mesa C, Múnera O y Angel R 2019 Economic  
1675 modelling of broiler performance under different diet densities, feeding programs,  
1676 and challenge conditions using a factorial design. 22<sup>nd</sup> European Symposium on  
1677 Poultry Nutrition. Gdansk, Poland. p 295.
- 1678 • Gross J 2015 nortest: Tests for Normality. Cran R-Project. [https://cran.r-](https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/index.html)  
1679 [project.org/web/packages/nortest/index.html](https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/index.html)
- 1680 • Hothorn T et al 2020 lmtest: Testing Linear Regression Models. Cran R-Project.  
1681 <https://cran.r-project.org/web/packages/lmtest/index.html>
- 1682 • Kuhn M, Vaughan D y Rstudio 2021 yardstick: Tidy Characterizations of Model  
1683 Performance. Cran R-Project. [https://cran.r-](https://cran.r-project.org/web/packages/yardstick/index.html)  
1684 [project.org/web/packages/yardstick/index.html](https://cran.r-project.org/web/packages/yardstick/index.html)
- 1685 • Laude H 2017 Data Scientist y lenguaje R, Validación cruzada, regularización,  
1686 bagging. ENI ediciones. pp 23
- 1687 • Martínez E 2005 Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de  
1688 determinación lineal. Anuario jurídico y económico Escorialense. Vol 38. pp 315-  
1689 332. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1143023>
- 1690 • MADR 2019 Cadena avícola. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de  
1691 Organizaciones de Cadena, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural,  
1692 [https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-](https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)  
1693 [30%20Cifras%20Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Avicola/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- 1694 • Molina L 2016 Modelo matemático tipo datos de panel para predecir el peso del  
1695 pollo de engorde en Avides Mac Pollo S.A. Universidad Industrial de Santander.  
1696 <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/163429.pdf>
- 1697 • Novales A 2010 Análisis de regresión. Universidad Complutense, pp 35-56.  
1698 [https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-](https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf)  
1699 [Analisis%20de%20Regresion.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf)

- 1700 • Quishpe G 2006 Factores que afectan el consumo de alimento en pollos de engorde  
1701 y postura. Universidad Zamorano.  
1702 <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/930/1/T2297.pdf>
- 1703 • R Core Team 2016 A language and environment for statistical computing. Vienna,  
1704 Austria. <http://www.r-project.org>
- 1705 • Romero M 2016 Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. Revista  
1706 enfermería del trabajo. Vol 6 N°3. pp 105-114. [https://enfermeriadeltrabajo.com/wp-](https://enfermeriadeltrabajo.com/wp-content/uploads/2020/11/Revista-ET-Vol.-6-Nu%CC%81m.-3.pdf)  
1707 [content/uploads/2020/11/Revista-ET-Vol.-6-Nu%CC%81m.-3.pdf](https://enfermeriadeltrabajo.com/wp-content/uploads/2020/11/Revista-ET-Vol.-6-Nu%CC%81m.-3.pdf)
- 1708 • Rosero J, Guzmán E y López F 2012 Evaluación del comportamiento productivo de  
1709 las líneas de pollos de engorde Cobb 500 y Ross 308. Revista Biotecnología en el  
1710 Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 10 N°1. pp 8-15.  
1711 <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a02.pdf>
- 1712 • Silge J, Chow F, Kuhn M y Wickham H 2021 rsample: General Resampling  
1713 Infrastructure. Cran R-project. [https://cran.r-](https://cran.r-project.org/web/packages/rsample/index.html)  
1714 [project.org/web/packages/rsample/index.html](https://cran.r-project.org/web/packages/rsample/index.html)
- 1715 • SIPSA 2010 Costo de producción kilo de carne de pollo. Sistema de información de  
1716 precios.  
1717 [https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/1680/EC%20Pollo%20comer-](https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/1680/EC%20Pollo%20comercial-grande.pdf)  
1718 [cial-grande.pdf](https://www.agronet.gov.co/Lists/Boletin/Attachments/1680/EC%20Pollo%20comercial-grande.pdf)
- 1719 • Uzcátegui J, Collazo K y Guillén E 2020 Evaluación del comportamiento productivo  
1720 de pollos Cobb 500 sometidos a restricción alimenticia como estrategia sostenible  
1721 de control nutricional. Revista de medicina veterinaria Vol 1 N°39. pp 85-97  
1722 <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss39.9>
- 1723 • Zhang Z 2016 Variable selection with stepwise and best subset approaches. Annals  
1724 of translational medicine. Vol 4 N°7. pp 136.  
1725 <https://doi.org/10.21037/atm.2016.03.35>

## Capítulo 5. Consideraciones generales

1726

1727

1728

1729

1730

1731

1732

1733

1734

1735

1736

1737

1738

1739

1740

1741

1742

1743

1744

1745

1746

1747

1748

1749

1750

1751

1752

1753

1754

1755

- El desarrollo del presente trabajo permitió explorar factores asociados a la producción de pollo de engorde en diferentes regiones del departamento de Santander, Colombia. Sin duda como profesional del sector avícola conocer las condiciones en las que se produce el pollo de engorde en una de las regiones avícolas más importantes del país me permitió conocer y entender mejor las necesidades y oportunidades de crecimiento que tiene este sector en este departamento.
- La producción de pollo de engorde se ha incrementado año tras año, su crecimiento se ve favorecido debido al poco espacio necesario para su producción y el corto tiempo que requiere el pollo para su crecimiento, haciendo que esta industria atraiga cada vez a más productores. Adicionalmente, los consumidores de carne reconocen al pollo como una proteína altamente versátil y de bajo costo lo que ha permitido posicionar este alimento como la carne con el mayor consumo per cápita en el país.
- A nivel global la avicultura ha avanzado a gran escala en el desarrollo de tecnologías que favorezcan el progreso del sector. Se han desarrollado robots para la ejecución de actividades repetitivas y sensores que monitorean y controlan las condiciones ambientales (temperatura, humedad), de salubridad (amoníaco, dióxido de carbono) de la población avícola, la iluminación, el mantenimiento de agua potable, el comportamiento de las aves, entre otros. Sin embargo, en Colombia se reconoce al factor económico como el principal limitante para la adopción de dichas tecnologías. Aunado a esto el bajo grado escolar que tienen los operarios de granja hace que el uso de estas tecnologías sea de difícil aplicación para el sector.
- El departamento de Santander posee condiciones agroambientales y culturales que le han permitido afianzar su participación en la industria de pollo de engorde a nivel nacional, se destacan la implementación de programas sanitarios como resultado de la certificación en granjas bioseguras, el nivel de capacitación del personal y la implementación de otras tecnologías blandas. Este trabajo permitió evidenciar que aun cuando la región es referente nacional, posee un potencial de crecimiento grande, especialmente en lo relacionado a la implementación de tecnologías duras

1756 enfocadas al monitoreo y control ambiental, con lo cual se podrán ofrecer  
1757 condiciones de bienestar a los operarios y los animales, lo cual se espera favorezca  
1758 la obtención de mejores parámetros zootécnicos, debidos a la reducción de estrés  
1759 y el fortalecimiento de la respuesta inmunológica y la salud intestinal.

- 1760 • Una importante parte de los sistemas de producción de pollo de engorde en el  
1761 departamento de Santander funcionan bajo el modelo de arrendamiento, lo que  
1762 hace que el propietario de la granja sea quien decide en gran medida el tipo de  
1763 tecnologías duras que desea implementar en su propiedad. Este modelo de  
1764 producción podría ser la respuesta del porqué los productores del departamento  
1765 tienden a adoptar un mayor número de tecnologías blandas, puesto que la  
1766 implementación de estas depende de ellos y no de un tercero.
- 1767 • Se considera importante desarrollar investigaciones en la región que permitan  
1768 identificar el costo–beneficio que trae consigo la adopción de un número mayor de  
1769 tecnologías duras. Esta información será relevante para el productor y/o propietario  
1770 quienes finalmente decidirán las tecnologías a implementar en las granjas.
- 1771 • La diferencia tan marcada que existe entre los tamaños de los galpones en los  
1772 sistemas de producción puede estar explicada en gran parte por la topografía  
1773 ondulada del departamento, restringiendo al propietario de las granjas a utilizar los  
1774 espacios disponibles.
- 1775 • La decisión de tomar el consumo como la variable dependiente y no la  
1776 independiente como tradicionalmente se ha expresado, parte de la necesidad de  
1777 determinar la fecha del beneficio del pollo. El peso del ave está determinado por el  
1778 mercado y se conoce a priori, sin embargo, el consumo de alimento no es posible  
1779 conocerlo sin la aplicación de un modelo que permita estimarlo.
- 1780 • En Colombia por las condiciones medioambientales que se tienen y la baja adopción  
1781 de tecnologías para el manejo climático, el suministro de alimento que se entrega al  
1782 ave debe realizarse de forma limitada evitando que se desarrollen patologías  
1783 cardiovasculares y/o metabólicas. Determinar el consumo de alimento requerido por  
1784 el pollo permite que a través de las tablas de alimentación se identifique la edad  
1785 requerida por el ave para lograr el peso objetivo de la empresa. Se resalta que en  
1786 el trabajo desarrollado los lotes que fueron evaluados recibieron diferentes tablas

1787 de alimentación que cada sistema de producción determinó de acuerdo a sus  
1788 condiciones medioambientales y de infraestructura.

1789 • El principal limitante para llevar a cabo una discusión más completa de los  
1790 resultados obtenidos se debe a la hermeticidad que se tiene en el sector avícola.  
1791 Los productores son altamente reacios a suministrar información de tipo técnico y  
1792 más aun a permitir que esta se divulgue, esto hace que no se logre evidenciar  
1793 registros comerciales de los resultados zootécnicos obtenidos en los sistemas de  
1794 producción de pollo de engorde en el departamento.

1795 • Durante el desarrollo de este trabajo se evaluaron cinco modelos para la estimación  
1796 del consumo de alimento:

1797 **Regresión lineal múltiple con selección de predictores paso a paso:**  
1798 emplea criterios matemáticos para decidir qué predictores contribuyen  
1799 significativamente al modelo y en qué orden se introducen

1800 **Regresión Ridge:** penaliza la suma de los coeficientes elevados al cuadrado.  
1801 Esta penalización tiene el efecto de reducir de forma proporcional el valor de  
1802 todos los coeficientes del modelo, pero sin que estos lleguen a cero.

1803 **Regresión Lasso:** penaliza la suma del valor absoluto de los coeficientes de  
1804 regresión. Esta penalización tiene el efecto de forzar a que los coeficientes de  
1805 los predictores tiendan a cero.

1806 **Regresión Elastic net:** método que combina la penalización Ridge y Lasso. El  
1807 grado en que influye cada una de las penalizaciones está controlado por el  
1808 hiperparámetro  $\alpha$  y cuyo valor está comprendido en el intervalo  $[0,1]$ .

1809 **Modelos aditivos generalizados (GAM):** método que utiliza funciones de  
1810 suavización para ajustar los datos a funciones no paramétricas permitiendo  
1811 observar relaciones no lineales.

1812 **Árboles de decisiones:** constituye un algoritmo de aprendizaje supervisado el  
1813 cual es ampliamente utilizado para dar solución a problemas de clasificación.

1814 Finalmente se seleccionó el modelo de regresión lineal múltiple con selección de  
1815 predictores paso a paso puesto que este fue el modelo que obtuvo el RMSD más  
1816 bajo y presentó un buen ajuste al realizar la validación cruzada.

- 1817 • El proceso de modelación con diferentes metodologías favoreció mi proceso de  
1818 formación académica permitiéndome desarrollar habilidades en el ámbito de la  
1819 estadística y la programación, igualmente, me permitió entregar a los productores  
1820 de la zona herramientas como la caracterización de los sistemas de producción de  
1821 pollo de engorde en las diferentes regiones del departamento de Santander, un  
1822 índice de adopción tecnológico y un modelo que permitirá estimar el consumo de  
1823 alimento.

1824

**Anexos**

1825 **Anexo 1.** Encuesta de caracterización de sistemas de producción de pollo de engorde  
 1826 en el departamento de Santander, Colombia

1827

Variable	Respuesta
Nombre de la granja	
¿Cuál es el municipio en donde se encuentra ubicada la granja?	
¿Cuál es la vereda en donde se encuentra ubicada la granja?	
¿Cuál es la altura sobre el nivel del mar en donde se encuentra ubicada la granja? (m)	
¿Cuáles son las coordenadas de la granja? (longitud y latitud)	
¿Cuántos kilómetros hay entre la granja y la planta de beneficio? (km)	
¿En los 6 últimos lotes de producción ha sido necesario el uso de medicación curativa?	
¿Cuántos días en promedio dura el vacío sanitario, desde el momento de la salida del último pollo del lote anterior hasta, la llegada del pollito de este lote? (días)	
¿Cuál es el grado de estudio del técnico de la granja?	
¿Cuántos años de experiencia tiene el técnico encargado en la producción de pollo de engorde? (años)	
¿En la granja se reutiliza la cama?	
¿Cuál es la profundidad promedio de la cama? (cm)	
¿Tipo de tratamiento del agua?	
¿Cuál es el pH promedio del agua en el bebedero?	
Unidad productiva	
¿Número de galpones?	
¿Cuál es la orientación de los galpones?	
¿Cuál es el largo promedio de los galpones? (m)	
¿Cuál es el ancho promedio de los galpones? (m)	
¿Cuál es la altura promedio de los galpones? (m)	
¿Cuál es el tipo de comederos utilizados?	
¿Cuál es el número de aves por comederos?	
¿Cuál es el tipo de bebedero utilizado?	
¿Cuál es el número de aves por bebederos?	
¿ Los galpones cuentan con nebulizadores?	
¿Los galpones cuentan con extractores?	
Si se tienen extractores ¿Cuál es el número de aves por extractor?	
¿Los galpones cuentan con ventiladores?	
Si se tienen ventiladores ¿Cuál es el número de aves por ventilador?	

Variable	Respuesta
¿Los galpones cuentan con cortina de aislamiento de techo?	
¿Tipo de piso?	
¿Los galpones cuentan con sensores de temperatura?	
¿Los galpones cuentan con sensores de humedad relativa?	
¿Qué tipo de calefacción se utiliza?	
¿El operario responsable de la unidad productiva vive en la granja?	
¿Cuál es la experiencia del operario en la producción de pollo de engorde? (años)	
¿Cuál es la experiencia del operario en la granja? (años)	
¿Cuál es el nivel de escolaridad del operario?	

1828

1829

1830

1831

1832

1833

1834

1835

1836

1837

1838

1839

1840

1841

1842

1843

1844 **Anexo 2.** Encuesta para la asignación del factor ponderador en el índice de adopción  
 1845 tecnológico para sistemas de producción de pollo de engorde en el departamento de  
 1846 Santander, Colombia

Grupo	Puntos	Variable	Puntos
<b>Alimentación</b>		Tipo de comedero	
		Tipo de bebedero	
		Alimentación balanceada	
<b>Manejo climático</b>		Nebulizadores	
		Extractores	
		Ventiladores	
		Sobretecho	
		Sensor de temperatura	
		Sensor de humedad	
		Panel de enfriamiento	
<b>Manejo sanitario</b>		Tratamiento de agua	
		Tipo de piso	
		Certificación de granja biosegura	
		Uso de pollito de un día provenientes de granjas bioseguras	
		Vacunación	
<b>Gestión de la producción</b>		Registros técnicos	
		Registros económicos	
		Asistencia técnica	
		Capacitación a empleados	
		Pesaje de las aves durante la producción	

1847

1848

1849

1850

1851

1852

1853

1854 **Anexo 3.** Guía para autores de la revista Livestock Research for Rural Development  
1855 (LRRD)

1856

### 1857 **Guide to Authors**

1858 Papers should be sent by E-mail to the Senior Editor. [reg.preston@gmail.com](mailto:reg.preston@gmail.com). If  
1859 acknowledgement is not received within two weeks then authors should send a reminder  
1860 to the Senior Editor with copy to [preston@lrrd.org](mailto:preston@lrrd.org).

1861 The papers should be sent by e-mail as an attachment, and with "LRRD" in the subject  
1862 line. **Email messages with attachments and unknown subject lines are not opened**  
1863 **in view of virus risks.**

1864 The principle tool for publishing the journal is Microsoft Office. This is the preferred format  
1865 for receiving papers and short communications.

1866 Authors should examine carefully **the Notes to Authors** that appeared in the last issue  
1867 of LRRD and **strictly follow all the instructions.**

1868 **Lack of respect of these instructions may lead to the rejection of the paper**

1869

### 1870 **Key words**

1871 Do not repeat the words already in the title of the paper. Search engines such as Google  
1872 automatically search the title. Key words should draw attention to features of the paper  
1873 not addressed in the title. .

1874

### 1875 **Body of Text**

1876 -For Page Set up Use: Paper size A4 and Margins 2.5 cm

1877 -Use the font "Times New Roman" 12 pt.

1878 -Do not use full word capitals for titles nor for names of authors.

1879 -Include your e-mail address below your postal address in the Title

1880 -Indicate the Keywords after the Abstract in alphabetical order

1881 -Separate the Titles and associate-titles from the previous and next lines by an empty line,

1882 using the 'return' or 'enter' key

1883 -Do not use numbers such 1.; 1.1.; 1.1.1.; to mark the Titles and Sub-titles.

1884 -Separate each paragraph by an empty line, using the 'return' or 'enter' key

1885 -Make sure the paragraphs are aligned to the left not "justified"

1886 -Do not use an indent in the beginning of each paragraph

1887

1888

1889

1890 **In text and tables**

1891 Ensure that numbers in tables and in the text contain only three digits after or before "000"

1892 eg:

1893 234.21 becomes 234

1894 1.2367 becomes 1.24

1895 0.00032176 becomes 0.000322

1896 0.01 should be 0.00712

1897 for R<sup>2</sup> only two digits after or before "00..."

1898 eg: R<sup>2</sup> = 0.677 becomes R<sup>2</sup> = 0.68

1899

1900 **Graphics:**

1901 Where possible, please always supply in **Excel** the original  
1902 spreadsheets including **graphs** and **data** which were used to produce graphics in the  
1903 papers, since this allows us to produce a uniform look and maintain the quality of the  
1904 finished journal. Within the graphics **Font** should be: "Times New Roman" – 10 pt. Use  
1905 different colors for columns and trend lines, NOT Black and White.

1906

1907 **Tables:**

1908 Please format them **using the Table menu**, and not Tabs and Spaces

1909 - when using the tabular format please allot a **new cell to each piece of data**.

1910 - include the title of the table as well as the notes at the bottom of table **inside the Table**  
1911 **itself** not in the body of the text.

1912 - when comparing treatments in a balanced design do not give SE of each mean. SEM  
1913 of means is more appropriate with the exact probability as given by the statistics  
1914 program. The SE of each mean is appropriate when numbers in each mean are not equal.

1915

1916 **Statistics**

1917 Avoid use of the term "significant". If "A" is greater than "B" then  $p < 0.05$  is understood  
1918 and the exact level of probability will be in the table. The accepted symbol for probability  
1919 is  $p$ . P is for Phosphorus. Note:  $p = 0.065$  but  $p < 0.001$ . A tendency for a difference to be  
1920 significant is when  $p > 0.05$  and  $p < 0.10$  and the exact probability will be in the text  
1921 (eg:  $p = 0.058$ ).

1922 There were numerical differences .... (**..is not allowed**)

1923

1924

1925

1926 **Preparing the table in Microsoft Word:**

**Table 7: Mean values for gasifier characteristics using coconut shells-husks, cassava stems, mulberry stems and branches of *Cassia stamea* as feedstock**

	Cassia	Cassava	Mulberry	Coconut	SEM	Prob.
Biomass, kg						
<i>Initial</i>	36.7	32.3	33.7	34.4	1.3	0.21
<i>Final</i>	4.93	1.9	0	3.07	2.19	0.49
<i>Consumption</i>	36.9	35.1	40	36.4	2.9	0.69
Moisture, %	14	13.3	15.7	14	1.4	0.69
Density, g/litre	348 <sup>a</sup>	97.0 <sup>c</sup>	273 <sup>b</sup>	128 <sup>c</sup>	10.4	<0.001
Duration, h	3.91	3.67	4.09	4.02	0.328	0.81
Output, kwh	27.4	25.7	28.7	28.2	2.29	0.81
Conversion#	1.23	1.18	1.18	1.11	0.044	0.42
Efficiency##	0.187	0.204	0.204	0.217	0.0082	0.17
Biochar, g/kg biomass DM	109	128	109	137	16.5	0.58
# kg dry biomass/kwh; ## Assumes 15 MJ/kg biomass DM and 3.6 MJ/kwh of electricity						
<i>abc Means in the same row without common letter are different at P&lt;0.05</i>						

1927

1928

1929 **Creating the final version of the table by eliminating the unnecessary lines and borders:**

**Table 7: Mean values for gasifier characteristics using coconut shells-husks, cassava stems, mulberry stems and branches of *Cassia stamea* as feedstock**

	Cassia	Cassava	Mulberry	Coconut	SEM	<i>p</i>
Biomass, kg						
<i>Initial</i>	36.7	32.3	33.7	34.4	1.3	0.21
<i>Final</i>	4.93	1.9	0	3.07	2.19	0.49
<i>Consumption</i>	36.9	35.1	40	36.4	2.9	0.69
Moisture, %	14	13.3	15.7	14	1.4	0.69
Density, g/litre	348 <sup>a</sup>	97.0 <sup>c</sup>	273 <sup>b</sup>	128 <sup>c</sup>	10.4	0<.001
Duration, h	3.91	3.67	4.09	4.02	0.328	0.81
Output, kwh	27.4	25.7	28.7	28.2	2.29	0.81
Conversion#	1.23	1.18	1.18	1.11	0.044	0.42
Efficiency##	0.187	0.204	0.204	0.217	0.0082	0.17
Biochar, g/kg biomass DM	109	128	109	137	16.5	0.58

# kg dry biomass/kwh; ## Assumes 15 MJ/kg biomass DM and 3.6 MJ/kwh of electricity

*abc Means in the same row without common letter are different at P<0.05*

1930

1931

1932

1933 **References:**

1934 **In the text, do not put a ‘coma’ between the name and the date. Do not put a ‘dot’**  
1935 **after ‘et al’.** “et al” should be in regular font, not in italics.

1936 **Example:** (Gueye et al 1998)

1937 References should be set up with minimum punctuation but maximum detail of the actual  
1938 citation. Abbreviations of journal titles should not be used. In the list of references,  
1939 citations should include the appropriate "URL" for the article, when this URL is freely  
1940 accessible. For example:

1941 **Cerón-Muñoz M F, Tonhati H, Costa C N, Rojas-Sarmiento D and Solarte Portilla C**  
1942 **2004** Variance heterogeneity for milk yield in Brazilian and Colombian Holstein herds.  
1943 Livestock Research for Rural Development, Volume 16, Article #20 Retrieved June 1,  
1944 2004, from <http://www.lrrd.org/lrrd16/4/cero16020.htm>

1945 Many Journals are at present accessible on the Web (do not indicate the URL of Journals  
1946 that need a subscription or a payment!!). Here is a list (not limitative) of some  
1947 Journals **freely** available:

1948 Livestock Research for Rural Development: <http://www.lrrd.org/>

1949

1950 Tropical Animal Production: <http://www.cipav.org.co/TAP/tapindex.htm>

1951 Journal of Animal Science: [www.animalsciencepublications.org/publications/jas](http://www.animalsciencepublications.org/publications/jas) (for  
1952 issues that appeared more than one year earlier!)

1953

1954 Journal of Dairy Science: <http://jds.fass.org/> (for issues that appeared more than one year  
1955 earlier!)

1956

1957 Annales de Zootechnie (accessible through Animal Research site)

1958

1959 Animal Research: <https://animres.edpsciences.org/>

1960

1961 Pakistan Journal of Nutrition: <http://www.pjbs.org/pjnonline/>

1962

1963 Revista Brasileira de  
1964 Zootecnia: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1516-3598&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1516-3598&lng=en&nrm=iso)  
1965  
1966  
1967 Revista Brasileira de Saúde e Produção  
1968 Animal: <http://revistas.ufba.br/index.php/rbspa/issue/archive>  
1969  
1970 Archivos de Zootecnia: <http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/az.php>  
1971  
1972 Most of FAO (<http://www.fao.org>) publications and  
1973 FAO/IAEA (<http://www-naweb.iaea.org/nafa/index.html>) publications  
1974  
1975 Check that the URL is complete (it means that it leads directly **to the article**, not to the  
1976 Journal Home Page), is correct and **is functioning**. By clicking on it: it should lead you to  
1977 the Web site.!

1978 **PLEASE:**

1979 - Use the **Spell-Check** tool in order to correct any spelling mistakes, and  
1980 - Ensure that **references** in the text are in the reference list and vice versa.

1981 An easy way to check this latter point is to print the reference list and then from the  
1982 beginning of the text to use the "FIND" command and type "**19**" and then "**20**". This will  
1983 locate all the references assuming you have cited correctly the source including the date.

1984 The reviewers appreciate the pressure put on academics to publish in order to maintain  
1985 their positions. This very pressure should, however, encourage authors to be more  
1986 rigorous in their presentation. If they evince a lack of interest in accuracy they should not  
1987 expect that increasingly frustrated referees, giving freely of their time and experience,  
1988 should contain their frustrations and make the paper accurate for them.

1989  
1990 **Proof reading of papers:**

1991 Each paper as it is edited is being made available as a provisional "url" which is  
1992 communicated to authors when the final version of their paper is ready in html format.  
1993 Authors can then check the paper for possible errors or last minute corrections and inform  
1994 the editors accordingly. Queries on the proofs made by the editors are indicated in "red"  
1995 (suggested rejection) or "blue" (suggested additions or changes).

- 1996 **Authors sending corrections to the proofs should send an email to the Chief Editor**  
1997 **in the following format:**
- 1998 data / text to be replaced should be written in "red" font
- 1999 new data / text should be written in "blue" font
- 2000 **Do not send a copy of the whole paper** as this would require the editors repeating the  
2001 whole process of conversion to HTML format, which can be quite time-consuming.
- 2002