

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL PROCESO DE OBTENCION DE
PELLETS DE BIOCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA
AVÍCOLA.

Autor

Diego Fernando Agredo Picón

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

Yesid Javier Rueda Ordóñez

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Faculta de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE
PELLETS DE BIOCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA
AVÍCOLA.

Autor

Diego Fernando Agredo Picón

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

Yesid Javier Rueda Ordóñez

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Faculta de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS	12
1.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA.....	13
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA POLLINAZA	13
2.2 VENTAJAS	13
2.3 CENIZA.....	15
2.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD.....	15
2.5 MATERIAL VOLÁTIL	16
2.6 CARBONO FIJO	17
2.7 PODER CALORIFICO DE LA POLLINAZA	17
2.8 CARACTERIZACIÓN DE LA POLLINAZA.....	19
2.9 PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	23
2.10 POTENCIAL ENERGÉTICO	25
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y CONDICIONES DE TRABAJO	26
3.1 PROCESO DE SECADO	26
3.2 PROCESO DE CARBONIZADO.....	27
3.3 ANÁLISIS REALIZADO.....	27
3.3.1 Análisis elemental	27
3.4 PROCESO DE PELETIZADO	33
3.5 RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	33
3.6 ELIMINACIÓN DE IMPUREZAS33	
3.7 SECADO LUEGO DE LA CARBONIZACIÓN	34
3.8 HOMOGENEIZADO	34

3.9 PELETIZADO.....	35
3.10 SEPARACIÓN DE FINOS	36
3.11 ENFRIAMIENTO	37
3.12 EMPAQUETADO Y ALMACENADO.....	37
3.13 EQUIPOS PARA LOS PROCESOS.....	38
4. PANORAMA AMBIENTAL	51
4.1 RESIDUOS PRODUCIDOS EN GRANJAS AVÍCOLAS.....	51
4.2 RESTRICCIONES DE USO COMO ALIMENTO.....	53
4.3 IMPACTOS AMBIENTALES DE LA POLLINAZA.....	53
4.4 IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y PELETIZACIÓN.....	55
5. ESTUDIO ECONÓMICO.....	56
5.1 TIPOS DE COSTOS DEL PROYECTO	56
5.1.1 Transporte marítimo	56
5.1.2 Transporte terrestre.....	57
5.1.3 Precio de materia prima.....	57
5.1.4 Gastos de operación.....	57
5.2 PRODUCCIÓN	59
5.3 AMORTIZACIÓN	59
6. CONCLUSIONES.....	61
7. BIBLIOGRAFÍA	62

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 1. Caracterización de la pollinaza en Santander y Cundinamarca.....	20
Cuadro 2. Valor Nutricional de la Pollinaza en Camas fabricadas en Cascara de Arroz.....	21
Cuadro 3. Pollinaza: valor nutricional en base seca	22
Cuadro 4. Resultados de los análisis.....	32
Cuadro 5. Tabla de Producción.....	40
Cuadro 6. Porcentaje de mortalidad en granjas.....	52
Cuadro 7. Gastos del proyecto	58
Cuadro 8. Produccion mensual y ganancias brutas.....	59
Cuadro 9. Amortiazacion del proyecto.....	59

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Porcentaje de participación de Santander en la producción nacional de pollos..	14
Figura 2. Pollinaza.....	28
Figura 3. Pollinaza homogenizada	28
Figura 4. Sulfanilamida	28
Figura 5. Balanza semi-microanalítica	29
Figura 6. Porta muestras (Tin boats)	30
Figura 7. Organizador de muestras	31
Figura 8. Analizador elemental.....	31
Figura 9. Peletizadora	36
Figura 10. Refinador	36
Figura 11. Enfriador	37
Figura 12-A. Planta peletizadora	39
Figura 12-B. Dosificador	41
Figura 12-C. Cargador	42
Figura 12-D. Enfriador	43
Figura 12-E. Kit humidificador	44
Figura 12-F. Peletizadora	45
Figura 12-G. Refinador.....	46
Figura 12-H. Tamiz vibratorio	47
Figura 12-I. Cinta transportadora	48
Figura 12-J. Estufa de carbonizado.....	49

GLOSARIO

Btu: unidad térmica británica

Ct: ceniza total

CNPML: El Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales

EXW: Ex Works

Gm: gramos de muestra

HHV: poder calorífico superior

HQ: high cube

Hum: humedad

Kcal: kilo calorías

Kg: kilogramo

Lb: libra

LHV: poder calorífico inferior

MJ: mega julio

NNP: nitrógeno no proteico

P_{cv}: peso crisol vacío

P_{ft}: peso final total

P_{ms}: peso masa seca

P_{mi}: peso masa inicial

P/p: porcentaje peso de soluto/peso de una solución

S_{vt}: solidos volátiles totales

Ton: tonelada

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PELLETS DE BIOCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA.

AUTOR: DIEGO FERNANDO AGREDO PICÓN

PALABRAS CLAVE: Pellets, Pollinaza, Carbonización

DESCRIPCIÓN:

La pollinaza cuenta como únicos sectores de venta su uso como abono al ser procesada con aserrín y comercializada como pollinaza compostada, o su otro uso es para el consumo del ganado. Una de las opciones para reducir el impacto ambiental de estas prácticas son los tratamientos térmicos, entre los cuales se puede contar la carbonización. Con la aplicación de esta práctica se vio la posibilidad de entrar en un sector como lo es la venta de carbón para uso comercial. El objetivo de este proyecto fue realizar conceptualmente el proceso de transformación de la pollinaza hasta llegar a la producción de pellets de carbón, calcular la rentabilidad económica y el impacto ambiental que generaría dicho proceso. Para esto, se recopiló información de diferentes estudios acerca de las características pertinentes de la materia prima como lo son porcentaje de ceniza, carbono fijo y poder calórico entre otros. También estudios acerca de efectos ambientales producidos por el uso de la pollinaza de manera descuidada. Por último, se realizaron unos cálculos para ver la viabilidad de una hipotética planta en donde se realizarán todos los procesos, utilizando como inversión los costos de producción, equipos, operarios, consumo energético, mantenimiento, materia prima y como ganancia la venta de los pellets.

*Tesis de grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordóñez. Doctor en ingeniería química.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL-ECONOMIC EVALUATION OF THE PROCESS OF OBTAINING BIOCHARCOAL PELLETS FROM WASTE FROM THE POULTRY INDUSTRY.

AUTHOR: DIEGO FERNANDO AGREDO PICÓN

KEY WORDS: Pellets, Chicken manure, Carbonization

DESCRIPTION:

Chicken manure have as the only sales sector its use as fertilizer when it is processed with sawdust and sold as composted chicken manure, or its other use is for livestock consumption. One of the options to reduce the environmental impact of these practices are thermal treatments, among which carbonization can be counted. With the application of this practice, the possibility of venturing into a sector such as the sale of coal for commercial use was seen. The objective of this project was to conceptually carry out the chicken manure transformation process until reaching the production of coal pellets, calculate the economic profitability and the environmental impact that this process would generate. For this, information was collected from different studies on the relevant characteristics of the raw material, such as the percentage of ash, fixed carbon and caloric value, among others. Also studies on the environmental effects produced by the careless use of chicken manure. Finally, some calculations were made to see the viability of a hypothetical plant where all the processes will be carried out, using production costs, equipment, operators, energy consumption, maintenance, raw material as an investment, and the sale of pellets as a profit.

*Thesis

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Javier Rueda Ordóñez. Doctor en ingeniería química.

INTRODUCCIÓN

Un gran sector económico de Santander es la industria avícola la cual es generadora de muchos puestos de trabajo en el sector rural, sin embargo, la parte del tratamiento y aprovechamiento de los desechos que esta produce no se ha renovado a través de su historia.

Esta industria no dispone de las tecnologías ni los conocimientos necesarios para realizar estos procesos de transformación de residuos orgánicos. Tampoco se cuenta en el país con empresas que se dediquen a estas prácticas lo que conlleva como consecuencia directa la falta de desarrollo tecnológico en los procesos de carbonización y peletización de biocarbón, de igual modo, hace que se incremente el costo de los equipos necesarios para realizar estos procesos debido a que su adquisición se debe hacer por medio de empresas extranjeras agregando un alto valor por la importación de los equipos.

Hasta hace unas décadas este subproducto de la industria de las aves de corral se consideraba únicamente como un desecho, el cual era enterrado bajo tierra, ya que no se tenía conocimiento de sus propiedades como abono hasta ver como los cultivos plantados sobre estos desperdicios veían reducidos su tiempo de reproducción, luego se implementó también como complemento en la dieta del ganado algo poco recomendable debido a que genera riesgos sanitarios tanto para los animales como para las personas.

La cantidad diaria de pollinaza producida por un pollo sabiendo que depende de la alimentación, la salud de ave entre otros es en promedio de 100 g, llegando a producirse más de 10000 toneladas diarias de pollinaza en Colombia y sabiendo que 1 de cada 4 pollos son producidos en Santander se puede ver que la industria local cuanta con una gran producción de pollinaza diaria que podría estar dando al sector una mayor rentabilidad.

En Colombia hay alrededor de 3000 granjas avícolas de tipo comercial, de las cuales unas 1900 se dedican al engorde de pollo, datos tomados del primer censo

avícola industrial publicado en la plataforma de información digital ENCOLOMBIA¹, datos que fueron recopilados en un esfuerzo conjunto entre Fenavi-Fonav, el ministerio de agricultura y el Dane.

¹ El Primero Censo Avícola Industrial. [en Línea]. encolombia.com. [Recuperado 28 de abril de 2022] de <https://encolombia.com/veterinaria/publi/fenavi/f93/fenavi9303actualidad/#:%7E:text=En%20Colombia%20hay%202.996%20granjas,9.441%2C%2017.410%20y%203.806%20galp ones>

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar el proceso para la obtención de pellets de biocarbón usando como materia prima la pollinaza y calcular los beneficios económico-ambientales.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físico-químicas, humedad, peso específico, carbono fijo, granulometría, composición química y poder energético de la materia prima a procesar para obtener pellets de una calidad aceptable para la comercialización.
- Identificar los procesos y condiciones de trabajo que mejoren las cualidades mecánicas, térmicas y químicas de la pollinaza para el proceso de carbonización y paletizado de 100 kg/h de pollinaza.
- Comparar el impacto ambiental de la pollinaza al ser utilizada como abono y alimento de ganado y el impacto los procesos para obtener los pellets de biocarbón en un periodo de 4 meses.
- Calcular el beneficio económico mensual de la producción de pellets y el tiempo de amortización del proyecto

2. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA POLLINAZA

La pollinaza según INIFAP² es la mezcla de las deyecciones de las aves en este caso las destinadas a engorde junto con otros desperdicios presentes en los galpones, es un subproducto pecuario que ha sido utilizado en la preparación de alimento para bovinos, ovinos y caprinos, empleado en esta situación por su alto contenido de proteína, también cumple las funciones de fertilizante debido a sus minerales beneficiosos para tratar con tierras gastadas por el intensivo uso como tierras de cultivo, ayudando a las propiedades de la tierra por su contenido de nitrógeno.

2.2 VENTAJAS

La pollinaza es un recurso económico y bastante abundante el uso de esta materia prima como un subproducto de la industria avícola se ha extendido en los últimos años, a nivel departamental se cuenta con un 25% de la producción avícola a nivel nacional De acuerdo con Marta Ruth Velázquez Quintero, directora ejecutiva de la Federación Nacional de Avicultores, el último censo de aves realizado en 2019, determinó que el número de aves presentes en el departamento es de 47.1 millones.

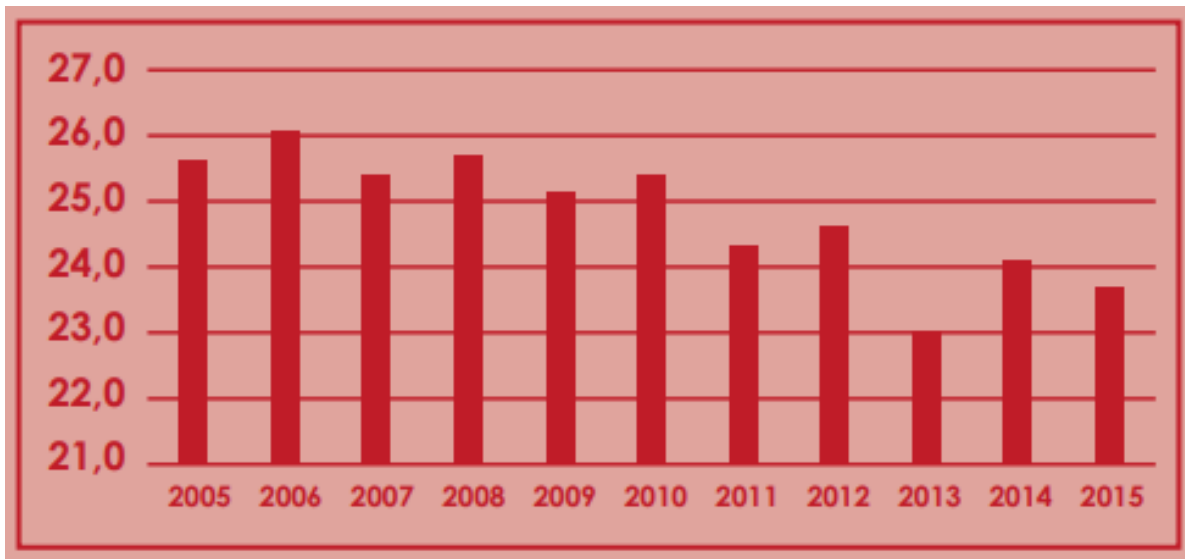
Los datos de la región dan un número de aves por categoría de:

- 28'520.419 aves de engorde
- 15'862.991 aves de postura
- 2'804.326 aves reproductora

² INIFAP., Uso de la pollinaza y gallinaza en la alimentación de rumiantes. Desplegable para productores No 32, 2007.

La Figura 1 publicada por FENAVI muestra cuanto es el porcentaje de producción anual de aves de corral de Santander en relación al total de producción del país.

Figura 1. Porcentaje de participación de Santander en la producción nacional de pollos



Fuente: FENAVI - Federación Nacional de Avicultores de Colombia. [en línea]. CARACTERIZACIÓN ECONÓMICA DEL SECTOR AVÍCOLA EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. Santander. 2016. (Recuperado en 29 de enero 2022.) disponible en http://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/CARACTERIZACION_SANTANDER_2016.pdf

Con los datos de la Figura 1 se comprende que la producción de pollos de engorde en Santander no fluctuar mucho de año a año lo cual nos garantiza una producción estable de pollinaza.

La venta de pollinaza se realiza principalmente de manera directa con los propietarios de los galpones, mediante consulta telefónica a más de diez vendedores, se llegó a un valor promedio de venta, el cual ronda los 6.000 COP\$ por bulto de 50 kg.

2.3 CENIZA

La definición para ceniza es el producto obtenido luego de la combustión de un material, este residuo está conformado por sustancias inorgánicas no combustibles y parte de estas son expulsadas al aire en forma de humo y la otra parte quedan en forma de polvo en el lugar de la combustión. Para el carbón el porcentaje de ceniza está entre el 3% y el 28%

Para el cálculo de porcentaje de ceniza en un material se emplea la ecuación 1 en donde: P_{ft} : es peso final total, Ct : ceniza total, P_{cv} : peso crisol vacío, Gm : gramos de muestra.

$$\%Ct = \frac{P_{ft} - P_{cv}}{gm} * 100 \quad (1)$$

Para la preparación de las muestras a analizar se deben seguir los lineamientos descritos por las normas. Ya sea el método (ASTM D2013) o la practica (ASTM D346).

La norma (ASTM D3174-12) cubre la determinación del residuo inorgánico como ceniza en la muestra de carbón o coque.

2.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD

Se define como el porcentaje de agua presente en un cuerpo o del vapor de agua presente en la atmosfera, el agua está presente en mayor o menor medida en todos los cuerpos vivos.

La humedad presente en las materias primas tiene afectación directa muy importante en la cálida de los productos, durabilidad, tiempo de conservación. Por

lo que es un parámetro clave en muchas industrias como, farmacéutica, química, etc.

Para calcular de manera experimental el porcentaje de humedad en una materia prima se hace uso de un horno capaz de evaporar la humedad y se comparan los pesos de la muestra antes y después del secado, el porcentaje de humedad se calcula mediante la fórmula 2 en la cual: hum: humedad, P_{ms} : peso masa seca, P_{mi} : peso masa inicial, P_{cv} : peso crisol vacío.

$$\%hum = \frac{(P_{mi} - P_{cv}) - (P_{ms} - P_{cv})}{(P_{mi} - P_{cv})} * 100 \quad (2)$$

Para la obtención de este porcentaje, se deben seguir los parámetros descritos en la norma (ASTM D3173)

2.5 MATERIAL VOLÁTIL

Es toda sustancia la cual en condiciones adecuadas tiende a ser vaporizado exceptuando el vapor de agua, para medir la volatilidad de una sustancia se hace mediante su presión de vapor, este valor a diferencia del punto de ebullición o temperatura no está relacionado con el calor sino con la presión a la que se encuentra sometida la sustancia, uno de usos principales a nivel industrial es determinar las propiedades del carbón.

La ecuación 3 se emplea para calcular los sólidos totales volátiles, donde: S_{vt} : sólidos volátiles totales, P_{ft} : peso final total, P_{ms} : peso masa seca y P_{cv} : peso crisol vacío

$$M_{vt} = (P_{ms} - P_{cv}) - (P_{ft} + P_{cv}) \quad (3)$$

Teniendo la cantidad total de materia volátil si se requiere conocer el porcentaje se utiliza la ecuación 4, agregando a la ecuación gm: gramos de muestra y multiplicándola por una constante igual a 100.

$$\%M_{vt} = \frac{(P_{ms}-P_{cv})-(P_{ft}+P_{cv})}{gm} * 100 \quad (4)$$

La materia volátil se puede usar para establecer el rango de los carbones, para indicar el rendimiento de coque en el proceso de carbonización, para proporcionar la base para la compra y venta, o para establecer las características de combustión. Esto mediante la norma (ASTM D3175-20)

2.6 CARBONO FIJO

El carbono fijo es el carbono elemental C, valor calculado obtenido al restar de cien la suma de los porcentajes de humedad, cenizas y materias volátiles, todas estando en la misma base de referencia Ministerio de Minas y Energía Colombia³. Con la ecuación 5 se puede obtener este porcentaje, siendo: C_f: carbono fijo, C_t: ceniza total, hum: humedad

$$\%C_f = 100 - \%C_t - \%Hum - \%M_{vt} \quad (5)$$

La obtención del carbono fijo se hace mediante métodos de prueba descritos en la norma (ASTM D5142-02).

2.7 PODER CALORIFICO DE LA POLLINAZA

Por definición el poder calorífico de cualquier combustible es la energía que es capaz de liberar dicho combustible por unidad de masa o volumen cuando este es quemado en su totalidad, sus unidades representativas son MJ/kg en el SI y en el sistema ingles son Btu/lb.

³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA COLOMBIANA. Glosario. Cundinamarca: Ministerio de Minas y Energía. 1995. p. 5.

Se tienen presentes dos poderes caloríficos el superior y el inferior.

Poder calorífico superior o por sus siglas en inglés HHV, (Higher Heating Value), su definición es, la cantidad de calor total, asumiendo que todos elementos de combustión son tomados a 0 °C y los productos o gases de combustión se llevan también a 0 °C después de la combustión, condiciones para la cual el vapor de agua que se encuentra en la reacción es condensada, estos vapores provenientes de la humedad propia del combustible y del agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible (Fernández, J.F. s.f.), con estas condiciones se está incluyendo el aporte de los calores sensible y latente en el valor total del poder calorífico.

Poder calorífico inferior o por sus siglas en inglés LHV (Lower Heating Value), este poder calorífico considera que las condiciones en las cuales el agua se encuentra luego de la combustión la mantienen como vapor de agua, por lo cual no se tiene en cuenta su calor latente no se incluye para el cálculo del poder calorífico final, solo teniendo como aporte el calor de la oxidación del combustible (Fernández, J.F. s.f.)

A mayor contenido de humedad dentro de una muestra, se va a presentar una mayor diferencia entre HHV y LHV debido al calor latente presente solo en el primero de ellos. Al ser indicadores del contenido de energía presente se vuelven parámetros muy importantes a la hora de evaluar materiales combustibles como el carbón y conoce que la humedad y la ceniza afectan de manera negativa al poder calorífico.

Para analizar el carbón la obtención experimental del poder calorífico de este se puede realizar de dos métodos

Método adiabático (ASTM D2105)

Método isotérmico (ASTM D3286), mediante una bomba calorimétrica

2.8 CARACTERIZACION DE LA POLLINAZA

La pollinaza cuenta entre su composición con minerales como el zinc, calcio, fósforo y hierro, también tiene presencia de nitrógeno y un alto contenido de cenizas, muy alto contenido de materia orgánica, sin embargo las características mostradas anteriormente y muchas otras como carbono fijo, porcentaje de humedad entre otras varían dependiendo de diferentes factores, como la alimentación de las aves, las camas, la ubicación de las granjas, uno muy importante es la población de aves por metro cuadrado y muchos otros factores.

Según García⁴. Minerales con más presencia: fósforo, sodio, cobre, calcio, manganeso, magnesio, potasio, zinc, hierro en algunas ocasiones arsénico y cadmio.

La FAO⁵ describe la composición de la pollinaza en los siguientes porcentajes

- 62% heces
- 31% camada
- 3% alimentos desperdiciados
- 2% plumas
- 2% materiales extraños

En la Cuadro 1. Se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de los residuos avícolas en los departamentos de Santander y Cundinamarca publicados en la Revista ION, bajo el título “Aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector avícola”.

⁴ GARCÍA, Y; LON, E y ORTÍZ, A. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Los Avicultores y su Entorno. Cuba. 2007.

⁵ FAO. Feed from Animal Wastes: State of knowledge, FAO. Animal Production and Health, Paper 18. Roma, Italy, 1980.

Cuadro 1. Caracterización de la pollinaza en Santander y Cundinamarca

Parámetros	Caracterización de la pollinaza	
	Cundinamarca	Santander
% Humedad	29.423	18.430
% Materia seca	70.578	81.570
% Sólidos totales	70.578	81.570
% Cenizas	13.818	16.925
% Sólidos volátiles	56.760	64.645
% Material volátil	57.495	66.400
% Materia orgánica	60.338	62.715
% C orgánico total	35.000	36.378
% N base húmeda	2.095	3.255
% N base seca	2.968	3.990
% Proteína seca	13.093	20.345
% Proteína húmeda	18.553	24.945
% C/N	11.805	9.118
% H	4.023	4.183
% S	0.191	0.355
% Hemicelulosa	11.076	14.106
% Celulosa	49.113	32.139
% Lignina	41.733	42.084
Densidad (g/cm ³)	0.480	0.450
PCI (TJ/kg)	1.59E-05	1.58E-05

Fuente: Oferta energética de la biomasa residual en Colombia. ESCALANTE, 2008

Del estudio de Meyreles y Preston⁶ 1982, se analizaron muestras tomadas en granjas de todo el país de República Dominicana y se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valor Nutricional de la Pollinaza en Camas fabricadas en Cascara de Arroz

Componente	%
Proteína cruda	31.1
Fibra cruda	16.8
Ceniza	15.0
Calcio	2.4
Fósforo	18.0

Fuente: Meyreles y Preston, 1982.

El sitio avícola⁷ (2011), presenta el Cuadro 3. Realizada por F.J. Delgado, (2009) del valor de la pollinaza en base seca, estudio realizado en México

⁶ MEYRELES, L. y PRESTON, R.T. Gallinaza para Bovinos: efecto de diferentes suplementaciones. Producción Animal Tropical 7, 1982. p. 65-69.

⁷ Pollinaza: recurso nutricional y amenaza sanitaria. El sitio Avícola. [en Línea]. 2011, 31 mayo [Recuperado el 26 de mayo de 2022]. de <https://www.elsitioavicola.com/articulos/1952/pollinaza-recurso-nutricional-y-amenaza-sanitaria/>.

Cuadro 3. Pollinaza: valor nutricional en base seca

Proteína Bruta	31.3%
Proteína Verdadera	26.7%
Proteína Digestible	23.3%
Perfil Aminoácidos:	
• Arginina	0.430%
• Lisina	0.400%
• Metionina	0.129%
• Met + Cis	0.270%
• Triptofano	0.529%
• Treonina	0.349%
• Histidina	0.200%
• Leucina	0.649%
• Isoleucina	0.360%
• Fenil alanina	0.490%
• Fena + Tirosina	0.750%
• Gli + Serina	2.000%
• Valina	0.500%
Fibra Cruda	19.0%
Grasa Cruda	2.0%
Cenizas	15.0%
Calcio	2.5%
Fósforo Total	1.6%
Fósforo Disponible	1.0%
Hierro	451 ppm
Cobre	225 ppm
Zinc	235 ppm

Fuente: Comunicación personal F.J. Delgado, 2009

Estos dos estudios son importantes para conocer las características de la pollinaza debido a que usando una herramienta de comparación de características ambientales de países encontrada en <https://www.datosmundial.com/> se conoció que Colombia comparte detalles climáticos con México y República Dominicana muy similares como lo son, temperatura de día y noche, temperatura del agua, humedad relativa, días de lluvia y horas del sol al día. Siendo estos de los principales factores que afectan las características de la pollinaza.

El otro factor es la composición de las camas para las aves, siendo las principales, cascarilla de arroz, viruta o aserrín, paja molida, cascarilla de grano de café, desechos de avena, trigo y sorgo molida, materiales los cuales son malos absorbentes, difícil liberación de humedad, pero a efectos prácticos cuentan con características similares.

En el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia⁸, un estudio realizado por Colciencias en colaboración con la universidad industrial de Santander se presenta una descripción detallada de las características de la pollinaza, características pertinentes a resaltar

- Porcentaje de humedad entre el 18,43% y el 29,42%
- Poder Calórico inferior (LHV) de 3.245 kcal/kg
- Alto contenido de volátiles
- Azufre: 0,23% p/p
- Nitrógeno: 2,9% p/p
- Relación C/N entre 9,12% y 13,04% p/p

2.9 PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA

Los volúmenes de materia producida García⁹, 2007

- 200g a 300g de materia seca por kg de alimento
- 700g a 800g de materia seca por pollo producido
- 550g de materia seca por kg de pollo
- 9.6 ton por 1000kg de carne

⁸ ESCALANTE HERNÁNDEZ, Humberto, *et al.* Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Colombia. 2010.

⁹ GARCÍA, Y; LON, E y ORTÍZ, A. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Los Avicultores y su Entorno. Cuba. 2007.

Anon¹⁰ planteo una relación de 0.2 kg a 0.3 kg de materia seca de excretas por kg de comida. Ensminger¹¹ por su parte señaló, por cada 1000 lb de peso vivo se producen 4.5 toneladas de excretas.

Según FENAVI¹² información estimada en promedio, un pollo de engorde produce en su ciclo de vida 2,4 Kg de pollinaza, y una gallina ponedora alcanza los 13,5 Kg de gallinaza. El ciclo de vida de un pollo de ceba es de 6 semanas mientras el de las gallinas ponedoras es de 75 a 80 semanas.

Las muestras de pollinaza Figura 2, fueron obtenidas de una granja avícola ubicada en la localidad de la Mesa de los santos (Colombia), en donde las camas estaban fabricadas con cáscara de arroz, aserrín y desechos molidos.

Figura 2. Pollinaza



¹⁰ Anon. La gallinaza. ¿Un problema o un recurso económico? Revista Selecciones Avícolas. España, mayo 2000. p. 265.

¹¹ ENSMINGER, M.E. Management. Section 8. En The Stockman's Handbook. Seventh Edition. Interstate Publishers, Inc. Danville, Illinois. 1992. p. 515.

¹² FENAVI. Estabilizador de suelo a partir de gallinaza/pollinaza. Publicaciones programa ambiental. Mayo, 2018, p. 6.

2.10 POTENCIAL ENERGÉTICO

Se define como la transformación del poder calorífico inferior a energía aprovechable. Souza¹³ plantea un modelo matemático por el cual se puede determinar el PE de la pollinaza, este modelo es válido para biomásas con porcentajes de humedad menores al 60%, el PE de la pollinaza calculado mediante este modelo matemático está en función de la materia seca (MS) y el poder calorífico inferior del residuo (LHV) se representa en la ecuación 6

$$PE = MS * LHV \quad (6)$$

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y CONDICIONES DE TRABAJO

3.1 PROCESO DE SECADO

Como primer paso se realiza un proceso de secado para eliminar la humedad dejando vaporizar el agua que contiene la materia prima para esto se deja en un lugar seco durante un par de días mientras el sol quita la mayor humedad posible, por estudios realizados en el departamento se conoce que la pollinaza de la región cuenta con un aproximado del 20% humedad

Con estos datos se puede determinar en primera instancia un aproximado de cuanta materia prima se debe utilizar para producir una cantidad determinada de carbón para la peletización con la ecuación 7.

$$P_{ms} = P_{mi} * \frac{100\% - \%hum}{100} \quad (7)$$

Luego por regla de tres al tener la relación de materia seca y materia prima se puede extrapolar para saber cuánta materia prima se necesita para producir 100kg de materia seca, la cual es aproximadamente 125kg de pollinaza

¹³ SOUZA, SAMUEL N.M.; SORDI, ALEXANDREOLIVEIRA; FRANCISCO H (2000). Distribuição geográfica do potencial enerético dos residuos da avicultura de corte na região oeste do Paraná– 4º Encontro de Energia No Meio Rural, Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE.

3.2 PROCESO DE CARBONIZADO

Es la transformación de una sustancia orgánica en carbón, para esto se usa una estufa de carbonizado la cual se calentará a una temperatura de 400 °C alrededor de 4 horas luego de esto se apaga la mufla y se deja enfriar hasta que alcance una temperatura alrededor de 100 °C y se retira la materia prima ya carbonizada y se dejará enfriar al aire hasta la temperatura ambiente, para posteriormente ser trasladada a la zona de paletizado.

3.3 ANÁLISIS REALIZADO

3.3.1 Análisis elemental

El Análisis Químico Elemental (AQE) o microanálisis, tiene como base la oxidación total de la muestra mediante una combustión instantánea y completa. Los productos de la combustión: CO₂, H₂O, N₂ y SO₂, son arrastrados por un gas portador (He) hasta sensores individuales y selectivos de dichos productos por celdas de infrarrojos. Donde estos sensores se encargan de una medición tanto rápida como libre de interferencias al instante que se produce la combustión. Posteriormente, los gases son eliminados para medir el nitrógeno por termo conductividad diferencial, los resultados de esta prueba se muestran en el Cuadro 4.

El proceso experimental en el laboratorio empieza con determinar la cantidad de muestra en cada análisis para calibrar el equipo, estas muestras deben estar previamente homogeneizadas Figura 3, ya que dependiendo de esto a mayor peso de la muestra el analizador deberá trabajar con un mayor caudal de aire para asegurar la total combustión, en este caso se hicieron pruebas para 10 mg de sustancia con una duración de 120 s cada una.

Teniendo las condiciones de trabajo se procede a pesar las muestras. Se realiza el pesaje de dos elementos uno es la materia prima del proyecto y el otro es de sulfanilamida Figura 4, el cual se usa como patrón para saber si el equipo está correctamente calibrado y está arrojando los valores correctos.

Figura 3. Pollinaza homogenizada



Fuente: autoría propia

Figura 4. Sulfanilamida



Fuente: autoría propia

El peso de las muestras se hace a través de una balanza semi-microanalítica Figura 5, del laboratorio de la escuela de química de la UIS, la que tiene un doble rango y para su rango menor cuenta con una sensibilidad de 0.01 mg, primero se debe pesar el porta muestra Figura 6, que en este caso son pequeños botes de estaño y cuadrar la balanza de nuevo en cero, luego se realizan otras dos medidas una con la muestra dentro del bote sin cerrar para poder quitar o agregar el elemento en caso de exceso o falta respectivamente y una segunda medida con el bote cerrado y compactado para asegurar que no hubo pérdidas significativas durante su manipulación y que cumple con los parámetros del analizador.

Figura 5. Balanza semi-microanalítica



Fuente: autoría propia

Figura 6. Porta muestras (Tin boats)



Fuente: autoría propia

Luego de tener las muestras correctamente selladas y organizadas en un estuche Figura 7, se pasa a encender el analizador Figura 8, el cual es de la marca Elementar una empresa multinacional alemana fabricante de analizadores elementales y espectrómetros de masas de relaciones isotrópicas fundada en el 1897.

Se inicia por dejar la máquina trabajando en blanco durante cinco ciclos para descartar cualquier contaminación de un gas dentro de la recámara por algún problema de filtración en el equipo, luego se colocan las muestras en unas ranuras en la parte superior del analizador en orden, este equipo tiene una capacidad de hasta 80 muestras, las primeras cinco muestras son de sulfanilamida desde el espacio 6 hasta el 10 y al ser un elemento del cual se conocen los valores que debe arrojar el equipo se puede corroborar si este está trabajando de manera adecuada, luego las tres muestras correspondientes a la pollinaza previamente homogeneizada se colocan desde el espacio 11 al 13 y se deja que el equipo continúe su proceso.

Figura 7. Organizador de muestras



Fuente: autoría propia

Figura 8. Analizador elemental



Fuente: autoría propia

Cuadro 4. Resultados de los análisis

N.Âº	Peso [mg]	Nombre	MÃ©todo	N Ã©lea	C Ã©lea	H Ã©lea	S Ã©lea	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	Info	Fecha Hora
1	1	Blk	Blank with O	0	5363	28085	18	0	0	0	0	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 10:36
2	1	Blk	Blank with O	1	124	380	13	0	0	0	0	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 10:57
3	1	Blk	Blank with O	14	124	262	15	0	0	0	0	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 11:11
4	1	Blk	ank without	33	153	192	30	0	0	0	0	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 11:20
5	1	Blk	ank without	11	143	224	29	0	0	0	0	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 11:30
6	5,81	sulfanilamide	10mg120s	33453	62073	23566	7999	16,25	41,81	4,65	18,62	1,0665	1,0376	1,0501	1,6161		22/02/2004 11:40
7	5,03	sulfanilamide	10mg120s	28521	52986	20112	7460	16,25	41,81	4,65	18,62	1,0835	1,0552	1,044	1,5		22/02/2004 11:49
8	5,8	sulfanilamide	10mg120s	33884	62693	24249	9004	16,25	41,81	4,65	18,62	1,051	1,0253	1,0188	1,4336		22/02/2004 12:00
9	6,04	sulfanilamide	10mg120s	34770	64257	25096	9075	16,25	41,81	4,65	18,62	1,0665	1,0411	1,0254	1,4812		22/02/2004 12:10
10	5,55	sulfanilamide	10mg120s	32253	60342	23153	8367	16,25	41,81	4,65	18,62	1,0568	1,0202	1,0209	1,476		22/02/2004 12:20
11	5,57	pollinaza1	10mg120s	3981	34571	17167	473	2,05	24,12	3,551	1,026	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 12:29
12	5,87	pollinaza2	10mg120s	4377	37013	20368	511	2,13	24,51	3,988	1,053	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		22/02/2004 12:39
13	5,36	pollinaza3	10mg120s	3929	33971	18123	451	2,1	24,63	3,89	1,017	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014	Su	22/02/2004 12:48
14	0			0	0	0	0	0	0	0	0	1,0649	1,0359	1,0318	1,5014		

Fuente: autoría propia

3.4 PROCESO DE PELETIZADO

Las etapas por las que pasa la mayoría de las materias primas que son implementadas para la generación de pellets son las siguientes.

- Recepción de la materia prima
- Eliminación impurezas
- Secado
- Homogeneizado
- Peletizado
- Separación de finos
- Enfriamiento
- Empaquetado y almacenado

3.5 RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La recepción se hace comúnmente en canchas de acopio o tanques de almacenamiento utilizados exclusivamente con este propósito, estos podrían estar conectados a las salidas de los reactores encargados de carbonizar la materia prima.

3.6 ELIMINACIÓN DE IMPUREZAS

Para asegurar que la materia prima esté libre de impurezas se hace una preparación de la fibra para eliminar cualquier tipo de contaminante como vidrios, metales, rocas y desechos no deseados en general, se debe prestar sumo cuidado en este proceso, ya que la mala práctica puede llevar a la avería de los equipos por dichos desechos, teniendo como principal los daños en los rodillos de presión, además conlleva al aumento de cenizas cuando se realiza la combustión.

3.7 SECADO LUEGO DE LA CARBONIZACIÓN

Según Alakangas¹⁴. Estudios realizados, para un peletizado exitoso el porcentaje de humedad presente en la materia prima no debe superar el 12%, El proceso de secado más empleado en la industria es el secado por tambor rotatorio, el cual utiliza un flujo continuo de aire caliente para el secado de la materia en su interior mientras la rotación asegura una temperatura uniforme en todo el material.

3.8 HOMOGENEIZADO

Este proceso tiene como fin homogeneizar y disminuir el tamaño de grano de la materia prima previamente secada, esta etapa se realiza en las plantas mediante martillos de triturado, al encender el motor el martillo empieza a girar sobre su eje mientras se calienta, con lo que extrae la humedad remanente que tenga la materia prima, paralelamente va triturando la materia prima hasta llevarla volverla más fina y homogénea, como resultado se espera después de este proceso una materia homogénea con una granulometría alrededor de 1 mm.

Malisius¹⁵, equipos utilizados para esta operación tiene un consumo de energía de 1kW/ton.

¹⁴ ALAKANGAS, Eija Y PAJU, Paavo. "Wood pellets in Finland, technology economy and market". OPET Report 5, Technical Research Center of Finland, 2002.

¹⁵ MALISIUS, U. et al."Wood Pellets in Europe". Industrial Network on Wood Pellets, Thermie B Project Dis/2043/98-AT, Coordinado por UMBERA GmbH, St.Polten, Austria, 2000.

3.9 PELETIZADO

Luego de tener nuestra materia prima sin rastros de contaminantes perjudiciales para los equipos y producto final, llevar esta materia a una humedad aceptable no mayor a 12% se lleva por medio de un sistema de alimentación automático, antes de llegar al área de peletizado la materia pasa por unos filtros para separar las partículas de acuerdo a su tamaño, posterior a esto llega a la peletizadora Figura 9. En la cual se dosifica la cantidad de materia que entra mediante la mesa dosificadora, la cual garantiza un flujo constante de materia para la peletización.

Cabe aclarar que las partículas de materia prima no aptas para ser peletizadas regresan a la sección de triturado para conseguir un tamaño de grano adecuado.

Al ingresar en la peletizadora se emplean vapor para acondicionar la materia y el cual cumple con la función de lubricante en este proceso.

El material entrado en la peletizadora, es sometido a una carga constante proporcionada por los rodillos, esta carga la define cada equipo, pero siempre siguiendo un estándar de longitud para el pellet, esta presión compacta el biocarbón y lo empuja a través de una placa con perforaciones cumpliendo con la función de una matriz de extrusión, mientras el material va saliendo de manera constante unas cuchillas ajustables van cortando los pellets con una longitud aproximada de 6 mm dando a los pellets su característica forma y longitud.

Malisius¹⁶. Para un proceso típico de peletizado la energía que se consume por tonelada de material procesado, es alrededor de 60 kW.

¹⁶ Malisius, U. et al. "Wood Pellets in Europe". Industrial Network on Wood Pellets, Thermie B Project Dis/2043/98-AT, Coordinado por UMBERA GmbH, St.Polten, Austria (2000).

Figura 9. Peletizadora



Fuente: ExpoBiomasa <https://www.expobiomasa.com/fabricar-pellets-biocombustibles/plantas-granuladoras-para-madera>

3.10 SEPARACIÓN DE FINOS

Para evitar una contaminación en el empaquetado se realiza una separación de partículas residuales que puedan haber quedado después del proceso de peletizado mediante un refinador Figura 10 para luego ser reingresados al proceso nuevamente.

Figura 10. Refinador



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

3.11 ENFRIAMIENTO

Este proceso aun siendo posterior a transformar la materia prima en pellets es muy importante, esto se debe a que a lo largo de todos los procesos a los que es sometido la materia prima está constantemente expuesta a altas temperaturas y es un descanso para el nuevo producto formado que se acentúe y pueda mantener la forma deseada, este proceso consta de una recámara vertical Figura 11. En donde los pellets son enfriados por convección forzada mediante unos flujos de aire a contracorriente a temperatura ambiente producidos por unos ventiladores ubicados en el interior del enfriador.

Figura 11. Enfriador



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

3.12 EMPAQUETADO Y ALMACENADO

El empaquetado de los pellets depende únicamente de la presentación o presentaciones en las cuales se piensa comercializar, y se almacena en lugares frescos y con baja humedad para conservar sus propiedades.

3.13 EQUIPOS PARA LOS PROCESOS

Los equipos que se utilizaron como referencia para el estudio del proyecto, están agrupados, es un grupo de figuras las cuales van desde la Figura 12-A hasta la Figura 12-J.

Como alternativa para el cálculo de la inversión en el proceso de peletizado, se optó por contactar vía correo electrónico con Asian Machinery USA inc. empresa registrada en 1993. Una empresa con 29 años de experiencia que también cuenta con un apartado de equipos y plantas de peletizado. La planta por la que se decantó fue MODELO: VMJ130A125A BASICA con un coste de 39.000 US\$ al cambio unos 157,000.000 COP\$ aproximadamente, encontrando un amplio rango de precios tanto en empresas como Metalteco y Ecofricalio como en páginas de venta online, en este caso alibaba y Made-in-China, teniendo esta empresa unos muy buenos precios en los equipos necesarios para realizar el proceso.

Se presenta la alternativa a la planta de pellets escogida con sus partes, una breve descripción y características, una de las características más importantes para el posterior cálculo de costos y beneficios es el consumo eléctrico. También la empresa proporciona el Cuadro 5. La cual da una aproximación de la producción diaria, mensual y anual que puede realizar el equipo dependiendo de los turnos de trabajo.

Figura 12-A. Planta Peletizadora



Fuente: Asian Machinery USA

Componentes

PRIMER EXTRUSOR:

DIAMETRO DEL TORNILLO:	130 MM
LARGO DEL TORNILLO:	2600 MM
CAJA REDUCTORA:	#550
TIPO VENTILADO:	ESCAPE SINGULAR
MOTOR PRINCIPAL:	45KW#4 POLARIZACION CON INVERSOR "DELTA"
ZONAS TEMPERATURA EN BARRIL:	7
MALLA FILTRADORA TIPO:	HIDRAULICA DOBLE ESTACION
MALLA DE FILTRO:	300 MM X 300 MM
MATERIAL DEL TORNILLO:	HIGH-QUALITY NITRIDE STEEL 38CRMOALA. NITRIDE HARDNESS IS HV800-900. NITRIDING DEPTH IS 0.4-0.7MM

SEGUNDO EXTRUSOR:

DIAMETRO DEL TORNILLO:	125 MM
LARGO DEL TORNILLO:	1600 MM
CAJA REDUCTORA:	#200
TIPO VENTILADO:	ESCAPE SINGULAR
MOTOR PRINCIPAL:	15KW #4 POLARIZACION CON INVERSOR "DELTA"

ZONAS TEMPERATURA EN BARRIL: 4
 MALLA FILTRADORA TIPO: HIDRAULICA DOBLE ESTACION
 MALLA DE FILTRO: 300 MM X 300 MM
 TANQUE DE ENFRIAMIENTO: 2.5MT LARGO DE ACERO INOXIDABLE CON GUIADORES
 PICADOR PELETIZADOR 5.5KW CON INVERSOR "ALPHA"
 #24 CUCHILLAS CORTA GRANULADO
 PANEL DE CONTROL INDEPENDIENTE:SI
 TOLVA CON SISTEMA DE PRESION 3KW CON INVERSOR "ALPHA"
 SECADOR: 900W

Características

- Accionamiento con energía eléctrica trifásica 400V – 50Hz
- Potencia instalada: 69.4 kW
- Producción horaria: 200kg – 250kg.
- Diámetro del pellet: 6mm.
- Se adapta a diversos materiales y requisitos de calidad
- Dimensiones (LxWxH): 12 x 6 x 3'5m
- Disponibilidad de amplio rango de matrices para diversos materiales

Cuadro 5. Tabla de Producción

PTL 400	Hora	Dia	Mes	Año
1 turno	200 kg	1.600 kg	40 Tm	480 Tm
2 turnos	200 kg	3.200 kg	80 Tm	960 Tm
3 turnos	200 kg	4.800 kg	120 Tm	1440 Tm

Fuente: Asian Machinery USA

Figura 12-B. Dosificador



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

Aporta el aglomerante que se necesita en cada momento de la producción

El cargador es un equipo que cuenta con un fácil acoplamiento en cualquiera de las configuraciones industriales como suministrador de almidón al inicio del proceso.

La cantidad de material entregado por el dosificador, se obtiene gracias a su sinfín y al sistema inverter que se encargan de regular la velocidad, dependiendo de los requisitos necesitados en cada momento.

Características.

- Alimentación eléctrica monofásica 220V – 50Hz
- Volumen máx.: 0,25m³
- Dimensiones (cm): 150 x 90 x 190
- Peso (kg): 85

Figura 12-C. Cargador



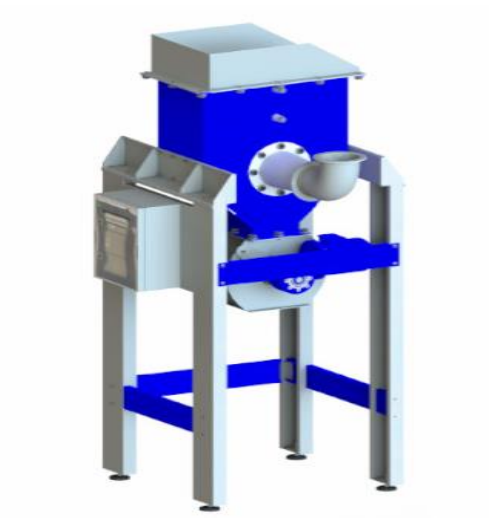
Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

Cargador indispensable para el funcionamiento de una planta profesional. Dispone de sistema vibratorio, removedor antivóbedas y mediante la regulación de velocidad que ofrece el sinfín inverter permite la dosificación automática del material para cualquier peletizadora en caso de contar con más de una.

Características.

- Alimentación eléctrica monofásica 220V-50Hz
- Volumen máx.: 0,8m³
- Dimensiones (cm): 325 x 72 x 210
- Peso 145kg

Figura 12-D. Enfriador



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

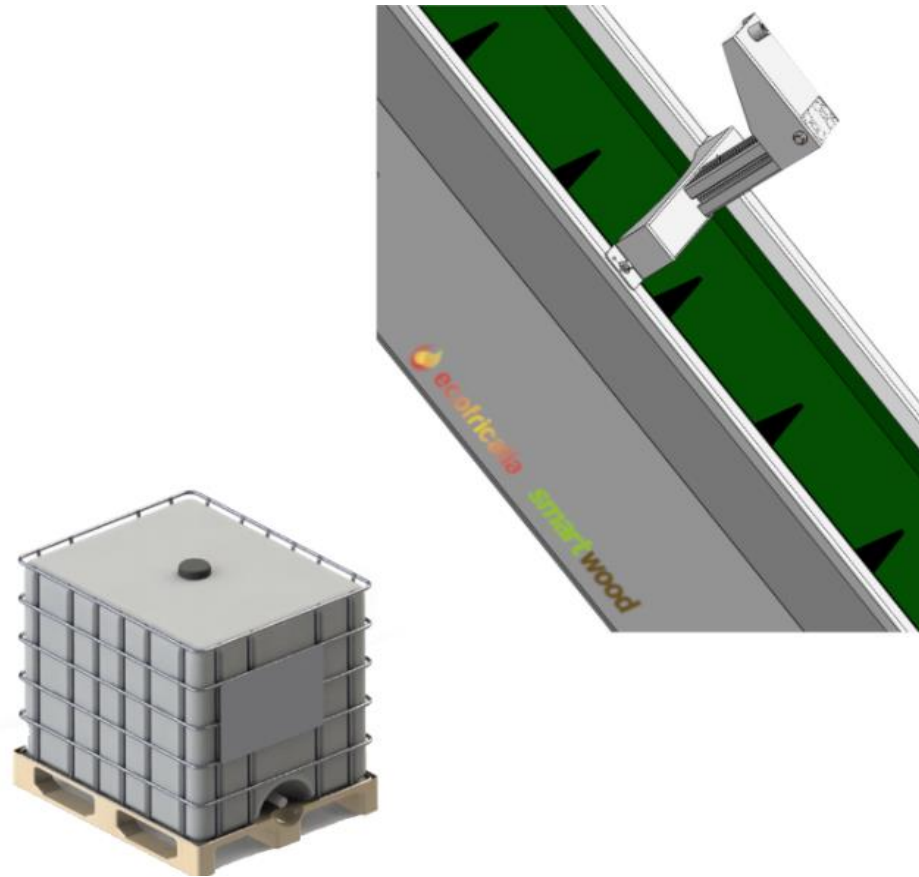
El enfriado de la producción es garantía de un pellet final adecuado en cuanto a compactación y densidad.

Acoplado sobre el tamiz vibratorio, este dispositivo enfría la producción para poder ser embolsada inmediatamente. Dispone de dos sensores de llenado en el tanque que mantienen estable la cantidad de producto.

Características.

- Alimentación eléctrica trifásica 380V-50Hz
- Capacidad 0,20m³
- Posibilidad de incorporar aspirador adicional 2,2kW
- Sensores mínimos/máximos para descarga automática
- Dimensiones (cm): 105 x 85 x 233
- Peso (kg): 300

Figura 12-E. Kit humidificador



Fuente: Ecofrivalia Sostenible S.L.

Para una correcta compactación de los pellets, es fundamental conseguir una humedad adecuada. Este kit permite aportar la humedad necesaria en caso de ser requerida.

Sistema regulable con funcionamiento mediante aire comprimido. Incluye depósito, bomba y pulverizador.

Figura 12-F. Peletizadora



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

Peletizadora adecuada para la producción profesional de pellet. Sus potenciales usuarios se mueven entre serrerías, grandes productores agrícolas, industria de la madera o emprendedores que deseen iniciarse en el sector de la fabricación de pellets.

Sus partes esenciales son una matriz plana, donde actúa la fuerza motriz, y unos rodillos fijos. Incluye cuadro eléctrico con arrancador suave y protecciones, engrasadores automáticos y reductor sin necesidad de refrigeración, cuenta con 24 cuchillas de corte granulado.

Características

- Accionamiento con toma de fuerza >60Cv.
- Tipo de atraque PTO: Categoría 2
- Producción horaria: 200 – 250kg.
- Diámetro del pellet: 6mm.
- Adaptabilidad a diversos materiales y requisitos de calidad
- Dimensiones (L x W x H): 100 x 130 x 147 cm
- Peso (kg): 436

Figura 12-G. Refinador



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

Refinador empleado para la reducción del tamaño de la materia, ideal para su implementación en configuraciones compactas. Su posición sobre el cargador facilita la alimentación y posibilita una reducción de espacio.

El material es introducido al sistema a través de su abertura superior y gracias al rotor con sus cuchillas de alta calidad, es refinado. El material resulta adecuado para la peletización dado que se logra un estado homogéneo en cuanto a tamaño, humedad y aglomerante.

Características

- Alimentación eléctrica trifásica 380V – 50Hz
- Número cuchillas: 80
- Dimensiones (cm): 147 x 117 x 147
- Peso (kg): 235

Figura 12-H. Tamiz vibratorio



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

Situado bajo el enfriador RPL1000, separa los finos del pellet consiguiendo una producción limpia y perfecta para la combustión.

Los finos son descartados mediante una salida inferior, para ser aprovechados nuevamente conectando el equipo a un Kit de Recuperación de Polvo y a una Batería Filtrante.

Características

- Alimentación eléctrica trifásica 380V – 50Hz
- Moto vibrador potencia 0,26kW (x2)
- Capacidad 0,10m³
- Válvula manual de regulación-descarga de pellet
- Criba intercambiable
- Dimensiones (cm): 175 x 80 x 110
- Peso (kg): 375

Figura 12-I. Cinta transportadora



Fuente: Ecofricalia Sostenible S.L.

Se cuenta con una amplia gama de cintas transportadoras en el mercado para suplir cualquier necesidad en los sistemas industriales. Diferentes características en función de los proyectos y los requerimientos: cintas con o sin tolva, con palas, ruedas o pies, altura regulable, diferentes medidas.

Figura 12-J. Estufa de carbonizado



Fuente: Made-in-China

Máquina de fabricación de carbón fabricado de material de alta temperatura, utilizando tecnología de purificación ambiental de alta tecnología, para la realización de esta etapa de producción se optó por la estufa HONG JI modelo THL-B con un precio de 28.325.158 COP\$ en Made-in-China.

Mediante el tubo de extracción de humos se recicla el flujo de gas que viene de la cesta de carbono durante el proceso de carbonización y se utilizan para continuar calentando la estufa, ahorrará un 70% de consumo de energía y reciclará un 95% del humo del proceso.

Características.

- Capacidad: 2000 kg/día
- Potencia: 1.5 KW
- Dimensión (L*W*H):2,0*2,0*2,5 m
- Combustible: gas natural
- Tiempo de enfriamiento: 10 horas
- Ratio de carbonización: 95 %
- Tiempo de carbonización: 6 h – 8 h
- Temperatura máxima: 550
- Tipo: flujo de aire

4. PANORAMA AMBIENTAL

4.1 RESIDUOS PRODUCIDOS EN GRANJAS AVÍCOLAS

Los principales problemas generados por estos residuos son en el cuidado medioambiental y la bioseguridad, por eso es de suma importancia realizar un manejo adecuado de esta materia, una parte de estos desechos son cadáveres de crías de aves y deyecciones, estos derechos presentan un gran peligro a la sanidad de la granja de no ser manejados correctamente causando enfermedades mortales para las demás aves, afectación de nuevos lotes y contaminación de galpones cercanos.

En términos de importancia, el residuo con mayor valor en estas granjas es la pollinaza debido a su gran volumen de producción porque representa la mayor parte de todos los residuos generados en esta industria. La cantidad de pollinaza dependerá de la cantidad de lotes producidos por cama generalmente hasta 3, el tamaño de los galpones, la cantidad de materiales utilizados para la fabricación de las camas y claramente la población de aves alojadas en la granja. La CDMB, con su resolución 1051 del 30 de agosto de 2013, junto a la normativa expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), tiene como exigencia para el productor que la pollinaza sea sanitizada dentro de la misma granja, se estipula que no se permite el transporte la pollinaza fuera de las instalaciones antes de cumplir con este requerimiento, posterior a este procedimiento se debe ser estabilizada la pollinaza ya sea en la misma granja o en una planta de tratamiento para su posterior comercialización.

Las plantas de tratamiento deben estar registradas ante la CDMB y deben cumplir con todos los requisitos establecidos de bioseguridad y control ambiental, además todos los procedimientos que realice el productor se deben incluir en el plan de manejo ambiental o PMA el cual debe pasar por la revisión y aprobación de la CDMB luego de ser aprobado el PMA propuesto se permitirá el transporte de la pollinaza sanitizada desde las granjas hasta las plantas de tratamiento.

Una de las soluciones aceptables para el tratamiento de la pollinaza son los tratamientos térmicos para generar energías aprovechables o productos como el carbón a base de desechos orgánicos, estas son prácticas aconsejables para los productores, porque aparte de tratar un problema ambiental generarían un rédito económico mayor en comparación a la venta de la pollinaza únicamente sanitizada y estabilizada.

La mortalidad dentro de las granjas de engorde va desde el 2% al 7% la CNPMLTA realizo el Cuadro 6. Donde presenta la mortalidad en varias granjas durante el segundo semestre del 2010.

Cuadro 6. Porcentaje de mortalidad en granjas

CÓDIGO DE GRANJA	Generación de Pollinaza (QQ/lote)
GPE 01	3.5 %
GPE 02	3.34 %
GPE 03	4.00 %
GPE 04	3.98 %
GPE 05	5.00 %
GPE 06	3.00 %
GPE 07	3.22 %
GPE 08	3.59 %
GPE 09	3.13 %
GPE 10	4.53 %
GPE 11	4.29 %
GPE 12	6.53 %
PROMEDIO	4.01 %

Fuente: CNPML, 2010 y CNPML, 2011

4.2 RESTRICCIONES DE USO COMO ALIMENTO

Según INIFAP¹⁷, Debido al uso de sulfato de cobre como aditivo para el crecimiento acelerado de los pollos, la pollinaza cuenta con altas cantidades de cobre, elemento el cual en cantidades altas es tóxico especialmente para los ovinos, animales que cuentan con una alta susceptibilidad a la intoxicación por cobre, ya que se acumula en sus hígados y luego de alcanzar niveles altos se presenta envenenamiento o signos de envenenamiento.

Se aconseja no proporcionar cantidades superiores al 30% de materia seca, esto porque la pollinaza contiene nitrógeno no proteico (NNP) que al igual que el cobre en altas cantidades puede llegar a ser tóxico (INIFAP. 2007).

4.3 IMPACTOS AMBIENTALES DE LA POLLINAZA

USAID¹⁸, Mullo¹⁹, FENAVI²⁰, describen los impactos ambientales causados por la pollinaza.

Los desechos de las granjas de engorde de aves, contienen materia orgánica lábil como también sustancias fitotóxicas, ambas capaces de provocar un crecimiento excesivo de la actividad microbiana, este fenómeno impediría el normal desarrollo y crecimiento de las plantas debido a que se presentarían constantes competencias por la absorción de los nutrientes entre plantas y microorganismos.

El mal almacenamiento de la pollinaza genera tanto contaminación al suelo como malos olores y contaminación de mantos acuíferos debido a que más del 50 % del nitrógeno de los alimentos consumidos por las aves es excretado en forma de ácido úrico.

¹⁷ INIFAP., Uso de la pollinaza y gallinaza en la alimentación de rumiantes. Desplegable para productores No 32, 2007.

Generalmente, las malas prácticas de algunos productores que toman como elección el uso de la pollinaza como abono sin pasar por el compostaje, porque representa un mayor gasto económico y de tiempo debido a que se deben realizar procesos físicos, químicos o biológicos en donde se utilizan productos como desinfectantes para la eliminación de virus y tiempos de espera mientras que la materia termina su proceso de sanitizado, evitar estos procesos ocasiona una saturación del suelo, también la obstrucción de los poros de la tierra genera una disminución en la capacidad de drenaje.

La acumulación continua de sales y nutrientes dando como resultado una degradación estructural del suelo, en combinación, todos estos problemas decantarían en el desarrollo biológico de microorganismos potencialmente patógenos, los cuales son agentes infecciosos que provocan enfermedades en su huésped tanto humanos como animales.

La disminución de oxígeno en el medio se debe al exceso de material orgánico y nutrientes también afectando la mineralización nitrógeno, generando problemas de intoxicación en las plantas debido a la absorción de cantidades mayores de nitrógeno.

Problemas de bioseguridad, aumento de plagas, contaminación de los suelos y fuentes de agua subterráneas causados por la descomposición de los cadáveres debido al inadecuado tratamiento de estos.

¹⁸ USAID. Manual de Compostaje de Granjas Avícolas de Engorde. Programa de USAID de excelencia ambiental y laboral para CAFTA-DR. Julio 2011. p. 14.

¹⁹ MULLO GUAMINGA, Inés. Manejo y Procesamiento de la Gallinaza. Línea Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012.

²⁰ FENAVI. Guía ambiental para el subsector avícola. Publicaciones programa ambiental. Bogotá D.C., 2014.

4.4 IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE CARBONIZACIÓN Y PELETIZACIÓN

Un claro problema que se puede evidenciar a simple vista son los gases que son producidos durante la carbonización como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, entre otros, los cuales son gases de efecto invernadero, pero gracias a la estufa de carbonizado se reduce en gran medida este problema debido a que cuenta con un alto porcentaje de reciclaje de humos durante el proceso.

A diferencia del proceso tradicional de sanitizado y compostaje, los procesos que se plantean en el proyecto requieren un consumo eléctrico para poder funcionar, este impacto ambiental también depende de donde se obtiene la energía eléctrica si es de una fuente renovable o no.

La venta de la pollinaza se hace generalmente en sacos de lona los cuales pueden ser reutilizados, en cambio, para el proyecto los empaques más comunes son los plásticos lo cual si no se regula correctamente puede generar contaminación.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

El objetivo de este análisis es tanto mitigar riesgos como comprobar la factibilidad económica del proyecto, en esta parte se analizarán todos los costos Cuadro 7. Desde la compra y transporte de los equipos hasta la puesta a punto y producción de los pellets y se dará un estimado de tiempo en el cual el proyecto se amortizará y empezará a generar ganancias Cuadro 9. Se asume que la estructura de costos no variara significativamente a lo largo de los años, la línea de trabajo funcionara durante 5 días a la semana 8 horas por día, teniendo dos tipos de costos los únicos y los continuos.

5.1 TIPOS DE COSTOS DEL PROYECTO

- Los costos únicos como su nombre lo indican son los que se realizaran solo una vez durante el tiempo que dura el proyecto estos son: compra de equipos, transporte de los equipos, instalación de equipos.
- Los costos continuos por su parte son los que serán gastos que el proyecto generara de forma periódica para su correcto funcionamiento los cuales se reportarán mes a mes, entre los cuales tenemos: compra y transporte de materia prima, gastos operacionales y de mantenimiento, gasto de fabricación, insumos extras.

5.1.1 Transporte marítimo

Este costo está dado en USD y de tal modo está ligado al tipo de cambio, para este proyecto se necesitará el transporte de la línea de paletizado y la estufa de carbonizado, equipos provenientes desde China, debido a la pandemia que se presentó los precios de transporte se vieron muy afectados sufriendo grandes incrementos respecto a los años anteriores, en este caso será necesario un contenedor de 40 HQ, también deben estar

incluidos los telex reléase, un seguro de la carga, costos de carga y descarga del contenedor.

5.1.2 Transporte terrestre

El precio del transporte por tierra de la carga es otro de los factores de gran peso en la estructuración de costos del proyecto, en primera instancia al ser una compra EXW los gastos de transporte desde la fábrica de ensamblaje hasta el puerto de embarque corren por el comprador, luego están los gastos de transporte desde el puesto de desembarque hasta la ciudad donde se tiene planeado instalar la planta, esto por parte del transporte de la carga.

Un gasto constante que se presenta es el costo de transportar la materia prima desde las granjas avícolas hasta la planta de paletizado la cual se hace mediante volquetas con la materia prima aumentando algo más los costos de producción.

5.1.3 Precio de materia prima

Debido a la alta producción de pollinaza en la región de Santander es una materia prima de bajo costo adquisitivo lo cual es muy conveniente en el panorama económico dejando un mayor margen de ganancias, también al ser una industria tan grande en la región se cuenta con una gran variedad de proveedores, los precios por bulto de 50 kg de pollinaza rondan los \$6.000 COP lo cual nos daría un precio alrededor de los \$150.000 COP por 1250 kg de materia prima lo necesario por temas de residuos no sólidos y humedad para obtener 1000 kg de material carbonizada

5.1.4 Gastos de operación

Esta variable está principalmente influenciada por los costos de la potencia eléctrica que requieren los equipos para su funcionamiento, para un cálculo aproximado se tendrá en cuenta la potencia de funcionamiento dada por los fabricantes y las tarifas de la electrificadora de Santander.

Cuadro 7. Gastos del proyecto

Tabla de gastos			
Gastos únicos	Descripción	USD	COP
Transporte marítimo	Cotizaciones dadas por páginas dedicadas al transporte marítimo	8.300	33.200.000
Transporte terrestre en china	Precio máximo por container	1.000	4.000.000
Transporte terrestre en Colombia	Cotización de ASTransportes		5.000.000
Carga y Descarga			1.000.000
Línea de paletizado		39.000	157.000.000
Estufa de carbonizado			28.300.000
Seguro de carga	0.3% del valor de la carga, cubre 110% del valor asegurado		556.000
Instalación	Pago a un ingeniero por instalación		2.000.000
Grúa	Para la descarga de los equipos		1.000.000
Telex release		65	260.000
Gastos continuos mensuales			
Materia prima	1250kg de pollinaza		3.000.000
Gasto energético	75kW/h		7.000.000
Gerencia			2.000.000
Operarios	Tres operarios encargados de los equipos		4.500.000
Limpieza	Dos empleados de limpieza		2.000.000
Transporte de materia prima			320.000
Mantenimiento	Presupuesto anual de mantenimiento, estimado 3% valor equipos y montaje		5.600.000
Insumos extras			2.000.000

Fuente: Autoría propia

5.2 PRODUCCIÓN

Se tiene previsto para este proyecto un funcionamiento de 5 días a la semana con una jornada laboral diaria de 8 horas, con las características de los equipos se puede tener una producción de 125 kg/h de pellets de carbón para una producción de 1 ton/día siendo a su vez un total de 20 ton/mes, con estos datos se procede a determinar las ganancias brutas mensuales del proyecto Cuadro 8.

Cuadro 8. Producción mensual y ganancias brutas

Producción (kg)	Precio kg de pellets carbón	Ganancia bruta
20.000	1500	30.000.000

Fuente: Autoría propia

5.3 AMORTIZACIÓN

Para el cálculo del tiempo de amortización se debe conocer todos los gastos pertinentes al proyecto y los ingresos de este mismo, luego se tiene que sacar las ganancias netas producidas en un periodo de tiempo establecido he ir restando este valor de la inversión inicial para tener un estimado de cuanto tiempo se necesita para que el proyecto cubra la totalidad de su costo, luego de este punto se puede considerar que este proyecto es rentable y empieza a generar ganancias reales para el inversor.

Cuadro 9. Amortización del proyecto

Periodo	Gastos	Ingresos	Ganancias	Saldo
0				-232.316.000
1	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-224.616.000
2	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-216.916.000
3	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-209.216.000
4	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-201.516.000
5	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-193.816.000
6	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-186.116.000

Cuadro 9. (Continuación)

7	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-178.416.000
8	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-170.716.000
9	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-163.016.000
10	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-155.316.000
11	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-147.616.000
12	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-139.916.000
13	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-132.216.000
14	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-124.516.000
15	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-116.816.000
16	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-109.116.000
17	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-101.416.000
18	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-93.716.000
19	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-86.016.000
20	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-78.316.000
21	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-70.616.000
22	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-62.916.000
23	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-55.216.000
24	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-47.516.000
25	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-39.816.000
26	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-32.116.000
27	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-24.416.000
28	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-16.716.000
29	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-9.016.000
30	22.300.000	30.000.000	7.700.000	-1.316.000
31	22.300.000	30.000.000	7.700.000	6.384.000

Fuente: Autoría propia

6. CONCLUSIONES

El proyecto permitió adquirir un conocimiento estructurado sobre el proceso de transformación y manufacturación de pellets de biocarbón y la factibilidad económica de una planta productora de estos, como también la extrapolación de los conocimientos adquiridos para el desarrollo de plantas de producción dependiendo de los requerimientos del inversor.

Por otra parte, en el ámbito ambiental no supone un gran cambio, ya que, en porcentaje, la cantidad de materia prima con la cual se realizaron los cálculos dentro del proyecto es ínfima en comparación a la producción de pollinaza de la región por lo cual se estaría utilizando un valor despreciable para considerar un impacto ambiental considerable.

Por medio del estudio técnico se concluye que con las características de la materia prima y debido a su alta producción sumada a la gran cantidad de equipos presentes en el mercado y su razonable relación costo producción hace viable la creación de una planta al menos de pequeña, mediana producción.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALAKANGAS, Eija Y PAJU, Paavo. "Wood pellets in Finland, technology economy and market". OPET Report 5, Technical Research Center of Finland, 2002.

Anon. La gallinaza. ¿Un problema o un recurso económico? Revista Selecciones Avícolas. España, mayo 2000. p. 265.

CNPML. Informes de diagnóstico para la implementación de composteras en diez granjas avícolas de El Salvador, 2010.

CNPML. Informes de seguimiento para la implementación de composteras en diez granjas avícolas de El Salvador, 2011.

El Primero Censo Avícola Industrial. [en Línea]. [encolombia.com](https://encolombia.com/veterinaria/publi/fenavi/f93/fenavi9303actualidad/#:%7E:text=En%20Colombia%20hay%202.996%20granjas,9.441%2C%2017.410%20y%203.806%20galpones.). [Recuperado 28 de abril de 2022] de <https://encolombia.com/veterinaria/publi/fenavi/f93/fenavi9303actualidad/#:%7E:text=En%20Colombia%20hay%202.996%20granjas,9.441%2C%2017.410%20y%203.806%20galpones.>

ENSMINGER, M.E. Management. Section 8. En The Stockman's Handbook. Seventh Edition. Interstate Publishers, Inc. Danville, Illinois. 1992. p. 515.

ESCALANTE HERNÁNDEZ, Humberto, *et al.* Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Colombia. 2010.

FAO. Feed from Animal Wastes: State of knowledge, FAO. Animal Production and Health, Paper 18. Roma, Italy, 1980.

FENAVI. Guía ambiental para el subsector avícola. Publicaciones programa ambiental. Bogotá D.C., 2014.

FENAVI. Estabilizador de suelo a partir de gallinaza/pollinaza. Publicaciones programa ambiental. Mayo, 2018. p. 6

GARCÍA, Y; LON, E y ORTÍZ, A. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Los Avicultores y su Entorno. Cuba, 2007.

INIFAP., Uso de la pollinaza y gallinaza en la alimentación de rumiantes. Desplegable para productores No 32, 2007.

MALISIUS, U. et al." Wood Pellets in Europe". Industrial Network on Wood Pellets, Thermie B Project Dis/2043/98-AT, Coordinado por UMBERA GmbH, St.Polten, Austria, 2000.

MEYRELES, L. y PRESTON, R.T. Gallinaza para Bovinos: efecto de diferentes suplementaciones. Producción Animal Tropical 7, 1982. p. 65-69.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA COLOMBIANA. Glosario. Cundinamarca: Ministerio de Minas y Energía. 1995. p. 5.

MULLO GUAMINGA, Inés. Manejo y Procesamiento de la Gallinaza. Línea Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012.

Pollinaza: recurso nutricional y amenaza sanitaria. El sitio Avícola. [en Línea]. 2011, 31 mayo [Recuperado el 26 de mayo de 2022]. de <https://www.elsitioavicola.com/articles/1952/pollinaza-recurso-nutricional-y-amenaza-sanitaria/>.

SOUZA, Samuel N.M.; SORDI, Alexandre y OLIVEIRA, Francisco H. Distribuição geográfica do potencial enerético dos residuos da avicultura de corte na região oeste do Paraná– 4º Encontro de Energía No Meio Rural, Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná UNIOESTE, 2000.

USAID. Manual de Compostaje de Granjas Avícolas de Engorde. Programa de USAID de excelencia ambiental y laboral para CAFTA-DR. Julio 2011. p. 14.