

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE DESECHOS
SÓLIDOS DE GRANJAS DE ENGORDE AVÍCOLAS EN EL SALVADOR.**

PRESENTADO POR:

DENISSE DINORA ORTEZ SANDOVAL

YID-LAÍ MARÍA ZELADA QUÁN

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2010.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DIRECTOR :

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUÍMICO

Título :

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE DESECHOS
SÓLIDOS DE GRANJAS DE ENGORDE AVÍCOLAS EN EL SALVADOR.**

Presentado por :

DENISSE DINORA ORTEZ SANDOVAL

YID-LAÍ MARÍA ZELADA QUÁN

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

MSc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

San Salvador, Octubre de 2010.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

MSc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

AGRADECIMIENTOS

Manifestamos nuestros sinceros agradecimientos a:

MSc. Delmy del Carmen Rico Peña e Ing. Teodoro Ramírez Zelaya, por trazar las directrices, impulsar la ejecución y monitorear el desarrollo del presente trabajo de graduación.

La Dirección Ejecutiva y al Equipo Técnico de la Fundación Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), por formar parte de los esfuerzos que han hecho realidad esta obra. En especial al Ing. Nelson Vaquero, Ing. Alejandro Saz, Ing. Isabel Marroquín y Lic. Edward López.

Al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Al Laboratorio de Química Agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA.

A nuestro grupo de estudio y amigos, Patricia Chévez, Gabriela Rodríguez y Daniel Flores, por compartir durante tantos años risas y largas noches de desvelo.

Al cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.

A nuestros compañeros estudiantes de la Facultad de Ingeniería, por compartir aulas y el sueño de un día ser Ingenieros.

DEDICATORIA

A DIOS:

Por ser la guía de mi vida, mi fortaleza, confianza y por permitirme crecer en su camino, y lograr la culminación de mi carrera.

A MIS PADRES:

Denis y Dinora por todo el esfuerzo, amor, dedicación y todo lo que me han enseñado. Por la comprensión y el tiempo que me brindaron siempre. Son un gran orgullo para mí.

A MIS HERMANAS:

Joselyn y Ana Elena por todo el amor, apoyo incondicional, comprensión y sobre todo por el gran ejemplo de lucha y perseverancia.

A MI COMPAÑERA DE TESIS:

Por cada desvelo y esfuerzo que hicimos juntas, por no dejarnos caer en esta lucha.

A mis amistades por ser mis compañeras incondicionales y apoyo en los momentos difíciles. En especial Patricia Chévez, Gabriela Rodríguez, Oscar Daniel Flores, Criseida Quintanilla y Rebeca Quintero. A Douglas Guzmán por ser el apoyo en momentos difíciles y ser el mayor ejemplo de lucha y constancia.

A todas esas personas que de alguna manera contribuyeron en mi vida universitaria, dedico este esfuerzo y Muchas Gracias.

Denisse

DEDICATORIA

Llegando a la finalización del presente trabajo de graduación, aunque es solo un pasito más, agradezco y dedico:

Inicialmente, a Dios, por su providencia y bendiciones, siempre oportunas.

A mi mami, la “Gran ausente”, por su amor, palabras y consejos que permanecen en mi corazón. Pese al paso de los años, se te sigue extrañando.

A mi papá, Roberto E. Zelada y a Elsy de Zelada, por el tiempo, recursos, esfuerzo y cariño que han invertido, y sobre todo por nuestra hermosa familia que es mi bien más preciado.

A mi Gordis, Roberto A. Zelada, por los momentos compartidos, por ser un pilar en mi vida y el corazón más noble que yo haya podido ver.

A mis angelitos Miguel, Gabriel y Rafael Zelada, por aguantar mis cambios de humor y ser un motivo para no dejar de luchar.

A mi tío Meme y a mi tía Clarita, por el apoyo a lo largo de todos estos años, por guiarme y escucharme; y en especial a Lupita, por ser una hermanita más.

A mis amigas y amigos, en especial Allan Quintanilla, Andrea Herrera, Astrid López, Joaquín González, Lissette Carranza y Marvin Sánchez; por su gran fidelidad.

A mi compañera de tesis y su familia, por recibirme en su hogar en más de una ocasión y formar parte de esta obra.

A la Familia López Flores, por el apoyo incondicional.

A las asociaciones estudiantiles, en especial a ASEIQA, y a quienes trabajan por fortalecerlas y hacerlas crecer.

A quienes comparten conmigo recuerdos, y esperanzas; y cuyos nombres permanecen entre líneas.

RESUMEN

La finalidad principal de este trabajo es la determinación del poder calorífico superior de la pollinaza de granjas de engorde avícola en El Salvador, con el objetivo de determinar el potencial energético disponible de este recurso.

El Salvador enfrenta una problemática energética que apunta hacia fuentes renovables de energía como la biomasa. El uso de combustibles alternos provenientes de residuos agrícolas y ganaderos para la generación de energía, permite disminuir el impacto a los suelos, por el alto nivel de nitratos y fósforo en las excretas, y la consecuente fitotoxicidad. Para las muestras analizadas en este estudio, se observó que el porcentaje base seca de nitrógeno total osciló entre 1.98 y 3.17; y el porcentaje base seca de fósforo, por su parte entre 0.36 y 1.43.

Con el propósito de caracterizar las propiedades combustibles de la pollinaza generada en explotaciones avícolas de engorde, se realizó un muestreo de cama de galpones en uso, en siete granjas avícolas de engorde localizadas en la zona central y paracentral de El Salvador, elegidas en función de la disponibilidad para el acceso. Se diseñó un plan de muestreo, a fin de garantizar la representatividad de los datos obtenidos, en base a lo establecido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería para la caracterización de terrenos.

Se determinó el número de sub muestras requeridas a obtener por cada granja en función de la extensión superficial de crianza de pollo de engorde.

La extracción de las sub muestras, se realizó sobre áreas homogéneas en uno de los galpones de cada granja, seleccionado previamente de manera aleatoria; ubicando los sitios de toma de muestra en zig-zag a lo largo del galpón a una distancia aproximada de un metro de los linderos.

Con base a las sub muestras extraídas, se conformaron 7 muestras compuestas, a las cuales se les realizaron análisis físicos, químicos y fisicoquímicos, obteniéndose un poder calorífico superior que varía entre los 13.08 y los 18.62 GJ/TM, con una media muestral de 16.21 GJ/TM.

Se estimó que en El Salvador la generación anual de pollinaza alcanza las 53,294 TM/año. Para este volumen de desecho corresponde un potencial energético de 863,687 GJ/año, es decir 239,906 MWh/año.

El potencial energético de la pollinaza generada en El Salvador, dentro del mercado de compra venta de certificados de reducción de emisiones, corresponde a 146,103 tCO_{2e}. Con base al precio de bonos de carbono para Agosto de 2010, se obtendría por el proyecto un ingreso de USD\$ 2,049,642 anuales.

INDICE

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
INTRODUCCIÓN	1
1. PANORAMA ENERGÉTICO DE EL SALVADOR	2
1.1 Formas y distribución de consumo de Energía Primaria	3
1.1.1 Leña	5
1.1.2 Energía Geotérmica	8
1.1.3 Petróleo	9
1.1.4 Residuos Vegetales	10
1.1.5 Energía Hidráulica	11
1.2 Mercado Energético en El Salvador	12
1.3 Biomasa como recurso energético renovable	12
1.3.1 Fuentes de Biomasa	17
1.3.2 Características de la Biomasa	19
1.3.3 Biomasa en El Salvador	22
2. GENERALIDADES DEL SUB SECTOR AVÍCOLA EN EL SALVADOR	24
2.1 Desarrollo de exportaciones e importaciones en el Sub Sector Avícola de El Salvador	25
2.2 Participación del Sub Sector Avícola en el PIB	28
2.3 Sistemas de Producción Avícola	29
2.3.1 Incubadoras	29
2.3.2 Granjas Ponedoras	29
2.3.3 Granjas de engorde	31
2.3.4 Sacrificio	32
2.3.5 Distribución de granjas avícolas en El Salvador	32
2.4 Inventario Avícola	33
3. ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE GRANJAS DE ENGORDE AVÍCOLA	37
3.1 Generalidades del Pollo de Engorde	37
3.1.1 Recibimiento y manejo por etapas del pollo de engorde	37
3.1.2 Diagramas de flujo de proceso de crianza del pollo	38
3.1.3 Elementos e instalaciones para la crianza de pollo de engorde	38
3.2 Aspectos de la Pollinaza	45
3.2.1 Composición de la Pollinaza	45
3.3 Situación Ambiental de Granjas de Engorde Avícolas	53
3.3.1 Generación de desechos sólidos	53
3.3.2 Consumo de Energía	54
3.3.3 Consumo de Agua	54
3.3.4 Generación de emisiones atmosféricas	54

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
4. USOS POTENCIALES DE LA POLLINAZA	55
4.1 Compostaje de pollinaza	55
4.2 Uso pecuario de la pollinaza como alimento para rumiantes	58
4.3 Pollinaza como recurso energético: procesos termoquímicos de transformación	58
4.3.1 Pirólisis	59
4.3.2 Gasificación	65
4.3.3 Combustión	68
4.3.4 Aplicaciones Energéticas de la conversión termoquímica de la biomasa	73
5. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA POLLINAZA	76
5.1 Generalidades de las granjas de engorde avícolas a evaluar	76
5.1.1 Ubicación de las granjas	76
5.1.2 Capacidad productiva de las granjas de engorde avícolas	78
5.1.3 Generación de desecho	78
5.1.4 Manejo de aves en el sistema de crianza	78
5.2. Selección del método de muestreo	80
5.3 Construcción de marco muestral	81
5.4 Determinación del tamaño muestral	81
5.5 Diseño de un plan de muestreo	83
6. ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y FISICOQUÍMICOS DE LA POLLINAZA DE GRANJAS DE ENGORDE AVÍCOLAS	87
6.1 Análisis Físicos	87
6.1.1 Determinación de contenido de cenizas	87
6.1.2 Determinación de contenido de Humedad	91
6.2 Análisis Químicos	92
6.2.1. Variación de la composición química de la pollinaza en función del contenido de humedad.	93
6.2.2 Variación de la composición química de la pollinaza en función de las densidades de aves en los galpones	94
6.2.3 Variación de la composición química de la pollinaza en función del intervalo de recolección o edad de la cama.	96
6.3 Análisis Físicoquímicos de Pollinaza de Granjas de Engorde Avícolas	96
7. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGETICO DEL RESIDUAL AVIAR DE GRANJAS DE ENGORDE	98
7.1 Determinación de la cantidad de pollinaza generada por las granjas de engorde avícolas en El Salvador	98
7.2 Estimación de la oferta energética de la pollinaza generada en las granjas de engorde avícolas evaluadas	101
7.3 Estimación de la oferta energética de la pollinaza generada en El Salvador	102
7.4 Beneficios ambientales del aprovechamiento del potencial energético de la pollinaza de granjas de engorde avícolas de El Salvador	102

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
OBSERVACIONES	104
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS	113
Anexo A: Mapas de Distribución de Productores y Aves en El Salvador	114
Anexo B: Ubicación de Sitios de Muestreo de Pollinaza Proveniente de Granjas de Engorde Avícolas en El Salvador y Características Climatológicas por Región	120
Anexo C: Procedimiento experimental para el Análisis de Pollinaza Proveniente de Granjas de Engorde Avícolas en El Salvador	128
Anexo D: Esquema de Sistema de Gasificación de Pollinaza	152
Anexo E: Factor de Probabilidad Z para Distribución Normal	154

INDICE DE CUADROS

<u>No.</u>	<u>TITULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
1.1	Poder Calorífico de especies de las que se obtiene leña en El Salvador	5
1.2	Consumo de leña per cápita en El Salvador	6
1.3	Capacidad instalada y disponible de los campos geotérmicos de Berlín y Ahuachapán de El Salvador	9
1.4	Detalle de importación de petróleo en El Salvador de enero a septiembre de 2009	10
1.5	Potencia instalada de las Centrales Hidroeléctricas de El Salvador	11
1.6	Empresas generadoras, cogeneradoras, transmisoras y distribuidoras de energía eléctrica a junio de 2009 en El Salvador	14
1.7	Capacidad instalada y disponible de las centrales generadoras de electricidad de El Salvador al 30 de junio de 2009	15
1.8	Estado físico de la Biomasa	20
1.9	Potencial energético evaluado de residuos disponibles de los cultivos de maíz, caña de azúcar, arroz, frijol y sorgo en El Salvador	23
2.1	Actividades y CIU encaminadas a la comercialización de aves de corral en El Salvador	25
2.2	Aporte porcentual del Sub Sector Avícola en PIB de El Salvador	28
2.3	Aporte porcentual del Sub Sector Avícola en PIB de El Salvador	29
2.4	Distribución de granjas avícolas en El Salvador	32
2.5	Número de cabezas por inventario avícola en explotaciones especiales en El Salvador al 1º de Octubre 2007	34
2.6	Número de cabezas por inventario avícola en explotaciones tradicionales en El Salvador al 1º de Octubre 2007	35
3.1	Etapas de crianza del pollo de engorde	37
3.2	Densidades recomendadas para el manejo de pollos de engorde	41
3.3	Requerimientos mínimos de la cama para la crianza de pollos de engorde	44
3.4	Composición química y fraccionamiento de la pared celular de la pollinaza, según tipo de cama (% base seca)	46
3.5	Determinación de contenido de Fibra por tipo de cama	47
3.6	Variación de la humedad en función del material usado como cama	48
3.7.	Composición química y fraccionamiento de la pared celular, según la densidad de pollos alojados. (% base seca)	49

<u>No.</u>	<u>TITULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
3.8.	Determinación del contenido de fibra por densidad de cama. (% base seca)	49
3.9.	Composición de la cama de pollos de engorde en función de la edad de la misma.	50
3.10.	Variación de concentración de Fósforo Soluble, Fósforo, y Nitrógeno en cama de viruta de madera	52
3.11.	Variación de porcentaje de fósforo y nitrógeno en las heces de pollos de engorde en función de la dieta.	53
4.1	Eficiencia de los procesos termoconversión de la biomasa	59
4.2	Procesos actuales de Pirólisis de Biomasa	63
4.3	Rendimientos de la pirólisis a diferentes temperaturas (kg/kg de biomasa)	64
4.4	Rendimientos en hidrógeno obtenidos en la pirólisis sin catalizador (% masa)	64
4.5	Rendimiento de gas pirolítico a diferentes catalizadores y temperaturas (% masa sobre biomasa utilizada).	64
4.6	Rendimiento en hidrógeno para diferentes catalizadores y temperatura (% masa sobre el gas)	65
4.7	Principales características del gas obtenido por gasificación de diferentes materiales.	66
4.8	Ventajas y Desventajas de la Gasificación Vrs Combustión	70
5.1	Codificación de las granjas de engorde avícolas evaluadas	76
5.2	Ubicación de las granjas de pollos de engorde evaluadas en el presente estudio	77
5.3	Humedad relativa y temperatura promedio anual de las regiones en las que se localizan las granjas de engorde avícolas evaluadas	77
5.4	Capacidad productiva de cada una de las granjas de engorde avícolas en estudio	78
5.5	Capacidad de generación habitual de pollinaza de las distintas granjas de engorde avícolas en estudio	79
5.6	Indicadores de generación de pollinaza en las granjas de engorde avícolas a evaluar	79
5.7	Superficie de crianza y densidad de pollos alojados en las granjas de engorde avícolas a evaluar	80
5.8	Extensión superficial de crianza de pollo de engorde por estrato	82
5.9	Rendimientos obtenidos en la producción de pollinaza para las granjas de engorde avícolas evaluadas	84
5.10	Número de muestras de pollinaza a tomar por estrato	85
5.11	Descripción del Sitio de Muestreo	85
5.12	Cantidad de muestra requerida en función del análisis a realizar	86
6.1	Contenido de cenizas de las muestras de pollinaza de las granjas de engorde avícolas evaluadas (Porcentaje base seca).	88

<u>No.</u>	<u>TITULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
6.2	Análisis próximo de la cascarilla de arroz en diferentes variedades por países	89
6.3	Composición mineral promedio de ceniza en la cascarilla de arroz	89
6.4	Composición mineral de ceniza de pollinaza	90
6.5	Porcentaje de Humedad en las muestras de pollinaza de las granjas de engorde avícolas contempladas en este estudio.	92
6.6	Análisis químico de la pollinaza proveniente de granjas de engorde avícola evaluadas en El Salvador	93
6.7	Variación del porcentaje de nitrógeno Kjeldahl en las muestras de pollinaza de granjas de engorde avícola analizadas en función de la humedad.	94
6.8	Variación del porcentaje de Fósforo en las muestras con cascarilla de arroz como material de cama	96
6.9	Valores promedio y desviación estándar de los resultados obtenidos en la medición del Calorífico en las distintas Poder muestras de los estratos evaluados	97
7.1	Promedio muestral de generación anual de pollinaza por unidad de superficie	98
7.2	Promedio muestral de densidad de aves en el galpón	99
7.3	Potencial energético de la pollinaza de las granjas de engorde en estudio	101
7.4	Potencial energético de la pollinaza de granjas de engorde avícolas en El Salvador	102
7.5	Proyección de la reducción de emisión anual de toneladas de CO ₂ equivalentes por aprovechamiento de la pollinaza en cada una de las granjas evaluadas en el presente estudio	103
7.6	Proyección de la reducción de emisión anual de toneladas de CO ₂ equivalentes por aprovechamiento de la pollinaza en El Salvador	103

INDICE DE FIGURAS

<u>No.</u>	<u>TÍTULO DE FIGURA</u>	<u>PAG.</u>
1.1	Porcentaje de hogares que disponen de electricidad en el área metropolitana de San Salvador y en la zona rural y urbana de El Salvador, en los años 1999 y 2005	3
1.2	Producción de energía eléctrica en El Salvador por tipo de recurso	4
1.3	Ubicación Geográfica de las Centrales Hidroeléctricas de El Salvador	11
1.4	Estructura actual del sector de Energía Eléctrica de El Salvador	13
1.5	Origen de la Biomasa	17
2.1	Cantidad (kg/año) de suministro de carne per cápita. El Salvador 1990-2005	25
2.2	Producción de Carne de Pollo (Lb) en El Salvador en el período 199 -2008	25
2.3	Distribución porcentual de países de origen de las importaciones hacia El Salvador S.A.C. 0105, 2009	26
2.4	Exportaciones del sub sector avícola de El Salvador	27
2.5	Distribución porcentual de los países de destino de las exportaciones de El Salvador S.A.C. 0105, 2009	27
2.6	Aporte porcentual del Sub sector Avícola en el PIB de El Salvador	28
2.7	Sistema de producción de gallinas de postura en jaula	31
2.8	Granjas de pollos de engorde	31
2.9	Distribución de granjas avícolas registradas en El Salvador	33
2.10	Inventario de aves en El Salvador por departamento (Explotaciones tradicionales) Al 1 de Octubre de 2007	36
3.1	Diagrama de proceso de crianza de pollo de engorde	39
3.2	Distribución porcentual de los componentes de la fibra de la cascarilla de arroz	47
3.3	Variación de la FND según la edad de la cama	51
4.1	Diagrama de flujo de compostaje de pollinaza	57
4.2	Reacciones que ocurren en la pirólisis de la celulosa	61
4.3	Esquema de proceso de pirólisis	62
4.4	Clasificación de gasificación por agente oxidante	68
4.5	Esquema de la producción de energía eléctrica	74
5.1	Muestreo en zig-zag en áreas homogéneas	86

<u>No.</u>	<u>TÍTULO DE FIGURA</u>	<u>PAG.</u>
6.1	Variación del porcentaje de nitrógeno Kjeldahl en las muestras de pollinaza de granjas de engorde avícola analizadas en función de la humedad.	94
6.2	Variación del porcentaje de Fibra Neutro Detergente en las muestras con cascarilla de arroz como material de la cama	95
6.3	Variación del porcentaje de Fibra Neutro Detergente en las muestras con cascarilla de café como material de cama	95

INTRODUCCIÓN

En El Salvador, la avicultura se ha desarrollado con gran intensidad, representando hoy en día uno de los rubros más importantes por aportar a la seguridad alimentaria de la población. Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, estiman, que en El Salvador el suministro per cápita de carnes, se lidera por las carnes provenientes de las aves de corral.

El desarrollo del sub sector avícola, implica la aplicación de técnicas muy avanzadas, tanto en la cantidad de pollos producidos como en la calidad de los mismos; esto implica una mayor eficiencia en el manejo mediante condiciones controladas, mejor alimentación, bioseguridad más estricta, etc., y por ende es necesario que los residuos sólidos con significativa carga bacteriana (pollinaza) que se generan sean utilizados de forma segura, y de ser así posible, rentable.

Habitualmente la disposición de estos desechos, sin proyectos sustentables de ingeniería ambiental, conlleva a la contaminación de suelos, por el alto nivel de nitratos y fósforo, y la consecuente fitotoxicidad; la contaminación biológica de tipo bacteriana; hasta el agravamiento del efecto invernadero por causa de emisiones incontroladas de metano y amoníaco en los botaderos a cielo abierto.

El Salvador enfrenta una problemática energética que apunta hacia fuentes renovables de energía como la biomasa. Mediante el uso de combustibles alternos provenientes de residuos agrícolas y ganaderos como la pollinaza, se reduce el impacto ambiental por la mala disposición y se explota una nueva forma de energía primaria.

En la presente investigación se realizó una revisión documental de los distintos tipos de transformaciones termoquímicas de la biomasa, para su aprovechamiento energético y se evaluó la oferta energética que representa la pollinaza como fuente renovable de energía.

1. PANORAMA ENERGÉTICO DE EL SALVADOR

El acceso a servicios básicos como agua, saneamiento, electricidad y caminos, son elementos que delimitan la lucha contra la pobreza. Estos servicios proveen no sólo beneficios directos e intrínsecos, sino también tienen importantes beneficios indirectos sobre la calidad de vida. Así, el contar con energía eléctrica permite mejorar los ingresos de las familias, diversificar sus actividades productivas, incrementar su productividad y mejorar los niveles de educación.

El entorno energético mundial ejerce una gran influencia en la realidad nacional. Durante los últimos años El Salvador ha estado sometido a las consecuencias de un ambiente de altos e inestables precios del petróleo, lo cual ha provocado una reflexión a nivel nacional y mundial sobre la capacidad de abastecimiento en el mediano plazo. El precio internacional del barril de crudo se ha triplicado en los últimos años, con el consecuente impacto en la factura petrolera del país y en el bolsillo de los consumidores.

Aunado al impacto económico, están los cada vez más evidentes efectos ambientales de la contaminación producto de la emisión de combustibles fósiles, que ha llevado a muchos países a reconsiderar sus políticas energéticas, incorporando con mayor énfasis y rapidez el impulso de energías renovables amigables con el medio ambiente.

Pese a los esfuerzos de las naciones desarrolladas, lo cierto es que el mundo todavía es altamente dependiente del petróleo: éste representa cerca del 40% del consumo energético mundial, el carbón un 26%, el gas natural 24%, la energía nuclear 7% y la hidráulica 3% (Revista Índice, 2004).

Ante esta realidad y por el carácter estructural del problema de abastecimiento de largo plazo del petróleo, los países importadores netos como El Salvador, necesitan idear estrategias permanentes, y no coyunturales, para reducir la participación de los combustibles fósiles en la matriz energética (Torres, 1995).

El Salvador dispone de muchas formas para generar energía de uso final, existe la generación de electricidad a partir de centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, geotérmicas y biomasa; para la generación de energía calorífica se tiene leña, carbón vegetal, residuos o subproductos agroindustriales, residuos vegetales agrícolas y derivados de hidrocarburos en general.

Las fuentes convencionales de energía, tienen cada una sus propios inconvenientes. La generación hidroeléctrica depende de la existencia de suficiente agua en los embalses, lo cual lo hace depender de cierta forma de aspectos climatológicos como la lluvia y de aspectos físico-químicos como la evaporación de las aguas de los embalses y sedimentos acumulados en las presas.

Por otra parte la obtención de energía proveniente de hidrocarburos, depende de la importación de éstos y además la quema de éstos genera emisiones de gases y vapores contaminantes del medio ambiente (Berríos y Castro, 1997).

En los últimos años la inversión gubernamental en electrificación ha sido significativa, lo que ha logrado pasar de un 79% de cobertura en el acceso a energía eléctrica de los hogares a nivel nacional en 1999, a casi 88 % en el 2005. Especialmente en las áreas rurales, el incremento en cobertura ha sido significativo, pasando de 56% a 72% de 1999 a 2005, respectivamente (CNE, 2007).

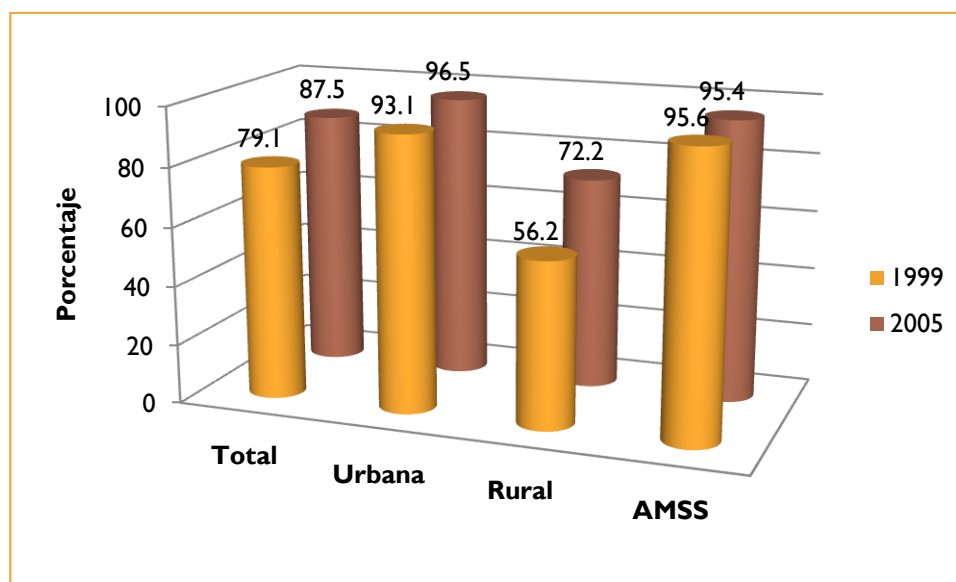


Figura 1.1 Porcentaje de hogares que disponen de electricidad en el área metropolitana de San Salvador y en la zona rural y urbana de El Salvador, en los años 1999 y 2005
Fuente: (CNE, 2007)

1.1 Formas y distribución de consumo de Energía Primaria

En general pueden mencionarse muchas formas para generar energía de consumo final, ya sea eléctrica o energía calorífica. Actualmente, la energía utilizada en El Salvador, tanto para la supervivencia de sus habitantes como para el logro del crecimiento y el desarrollo alcanzado, es producto de la combinación de fuentes que van desde la generación de energía eléctrica a partir de las centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y geotérmicas, hasta la generación de energía calorífica del carbón vegetal, leña, residuos o subproductos agroindustriales, residuos vegetales agrícolas y de los derivados de hidrocarburos (Domínguez, Henríquez y Parras, 2000).

En la Figura 1.2, se presenta la división actual de la matriz energética en El Salvador en el 2006. El sector eléctrico está mayormente dominado por generación de energía térmica (40% de la producción) y generación hidroeléctrica (38% de la producción).

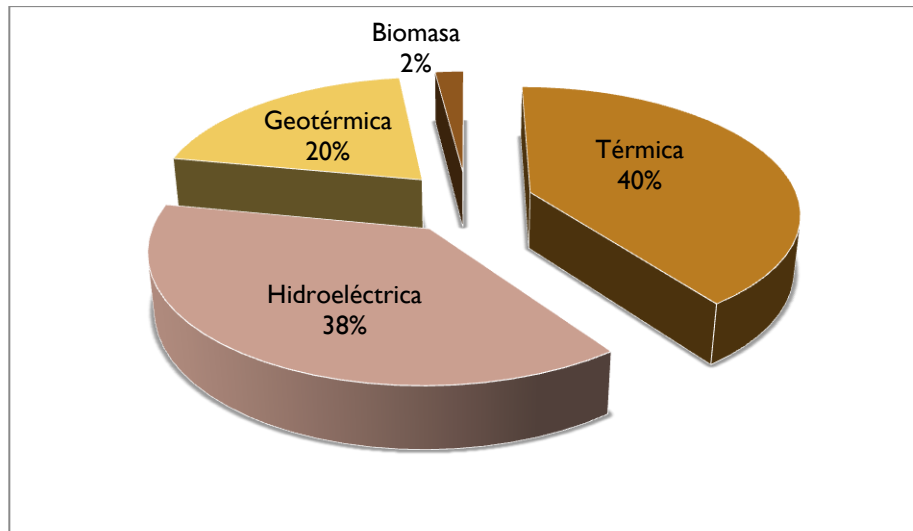


Figura 1.2 Producción de energía eléctrica en El Salvador por tipo de recurso en 2006.

Fuente: (CNE Política Energética, 2007)

Dentro de las distintas formas de energía mencionadas, un grupo importante son las conocidas como energías primarias, que reciben su nombre debido a que son formas de energía tal y como son obtenidas de la naturaleza, sin sufrir ningún proceso de transformación. En El Salvador, las principales formas de energía primaria la forman la energía hidráulica, geotérmica, leña, residuos vegetales y el petróleo (Berríos y Castro, 1997).

La energía utilizada para la actividad productiva es la llamada energía secundaria, que comprende las diferentes formas destinadas al consumo, y cuyo origen es cualquiera de las formas de energía primaria. La energía eléctrica y los diferentes combustibles obtenidos del procesamiento del petróleo, de la leña y de los residuos vegetales, son formas de energía secundaria que van a los centros de consumo: sector residencial y comercial, de transporte, industrial, público, agropecuario y pesca (Berríos y Castro, 1997). En las secciones 1.1.1 a la 1.1.5 se presenta un análisis de cada una de las formas de energía primaria de El Salvador.

1.1.1. Leña

La leña es madera en estado bruto como ramas, ramillas, troncos, astillas, serrín y pellets que se utilizan en la generación de energía. Es empleada, por su alto poder calorífico, para hacer fuego en estufas, chimeneas o cocinas y es una de las formas más simple de biomasa usada mayormente para calefaccionar y cocinar.

En el cuadro 1.1, se presenta el poder calorífico de algunas especies de uso convencional en El Salvador.

Cuadro 1.1 Poder Calorífico de especies de las que se obtiene leña en El Salvador

Combustible	Calor de Combustión (GJ/TM)
Madera	10.57
Leña de Café	17.30
Leña de Manzano	16.63
Leña de Ciprés	18.17
Leña de Pepeto	16.84
Leña de Madrecacao	15.96

Fuente: (Berríos y Castro, 1997).

En El Salvador en 1995, casi el 60 por ciento de los hogares rurales vivía por debajo de la línea de pobreza, en comparación con el 41 % de los hogares urbanos. Se calculaba que el 87 % de los hogares rurales usaba leña como principal fuente de energía para cocinar, en comparación con el 27 % de los hogares urbanos. Otros análisis, efectuados utilizando datos de las encuestas nacionales de hogares de 1995, revelaron diferencias significativas entre la demanda de leña por región y por ingresos.

Las familias pobres tenían casi seis veces más la probabilidad de consumir leña que las familias que no eran pobres. En cuanto a la pobreza, los hogares situados en antiguas zonas de conflicto en El Salvador, tenían tres veces más la probabilidad de consumir leña. Esos hogares no solo tienen más la probabilidad de ser pobres, sino que carecen de la infraestructura crítica que los vincula con los mercados o que les permita comprar otros combustibles diferentes a la leña. Como consecuencia, éstas familias tienen menos oportunidades de sustituir la leña por otro tipo de combustible doméstico (CEASDES, 2000).

El cuadro 1.2 ilustra cómo la pobreza condiciona el consumo de leña en El Salvador. Las familias pobres y extremadamente pobres, por lo general, consumen más leña en total que las familias que no son pobres, sin embargo, en El Salvador las familias pobres y extremadamente pobres consumen menos leña per cápita que las familias que no son pobres. Esto se debe a la relativa escasez de leña en El Salvador.

Cuadro 1.2. Consumo de leña per cápita en El Salvador¹

Característica del Hogar	1993		1997	
	Consumo de leña per cápita (Libras/ semana)	Cantidad total de leña consumida por semana (Libras por hogar /semana)	Consumo de leña per cápita, por semana. (Libras per cápita /semana)	Cantidad total de leña consumida por semana (Libras por hogar/semana)
Hogares no pobres	27.23	71.02	28.22	92.80
Hogares pobres ²	18.55	86.31	21.65	84.88
Hogares extremadamente pobres	15.68	90.72	19.26	88.49
Con estufa de gas	15.54	63.41	21.27	58.00
Sin estufa de gas	31.78	98.57	26.93	91.95
Con remesas	14.21	51.09	29.91	85.21
Sin remesas	25.48	87.53	24.49	95.38
Hogares mantenidos por una mujer	26.93	50.65	35.85	80.50
Hogares mantenidos por un hombre	24.43	81.92	23.65	94.72
Total	22.82	78.56	26.79	91.07

Fuente: CEASDES, (2000)

¹ Consumo doméstico solamente

² La línea de pobreza se define utilizando el costo mínimo de una canasta de productos básicos. Esto correspondía a 72.48 colones por persona por semana en 1993 y 84.18 colones por persona por semana en 1997. La línea de extrema pobreza es la mitad de la línea de pobreza. Las tasas de cambio eran \$1=8.70 colones en 1993 and \$1=8.80 colones en 1997.

Aunque las familias pobres y las extremadamente pobres son más numerosas, a menudo tienen mayores limitaciones de tiempo y por lo tanto dedican menos horas a la recolección de leña que los hogares que son no pobres, o tienen menos disponibilidad de efectivo para comprarla. A medida que las reservas del bosque menguan en El Salvador, estos hogares deberán bajar su consumo. Además, es probable que las familias pobres y extremadamente pobres consuman alimentos con menor volumen y valor nutricional, cocinen con menos frecuencia y enciendan sus estufas por períodos más cortos (CEASDES, 2000).

El consumo diario de leña se va incrementado al tener una mayor disponibilidad de este recurso, por ejemplo en los cafetales, en donde se tiene una mayor producción y accesibilidad de leña se consumen hasta 3.68 kg diarios, en comparación con los 1.86 kg/día per cápita en el sector marginal. El consumo total anual de leña a nivel industrial y artesanal estima una demanda total de 230,605 toneladas métricas. Según estudios realizados por PROCAFOR en 1999 se conoce que aproximadamente el 37.8% de la población es compradora de leña, un 4.8% son compradores y recolectores y un 34.6% se autoabastecen, a partir de la recolección (Lazo, López y Soriano, 2004).

La enorme demanda de leña en los hogares salvadoreños la suple en un 40% la poda de cafetales y el resto, los bosques naturales y los árboles dentro de las fincas. Según los estudios de CEL (1995), para 1980, ya la demanda superaba la capacidad de abastecimiento de estas fuentes tradicionales (Berríos y Castro, 1997).

La oferta y la demanda de las fuentes primarias de energía deben ser magnitudes iguales para mantener un equilibrio energético, lo cual no sucede con la leña. El balance de esta fuente energética generó en 1995 un déficit de 4,265 Tcal; este déficit resultante es producto del consumo desmedido del recurso leña, principalmente en sector residencial, debido a que se está utilizando la oferta de años futuros sin que se permita la recuperación natural de dichos recursos, además, el crecimiento de las fronteras agrícolas y urbanas contribuyen también a la deforestación acelerada que vive el país (Berríos y Castro, 1997).

Desde el punto de vista de la participación de los distintos energéticos en el consumo total puede apreciarse que los más significativos en términos de la energía bruta final son la leña y los derivados del petróleo. En 1970, la leña constituyó el 69.1% del consumo energético nacional, participación que ha disminuido gradualmente hasta un valor del 50.0% en 1995, por el contrario los productos derivados del petróleo incrementaron su participación del 22.9% al 37.7% durante el mismo período. Se espera que en el año 2020, la participación de las fuentes en los usos calóricos del sector residencial urbano sea la siguiente: el GLP³ abastecerá el 81% de la energía útil, mientras que la leña abastecerá sólo el 5%, el gas natural el 9%, la electricidad el 2%, el carbón vegetal el 1% y la energía solar el 2% (CEL 1997).

³ GLP: Gas licuado del petróleo

El consumo de leña casi nunca ha despertado el interés de los gobiernos de la región, por ser una actividad de poco movimiento económico y por consiguiente de poca generación de riqueza privada, esto ha hecho que la actividad se vuelva no sustentable al tenerse altos niveles de consumo por el uso de cocinas altamente ineficientes. Esto ha motivado una creciente escasez de leña acompañado de un creciente incremento del precio lo que genera un fuerte impacto en los sectores de menos recursos económicos que antes disponían de un bien que muchas veces era obtenido libremente. Además el proceso de cocción de alimentos ha tenido lugar casi siempre en espacios cerrados ocasionando enfermedades respiratorias sobre todo a las mujeres por ser ellas las encargadas de preparar los alimentos (CESTA, 2008).

Los hogares pobres, principalmente en el área rural, continúan usando leña en gran proporción, como fuente alternativa de energía para cocinar los alimentos. Aunque los porcentajes de los hogares que utilizan leña han descendido desde 1995, las tasas de uso siguen siendo muy altas. El uso de leña tiene impactos altamente negativos sobre la salud humano y la preservación de las fuentes de agua potable. Por tal razón, el Gobierno mantiene su política de subsidio al gas como alternativa para que los hogares pobres transiten hacia el uso de este energético, en vez de leña. Por otro lado, el subsidio al gas atenúa el impacto de la crisis de precios de petróleo que golpea a familias de escasos ingresos (CNE, 2007).

El subsidio de gas para el 2006 alcanzó los 80 millones de dólares, y el Gobierno reconoce que uno de los retos más grandes que se tiene es la focalización de éste. Sin embargo, mientras no se encuentren mecanismos adecuados de focalización, se continuará con el esquema actual para no afectar la factura de los hogares de menores ingresos (CNE, 2007).

1.1.2. Energía Geotérmica

Los campos geotérmicos de El Salvador, como los de la mayor parte del mundo, son de origen volcánico y la actividad mediante la cual se manifiestan en la superficie del terreno, en forma de ausoles, fuentes termales, fumarolas, etc., es conocida como actividad volcánica atenuada (Berríos y Castro, 1997).

A nivel mundial la generación de energía eléctrica a partir de la explotación geotérmica, se califica como una energía limpia y renovable al compararla con otras fuentes de energía a base de combustibles fósiles responsables de liberar gases que provocan el efecto invernadero. Las bajas concentraciones de gases emitidos a la atmósfera durante la generación de energía eléctrica a partir del recurso geotérmico, son menos significativas que las detectadas en las emanaciones de las zonas naturales fumarólicas de origen volcánico en El Salvador.

LaGeo tiene concesiones en cuatro áreas o campos geotérmicos, en dos de ellas tiene instaladas centrales geotérmicas a condensación y las otras dos están en fase de explotación y factibilidad. Las dos centrales geotérmicas se encuentran ubicadas en los departamentos salvadoreños de Ahuachapán y Usulután (LaGeo, 2010).

La energía geotérmica en El Salvador se viene utilizando para producir electricidad desde 1975, cuando en el campo geotérmico de Ahuachapán se instaló la primera unidad de 30 MW, luego una segunda unidad con la misma capacidad entró en operación comercial en 1977 y finalmente en el mismo campo se instaló en 1981 una tercera unidad de 35 MW. En la actualidad la generación promedio de la central es de 60 MW, la cual representa un 63 % del total instalado. La capacidad instalada de la central al 30 de junio de 2009 fue de 95 MW y la capacidad disponible de 80 MW. En 1992 se incorporaron dos unidades de 5 MW en el campo geotérmico de Berlín, Usulután; La capacidad instalada de la central al 30 de junio de 2009 fue de 109.4 MW y la capacidad disponible de 103.8 MW (SIGET, 2009).

El cuadro 1.3 muestra las capacidades actuales instaladas y disponibles de ambos campos geotérmicos. Se proyectan que los campos geotérmicos existentes en Ahuachapán y Berlín asegurarán aproximadamente 25 años adicionales de producción (LaGeo, 2010).

Actualmente la capacidad de generación de las centrales geotérmica es de 204.4 MW. La inyección neta del recurso geotérmico el primer semestre de 2009 fue de 681.96 GWh, lo que corresponde a 24.6% de participación del recurso en la inyección neta nacional (SIGET, 2009).

Cuadro 1.3. Capacidad instalada y disponible de los campos geotérmicos de Berlín y Ahuachapán de El Salvador

Campo Geotérmico	Número de Unidades	Capacidad Instalada (MW)	Capacidad Disponible (MW)
Ahuachapán	$(2*30.00)+(1*35.00)$	95.0	80.0
Berlín	$(2*28.12)+(1*44.00)$	109.4	103.8
Total		204.4	183.8

Fuente: (LaGeo, 2010)

1.1.3. Petróleo

La oferta de petróleo en El Salvador es abastecida únicamente por importación, dado que no existen reservas probadas de hidrocarburos, el cual constituye la principal fuente comercial de energía para El Salvador. El detalle de importación de petróleo en El Salvador de enero a septiembre de 2009 se presenta en el Cuadro 1.4.

Cuadro 1.4. Detalle de importación de petróleo en El Salvador de enero a septiembre de 2009

Mes	Importación de Petróleo Crudo (US\$)
Enero	3,178,103
Febrero	48,142,670
Marzo	16,401,951
Abril	52,531
Mayo	22,551,280
Junio	165,477
Julio	30,126,934
Agosto	21,179,257
Septiembre	86,739
Total	141,884,943

Fuente: (DGA, 2009)

1.1.4. Residuos Vegetales

Los residuos vegetales capturan su energía del sol en el proceso de fotosíntesis, y es utilizada por el hombre no sólo como alimento, sino también como combustible. La finalidad principal de la agricultura siempre fue la de producir alimentos, fibras y energía para el hombre, pero en años recientes, como consecuencia de la crisis mundial del petróleo y el rápido agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, el uso de plantas o sus residuos para fines de producción de energía cobró un nuevo interés, al considerarse como una alternativa económica y ecológicamente viable para la producción de energía accesible a todos en algunas regiones, especialmente en los trópicos donde hay abundancia de radiación solar (MINED, 1997).

Los energéticos constituidos por residuos vegetales son parte de los bioenergéticos (biomásicos), y en El Salvador existe un potencial aún no explorado. Dentro de ellos se encuentran los residuos agroindustriales, residuos agrícolas, pecuarios, desechos urbanos, etc. Actualmente los principales residuos vegetales utilizados para este fin son los residuos agroindustriales del café (pulpa y cascarilla), bagazo de caña y en menor grado los residuos vegetales como la estopa de coca, el zacate de arroz, cogollo y hoja de caña de azúcar (Berríos y Castro, 1997).

La determinación del poder calorífico de los rastrojos de los cultivos de caña de azúcar y maíz; cuya oferta del potencial energético disponible está estimada en un promedio de ambos 1,252.63 Tcal para el período 1989-1995 y es un poco menos que la oferta de biomásas que ya son usadas en El Salvador (bagazo de caña y cascarilla) que es de 2,179.91 Tcal para ese mismo período. Estos residuos podrían sustituir entre un 26.57% y un 48.58% el déficit energético proveniente de la leña (Berríos y Castro, 1997).

1.1.5. Energía Hidráulica

El principal recurso hidráulico del país lo constituye el río Lempa, en el cual existe actualmente una capacidad instalada de 388 MW, equivalente sólo al 27.7% de su potencia hidroeléctrica total (1,398.6 MW). La explotación energética actual del río está distribuida en cuatro plantas hidroeléctricas, que se presentan en la figura 1.3



Figura 1.3 Ubicación Geográfica de las Centrales Hidroeléctricas de El Salvador

Fuente: (CEL, 2010)

Cuadro 1.5. Potencia instalada de las Centrales Hidroeléctricas de El Salvador

Nombre de la Planta	Potencia Instalada MW	Año de Entrada en Operación
Guajoyo	19.7	1963
5 de Noviembre	99.4	1954
Cerrón Grande	170	1977
15 de Septiembre	180	1983
Total de Potencia Instalada	469.1	

Fuente: (CEL, 2010)

Los mayores problemas de disminución de la eficiencia en las centrales hidroeléctricas radican en el asolvatamiento⁴ de las presas, consecuencia directa de la deforestación que a su vez tiene relación con el consumo de leña como fuente primaria de energía.

⁴ Asolvatamiento: es el fenómeno en el cual se acumula el depósito de los sedimentos acarreados por el agua en lagos, depósitos subterráneos, presas, embalses, cauces de las corrientes y zonas inundables, depósitos subterráneos, etc. Y que tiene como resultado la transformación del medio ambiente, lo cual acarrea un gran impacto para el ecosistema de esa región”.

1.2 Mercado Energético en El Salvador.

El mercado eléctrico en El Salvador está compuesto por las actividades de generación, transmisión y distribución de suministro eléctrico. Las actividades de distribución son desarrolladas por empresas que son controladas en su totalidad por capitales privados, mientras que el Estado ejerce funciones en la transmisión, y parcialmente en la generación.

El organismo del Estado que participa en la regulación del sector eléctrico en El Salvador es la Superintendencia general de electricidad y telecomunicaciones (SIGET), quien se encarga de elaborar y coordinar los planes, políticas y normas necesarias para el buen funcionamiento y desarrollo del sector energético nacional, velar por su cumplimiento y asesorar a los organismos de Gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía. En la figura 1.4 se ilustra la estructura del sector energético en El Salvador hasta el año 2009.

En el cuadro 1.6 se enlistan los distintos participantes del Mercado Eléctrico, distinguiendo entre los generadores como tales y los cogeneradores.

Los agentes a los que se les denomina genéricamente "Generadores", son aquellos que efectúan sus transacciones de energía en el Mercado Mayorista de Electricidad (normalmente con capacidad instalada igual o superior a 20 MW). Se define como Cogenerador, aquella persona natural o jurídica que produce energía utilizando un proceso de Cogeneración y que puede ser o no, el propietario del sistema de Cogeneración. Entendiendo como Cogeneración, el proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de una actividad productiva, destinadas ambas al consumo propio o de terceros y destinadas a procesos industriales o comerciales.

Por otra parte, en el cuadro 1.7, se muestra la capacidad instalada y disponible de las centrales generadoras de electricidad al 30 de junio de 2009. En diciembre de 2008 se incorporaron al mercado mayorista los ingenios El Ángel y La Cabaña, con capacidades de 22.5 MW y 21.0 MW, respectivamente. En el pasado estos ingenios vendían sus excedentes a las distribuidoras por estar conectados a sus redes pero a partir de diciembre de 2008 su generación es ofertada en el mercado mayorista.

1.3 Biomasa como recurso energético renovable

Para la mayoría de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes de biomasa, como leña, carbón de leño, cascarilla de arroz, que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes.

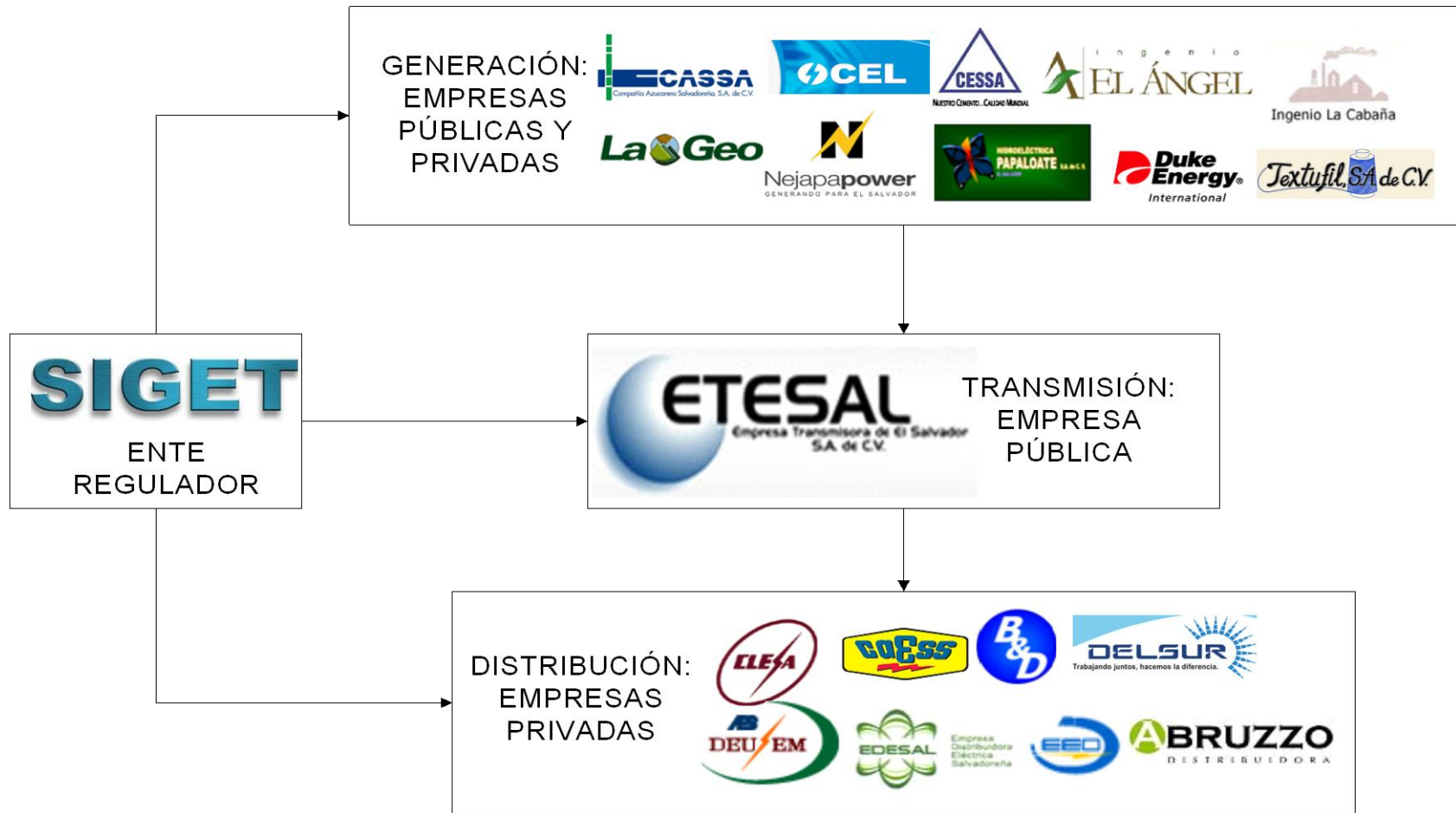


Figura 1.4 Estructura actual del sector de Energía Eléctrica de El Salvador
Fuente: (SIGET, 2009)

Cuadro 1.6. Empresas generadoras, cogeneradoras, transmisoras y distribuidoras de energía eléctrica a junio de 2009 en El Salvador

Empresas generadoras y cogeneradoras de energía eléctrica		Empresa transmisora de energía eléctrica	Empresas distribuidoras de energía eléctrica
Generadoras	Cogeneradoras	Etesal: Empresa Transmisora de El Salvador	
CECSA: Compañía Eléctrica Cucumacayán	CASSA: Compañía Azucarera Salvadoreña		ABRUZZO
CEL: Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa	CESSA: Cemento de El Salvador		AES-CLESA: Compañía de Luz Eléctrica de Santa Ana.
De Matheu: Hidroeléctrica Sociedad De Matheu y Cía.	Ingenio El Angel		B&D Servicios Técnicos
DUKE: DUKE Energy International	Ingenio La Cabaña,		CAESS: Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador
Egi Holdco: Egi Holdco El Salvador	Textufile		DELSUR: Distribuidora de Electricidad del Sur
Energía Boreales			DEUSEM: Distribuidora Eléctrica de Usulután, Sociedad de Economía Mixta.
Generadora Eléctrica Central			EDESAL: Empresa Distribuidora Eléctrica Salvadoreña
Hilcasa Energy			EEO: Empresa Eléctrica de Oriente
Inversiones Energéticas			
La Geo			
Nejapa Power Company, LLC			
Central Hidroeléctrica Papaloate			
Sociedad Hidroeléctrica Sensunapán			

Fuente: (SIGET, 2009)

Cuadro 1.7. Capacidad instalada y disponible de las centrales generadoras de electricidad de El Salvador al 30 de junio de 2009

	Capacidad Instalada		Capacidad disponible	
	(MW)	%	(MW)	%
HIDRÁULICA	472.0	32.1	472	34.7
1. Guajoyo	19.8	1.3	19.8	1.5
2. Cerrón Grande	172.8	11.7	172.8	12.7
3. 5 de Noviembre	99.4	6.8	99.4	7.3
4. 15 de Septiembre	180.0	12.2	183.8	13.5
GEOTÉRMICA	204.4	13.9	183.8	13.5
5. Ahuachapán	95.0	6.5	80	5.9
6. Berlín	109.4	7.4	103.8	7.6
TÉRMICA	794.7	54.0	705	51.8
7. Duke Energy	338.3	23.0	310	22.8
8. Nejapa Power	144.0	9.8	141	10.4
9. Cemento de El Salvador	32.6	2.2	32.6	2.4
10. Inversiones Energéticas	100.2	6.8	100.2	7.4
11. Textufil	44.1	3.0	40.05	2.9
12. GECSA	11.6	0.8	11	0.8
13. Energía Borelis	13.8	0.9	13.4	1.0
14. Hilcasa Energy	6.8	0.5	6.8	0.5
15. CASSA	60.0	4.1	28	2.1
16. Ingenio El Ángel	22.5	1.5	3.5	0.3
17. Ingenio La Cabaña	21.0	1.4	18	1.3
TOTAL	1471.2	100.0	1360	100

Fuente: (SIGET, 2009)

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego (FOCER, 2002).

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad.

Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustibles líquidos o gaseosos, los cuáles son más convenientes y eficientes. Así aparte de la combustión directa, se pueden distinguir otros dos tipos de procesos: el termo-químico y el bio-químico.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas pues en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. En la agroindustria, los procesos de secado de granos generan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la de arroz. Por otro lado, los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente.

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol, a través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar. Entonces, se produce en forma sostenida o sea, en el mismo nivel en que se consume, esa batería durará indefinidamente.

Atendiendo a su contenido hídrico las biomásas pueden ser “secas” cuando su humedad no sobrepasa el 13%. Algunas biomásas pueden llegar a superar el 90% de humedad.

Los recursos biomásicos incluyen cualquier fuente de materia orgánica, como desechos agrícolas y forestales, plantas acuáticas, desechos animales y basura urbana.

Su disponibilidad varía de región a región, de acuerdo con el clima, el tipo de suelo, la geografía, la densidad de la población, las actividades productivas, etc; por eso, los correspondientes aspectos de infraestructura, manejo y recolección del material deben adaptarse a las condiciones específicas del proceso en el que se deseen explotar.

1.3.1 Fuentes de Biomasa

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas (ver Figura 1.5), se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

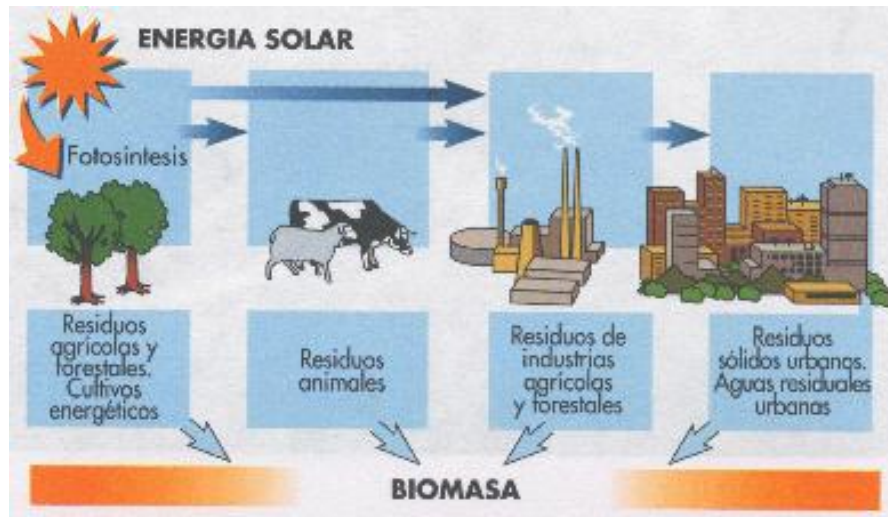


Figura 1.2 Origen de la Biomasa
Fuente: (FOCER, 2002)

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, caleras, secado de granos, etc.

a) Plantaciones energéticas

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Una granja típica, usualmente, sólo genera uno o dos productos de mayor valor comercial como maíz, café, leche o carne. El ingreso neto de ello es, a menudo, vulnerable a las fluctuaciones del mercado, al aumento del costo en los insumos, a las variaciones climáticas y a otros factores. Dado que las plantas de generación de energía requieren un suministro estable de combustible, los cultivos asociados a ellas pueden proveer un ingreso permanente a los granjeros que decidan diversificar su producción.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

b) Residuos forestales

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor como se muestra en la figura 5, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

c) Desechos industriales

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

d) Desechos urbanos

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras.

La mayoría de los países centroamericanos carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”.

En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía.

e) Desechos Agrícolas

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%. Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido.

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de “residuos húmedos” en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Esta práctica puede provocar una sobre fertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

1.3.2 Características de la biomasa

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos que se explican a continuación, determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

a) Tipo de biomasa

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc.

El estado físico de la biomasa puede clasificarse según el tipo de recurso, como se indica en el cuadro 1.8:

Cuadro 1.8. Estado físico de la Biomasa

Recursos de Biomasa	Tipo de Residuo	Características Físicas
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas.	Polvo sólido, HR ² > 50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30 – 45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces	Sólido, HR >55%
Residuos Agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales	Sólido, alto contenido humedad
	Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café).	Polvo, HR < 25%
	Estiércol	Sólido, alto contenido humedad
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura	Sólido, HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido, humedad moderada
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido, alto contenido humedad
	Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Líquido, grasoso
Residuos Urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales)	Sólido, alto contenido humedad
	Basura orgánica (madera)	Sólido, alto contenido humedad

Fuente: FOCER, (2002)

b) Composición química y física

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

c) Contenido de humedad (H.R.)

El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

d) Porcentaje de cenizas

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

e) Poder calórico

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

f) Densidad aparente

Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso.

g) Recolección, transporte y manejo

Las condiciones para la recolección, el transporte y el manejo en planta de la biomasa son factores determinantes en la estructura de costos de inversión y operación en todo proceso de conversión energética. La ubicación del material con respecto a la planta de procesamiento y la distancia hasta el punto de utilización de la energía convertida, deben analizarse detalladamente para lograr un nivel de operación del sistema por encima del punto de equilibrio, con relación al proceso convencional.

1.3.3 Biomasa en El Salvador

El potencial técnico para la generación de energía eléctrica a partir de biomasa cuenta con empresas y profesionales a nivel nacional con buena experiencia para diseñar y ejecutar proyectos con estos recursos. Los Ingenios Central Izalco, El Ángel y La Cabaña han llevado a cabo en los últimos años proyectos de cogeneración de energía eléctrica a partir de bagazo de caña.

El cuadro 1.7, muestra que para 2009, la capacidad instalada de Grupo CASSA representa un 4.1% de la capacidad instalada mayorista a nivel nacional (60 MW), pero de ésta solo un 53% constituye la fracción disponible. Del mismo modo, Ingenio El Ángel cuenta con una capacidad disponible de 3.5 MW e Ingenio La Cabaña de 18 MW. En conjunto, representan un aporte de tres punto seis puntos porcentuales de la matriz energética, correspondiente a la generación a partir de biomasa, específicamente bagazo de caña.

El bagazo tiene un alto poder calorífico neto para la producción de energía, de 6.98 GJ/TM, a 50% de humedad (Velásquez, 2009). Sin embargo, estudios realizados por Ingenio El Ángel señalan un poder calorífico de 7.88 GJ/TM, para bagazo a las mismas condiciones (Ingenio El Ángel, 2010).

Se ha estimado también que los cafetales tienen un alto valor energético, comenzando por la madera que de ellos se extrae. Solo la poda anual de árboles de sombra y cafetos genera unos dos millones de metros cúbicos de leña, lo que satisface la demanda energética total o parcial del 77.3% de la población salvadoreña.

Se ha determinado que cada año el beneficiado del café genera unos seis millones de quintales de pulpa y 0.7 millones de quintales de cascarilla, cuyo alto poder de combustión ahorraría la utilización de petróleo durante el secado del grano. En el año 2002 se proyectaba beneficiar unos 33,000 quintales de café en la temporada, de los cuales resultarían más de 6,000 quintales de cascarilla que sería utilizada en gran parte para alimentar las calderas porque levanta rápido el vapor.

Los beneficios de café y los ingenios azucareros son apenas dos ejemplos de empresas con potencial de biomasa para generar energía eléctrica. Pero la biomasa no es bien aprovechada para producir energía en El Salvador, según afirma el Programa Iberoamericano para la Ciencia, la Tecnología y el Desarrollo (CYTED). El aprovechamiento de la biomasa abonaría a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), una factura que además pagarían los países industrializados que más contaminan, gracias a la venta de bonos de carbono.

La biomasa tiene un gran potencial energético en El Salvador. En el cuadros 1.9., se presenta el potencial energético a partir de la de generación de residuos de cultivos tradicionales, según lo evaluado y reportado en las investigaciones de Berríos y Castro (1997) y Domínguez, Henríquez y Parras (2000), respectivamente.

Cuadro 1.9. Potencial energético evaluado de residuos disponibles de los cultivos de maíz, caña de azúcar, arroz, frijol y sorgo en El Salvador

	Año	Potencial energético (GJ)
Residuos generados de maíz*	1993/94	12,019,549.18
Residuos generados de caña de azúcar*	1993/94	7,686,462.38
Residuos disponibles de arroz**	2000/01	534,319.42
Residuos disponibles de frijol**	2000/01	172,286.82
Residuos disponibles de sorgo**	2000/01	224,747.42

Fuente: *(Berríos y Castro, 1997)

** (Domínguez, Henríquez y Parras, 2000)

2. GENERALIDADES DEL SUB SECTOR AVÍCOLA EN EL SALVADOR

La avicultura en El Salvador representa hoy en día uno de los rubros más importantes en El Salvador por aportar a la seguridad alimentaria de la población en cuanto a la oferta de carne de aves de corral. Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, estiman, que para El Salvador el suministro per cápita de carnes, se lidera por las carnes provenientes de las aves de corral (FAO, 2010).

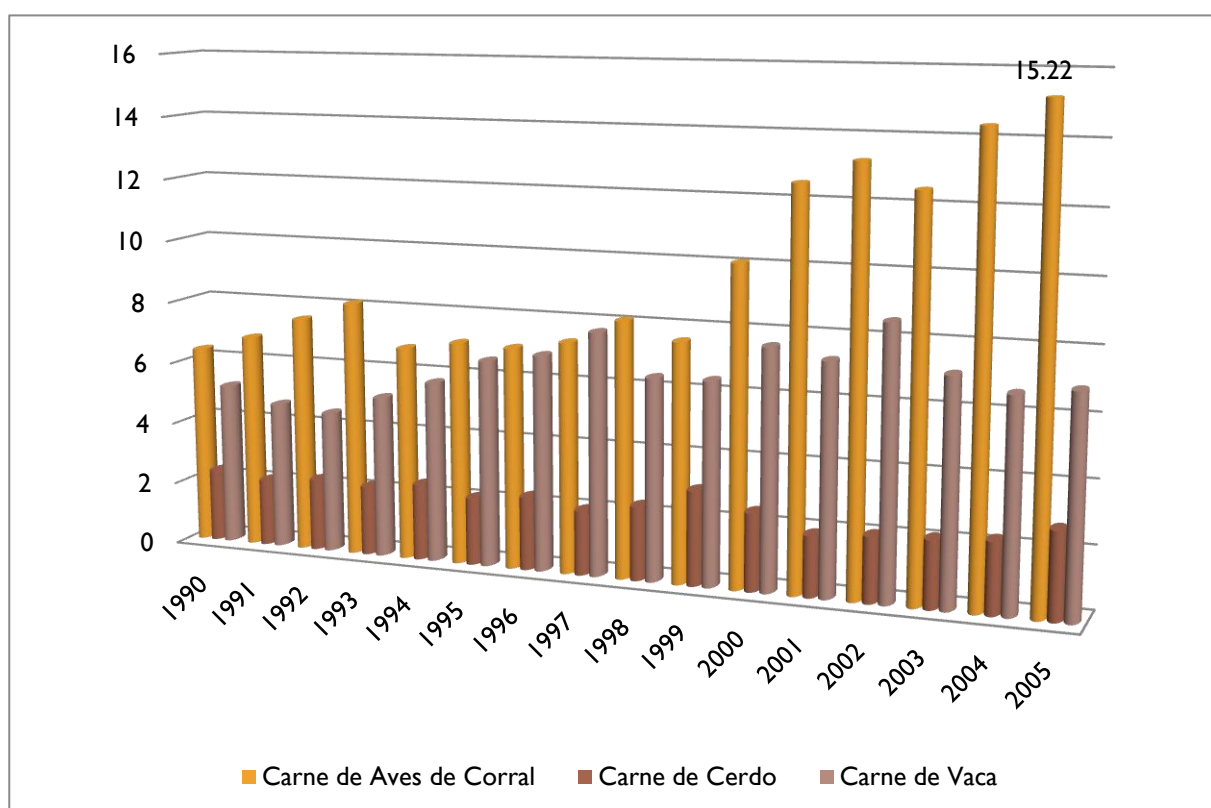


Figura 2.1 Cantidad de suministro de carne per cápita (kg/año). El Salvador, 1990-2005.
Fuente: (FAO, 2010).

Analizando el comportamiento de la producción de carne de pollo, en el periodo comprendido entre 1991 y 2008, se observa una tendencia creciente, alcanzándose una producción máxima en 2007, que asciende a los 203 millones de libras de carne de pollo; sin embargo para 2008 se observa una reducción del 13.49% en la producción respecto al año anterior (AVES, 2010).

Para el año 2008 existió una producción de 192.3 millones de libras de carne de pollo que fueron dispuestas en el mercado. Este dato, representó un 63 % de la producción de carne a nivel Nacional (FAO, 2010).

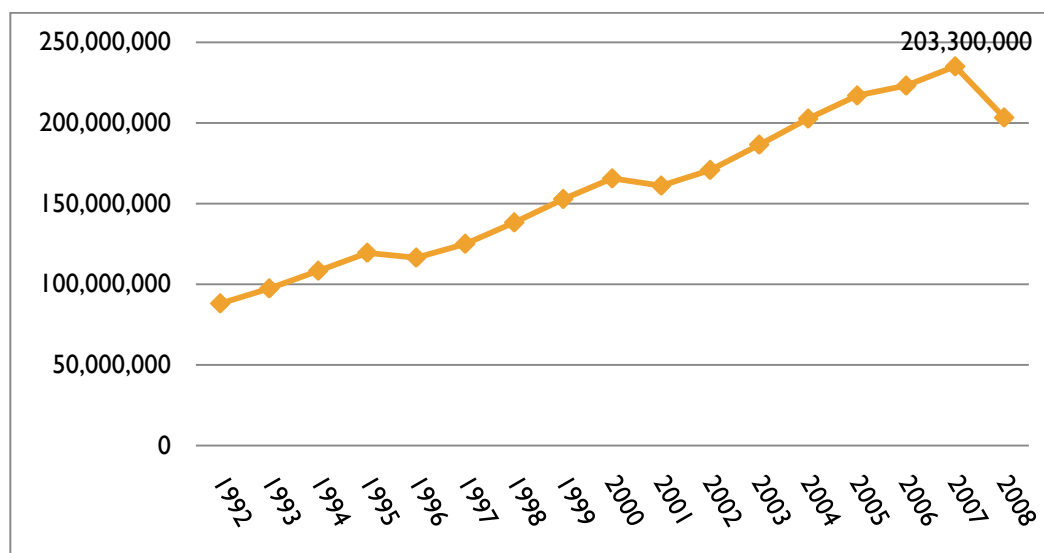


Figura 2.2 Producción de carne de pollo (lb) en El Salvador en el período 1992-2008.
Fuente: (FAO, 2010).

2.1. Desarrollo de exportaciones e importaciones en el Sub Sector Avícola de El Salvador

La producción y la comercialización de aves de corral, pertenecen, según la Clasificación Industrial Uniforme a las actividades o giros económicos enlistados en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Actividades por CIU encaminadas a la comercialización de aves de corral en El Salvador.

No. de empresas	CIU	Actividad
7	512124	VENTA DE AVES DE CORRAL VIVAS.
11	512215	VENTA DE POLLOS, GALLINAS DESTAZADAS, PAVOS Y OTRAS AVES.
25	522005	VENTA DE AVES DE CORRAL VIVAS.
203	522006	VENTA DE AVES DE CORRAL DESTAZADAS.
713	525207	VENTA DE GALLINAS Y OTRAS AVES DESTAZADAS.

Fuente: (DIGESTIC, 2007)

Por otro lado, el Arancel Centroamericano de Importación está constituido por el SISTEMA ARANCELARIO CENTROAMERICANO (S.A.C.), el cual, señala las mercancías mediante un código numérico de ocho dígitos: los dos primeros identifican al capítulo; los dos siguientes, a la partida; el tercer par, a la sub partida; y los dos últimos, a los incisos.

Siendo la mercancía los **pollos de engorde**, el código numérico del S.A.C. correspondiente es 01051100-02001; el cual forma parte del capítulo y partida 0105, que comprende mercancías como **“Gallos, gallinas, patos, gansos, pavos (gallipavos) y pintadas, de las especies domesticas, vivos”**.

Estadísticas de importaciones y exportaciones en la partida arancelaria 0105, según el Centro de Trámites de Exportación (CENTREX) del Banco Central de Reserva de El Salvador, revelan que para el 2009, El Salvador importó en este rubro un monto de USD\$3,007,042.18, correspondientes a un volumen de producción de 122.24 toneladas métricas de aves. Los países de origen de las importaciones, y la distribución porcentual, se representan en la figura 2.3. Sin embargo, no se encontró información para la desagregación arancelaria de pollos de engorde.

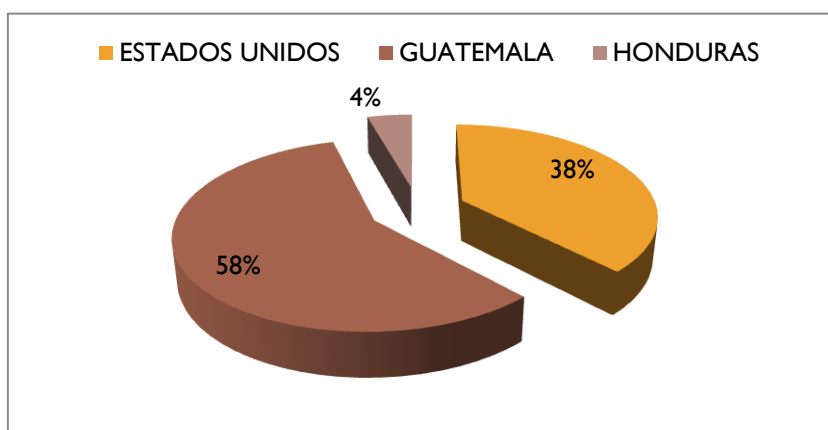


Figura 2.3 Distribución porcentual de países de origen de las importaciones hacia El Salvador S.A.C. 0105⁵, 2009

Fuente: (BCR, 2009)

Por otro lado, la Asociación de Avicultores de El Salvador, estima que las exportaciones del sub Sector Avícola, en el 2009 ascienden a USD\$ 13,679,947; considerando la comercialización de pollo congelado (S.A.C. 02.07, “Carne y despojos comestibles de la partida 01.05, frescos, refrigerados o congelados”), huevo entero con cáscara (S.A.C. 04.07, “Huevos de ave con cascarón, frescos, conservados o cocidos”), huevo pasteurizado y congelado (S.A.C 04.08), embutidos de pollo (S.A.C. 16.02 “De las demás preparaciones y conservas de carne, despojos o sangre”, y pollos de engorde (S.A.C. 01.05, “Gallos, gallinas, patos, gansos, pavos (gallipavos) y pintadas, de las especies domesticas, vivos”).

⁵ S.A.C. 01.05, “Gallos, gallinas, patos, gansos, pavos (gallipavos) y pintadas, de las especies domesticas, vivos”.

De este monto, el 38.95% corresponde a la partida arancelaria 0105. Al revisar el comportamiento del aporte de dicha partida a las exportaciones globales del sector Avícola en el período entre 1995 y 2009, resulta un promedio del 39.92%, lo que le imprime relevancia las actividades relacionadas con la partida.

En la Figura 2.4 se reflejan las exportaciones del sector avícola, y la fracción de las mismas correspondientes a la partida 01.05.

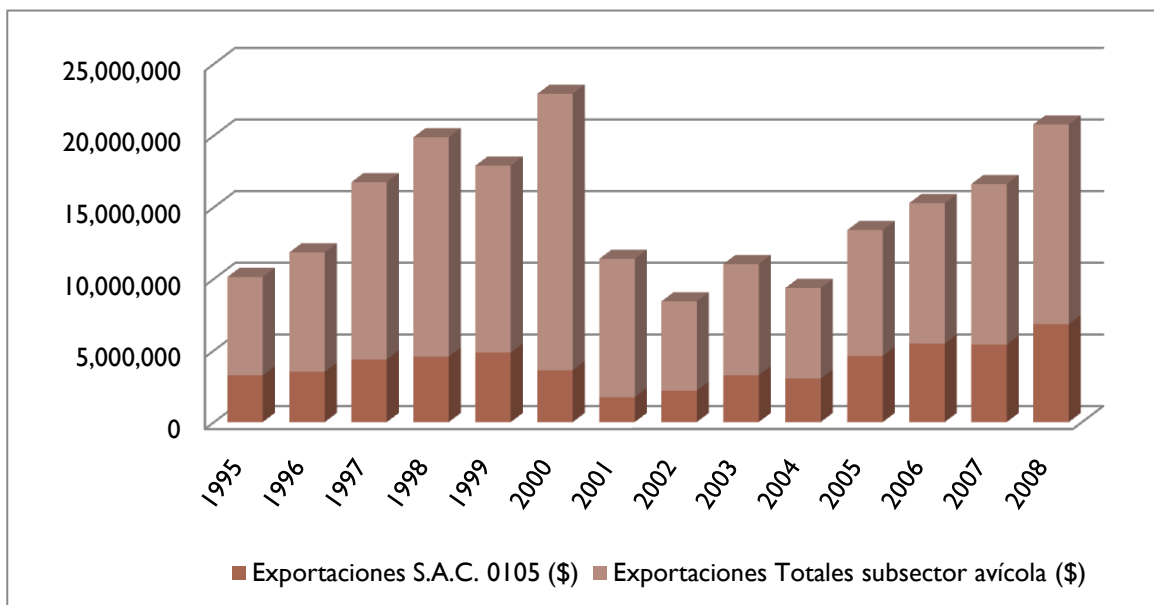


Figura 2.4 Exportaciones del sub sector avícola de El Salvador

Fuente: (BCR, 2009)

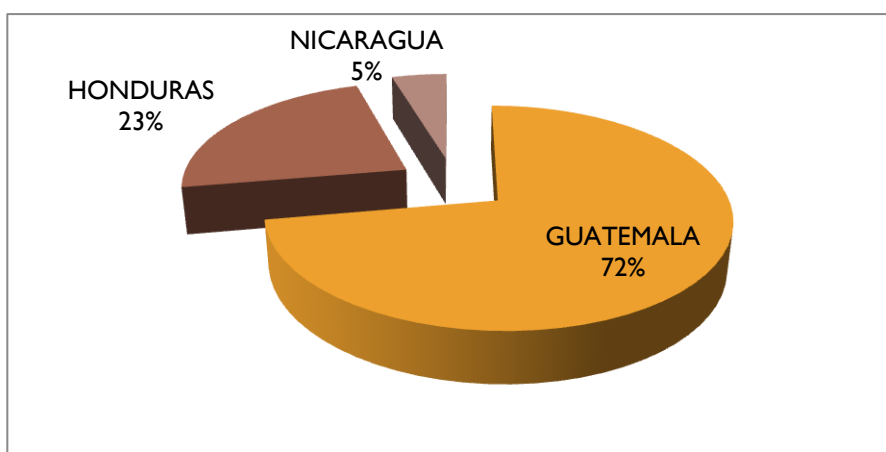


Figura 2.5 Distribución porcentual de países destino de las exportaciones de El Salvador S.A.C. 0105, 2009.

Fuente: (BCR, 2009)

2.2. Participación del Sub Sector Avícola en el PIB

De acuerdo a la Asociación de Avicultores de El Salvador y datos del Banco Central de Reserva, se tiene que para el año 2008 la avicultura aportó al PIB un 1.49 %. Dicho aporte dentro del rubro agropecuario representa un 11.49 % y específicamente un 35.14 % del aporte de todo el sector pecuario. En el cuadro 2.2 y en la figura 2.6 se muestra la progresión de la fracción del Producto Interno Bruto correspondiente al sub sector avícola en el periodo de 2000 a 2008.

Cuadro 2.2 Aporte porcentual del Sub Sector Avícola en PIB de El Salvador

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
EN EL PIB TOTAL	1.59	1.54	1.6	1.65	1.72	1.74	1.72	1.74	1.49
EN EL PIB AGROPECUARIO	12.94	13.08	13.85	14.53	14.95	14.92	14.26	13.9	11.49
EN EL PIB PECUARIO	39.13	38.60	39.87	40.86	41.45	41.63	40.03	39.58	35.21

Fuente: (AVES, 2010)

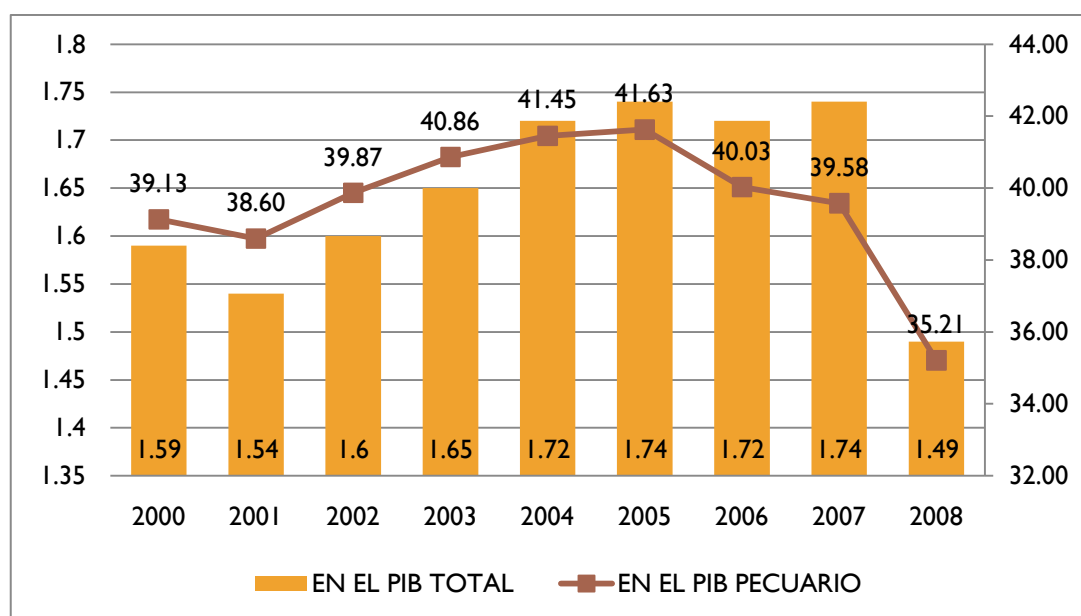


Figura 2.6 Aporte porcentual del Sub sector Avícola en el PIB de El Salvador

Fuente: (AVES, 2010)

Traducido en millones de dólares, el subsector avícola ha contribuido con aproximadamente 1235.0 millones de dólares acumulados para el periodo 2000-2008 en el Producto Interno Bruto nacional. En el cuadro 2.3 se muestra el desglose de dicho aporte:

Cuadro 2.3. Aporte del Sub Sector Avícola en PIB de El Salvador (millones de dólares)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
AVICULTURA	119.7	117.8	125.3	132.6	140.2	146.9	150.9	159.7	141.9

Fuente: (AVES, 2010)

2.3 Sistemas de Producción Avícola

La producción de carne de ave se caracteriza por ser una industria dinámica, en la cual el producto terminado se obtiene en un corto período de tiempo (7-8 semanas). La cadena de producción comienza en los planteles de reproducción, donde se obtienen los huevos fértiles que darán origen finalmente a las aves comerciales, de este modo, es que se distinguen las siguientes etapas productivas, que se presentan de la sección 2.3.1 a la 2.3.4.

2.3.1 Incubadoras

Existen tres sistemas distintos ampliamente usados en incubación avícola comercial hoy en día; estos son: Incubadoras de carga-múltiple y estanterías fijas, Incubadoras de carga-múltiple con carros para el huevo, carga por bloque e Incubadoras de carga única (todo-dentro, todo-fuera) con carros para el huevo.

Cada una de estas opciones presenta ventajas, desventajas, fortalezas y debilidades en cuanto a higiene, mantenimiento, costos de producción (rentabilidad), porcentajes de nacimiento, calidad del pollito (rendimiento en granjas) y, costos de adquisición de los equipos (Salazar, 2007).

2.3.2 Granjas Ponedoras

Las explotaciones avícolas enfocadas a la producción de huevos se dividen por lo general en dos tipos:

a) Granjas de desarrollo

Estas granjas albergan a las pollitas entre cero semanas a 18 semanas de edad con el fin de suplir todas las necesidades nutricionales y preparar a las futuras ponedoras. En su mayoría los sistemas de producción son en piso, es decir, la superficie del suelo recibe una cubierta de granza de arroz para proteger las patas de las aves, el equipamiento de cada uno de los galpones puede ser:

Sistema de túnel:

Este sistema cuenta con equipos digitales que se encarga del monitoreo de temperaturas dentro del galpón lo que permite que se activen el sistema integrado de clima controlado el cual está compuesto por un sistema de calefacción (calentadoras a base de gas) y un sistema de enfriamiento (paredes húmedas y extractores de aire), éstos se activan dependiendo del diferencial de temperatura ambiente con la temperatura teórica a la que debería de encontrarse el interior del galpón. Todo el sistema se encuentra acompañado de un sistema de cortinas que ayudan a los sistemas de control de temperatura.

Sistema abierto:

La diferencia de este sistema al anterior se basa en que el nivel de automatización es menor así mismo existe diferencia en los equipos que se utilizan ya que para la liberación de calor del interior de los galpones hacia los extremos se utilizan ventiladores y no el sistema de paredes húmedas y extractores.

b) Granjas de postura

Se reciben a las pollitas de 18 semanas de edad hasta aproximadamente una edad entre 80 a 100 semanas, en estas granjas las aves ya empiezan la producción de huevos por lo que dentro de las instalaciones se cuenta con área de recolección de los mismos, ya sea de forma manual o mecánica y posteriormente un área de almacenamiento.

Los sistemas de producción puede ser una combinación de sistemas de túnel o sistema abierto con los siguientes factores:

Sistema a piso:

Son sistemas donde la superficie del suelo dentro el galón es cubierta con granza de arroz, dentro de estos sistemas se cuenta con una serie de “nidos” donde el ave deposita el huevo, por el tipo de tecnología utilizada, la recolección de éstos debe de ser de forma manual así como su clasificación, empaque y almacenamiento.

Sistema de jaula:

Algunos sistemas no utilizan la superficie del galpón como medio de producción, sino que utilizan sistemas más intensivos a través del uso de jaulas especiales para este rubro. Cabe resaltar que algunos sistemas presentan un diseño específico, tal es el caso que algunas granjas utilizan solo un nivel de jaula, en otros sistemas se utilizan cuatro niveles de jaula donde la población promedio por jaula es entre 6 y 8 aves. El sistema de jaulas al no contar como superficie el suelo, por lo general cuentan con fosas anegadas para así captar todo el desecho que se genere.



Figura 2.7 Sistema de producción de gallinas de postura en jaula
Fuente: (AGROADS, 2010)

2.3.3 Granjas de engorde

Las granjas de engorde de pollo son bajo el sistema a piso, por lo que siempre es necesario contar con un sistema de cama a base de granza de arroz. Estos sistemas de producción albergan a la población de pollo en un rango entre 6 – 8 semanas por lo que existe una rotación continua de aves. Una granja de este tipo puede contar con diferentes galpones y todo se encuentra en función de la disponibilidad de terreno. Los sistemas de producción e instalaciones utilizadas pueden variar de acuerdo a la inversión que quiera realizarse, tal es el caso que pueden clasificarse como sistemas de tipo túnel o de tipo abierto.



Figura 2.8 Granjas de pollos engorde
Fuente: (AGROADS, 2010)

2.3.4 Sacrificio

El sacrificio o planta de procesamiento se le denomina al área donde las aves son procesadas para su comercialización. Dentro de las instalaciones se cuenta con un espacio para el recibo de las aves y posteriormente éstas entran a la línea de producción pasando por el sacrificio que consisten en el aturdimiento y sangrado se procede al desplumado, generalmente realizado con agua caliente. En el paso siguiente de la línea de producción se retiran las vísceras del ave y son separadas de las partes que no son comercializadas, adicionalmente se cuentan con equipos para realizar un choque térmico al ave, generalmente bajo un baño en agua fría.

Todo el producto que es comercializado se almacenado en cuartos fríos afín de conservar la temperatura adecuada y posteriormente realizar la distribución de los mismos.

2.3.5 Distribución de granjas avícolas en El Salvador

De acuerdo al Diagnóstico ambiental del sector avícola de El Salvador (CNPML, 2008), se cuenta con un registro de granjas avícolas, las cuales se distribuyen tal y como lo muestra el cuadro 2.4:

Cuadro 2.4. Distribución de granjas avícolas en El Salvador

TIPO DE GRANJA	No. DE GRANJAS
Pollo de engorde	89
Postura	421
Reproductora pesada	29
Reproductora liviana	6
TOTAL	545

Fuente: (CNPML, 2008)

Generando un gráfico de distribución (Figura 2.9) se ilustra, que el 17% sobre el total de granjas registradas son de engorde. El mayor porcentaje lo representan las granjas de postura, con un 77%. Sin embargo es un factor a considerar, el que éstas engloban granjas de desarrollo y de producción como tal. En la sección 2.4 se desarrolla un inventario avícola con mayor detalle.

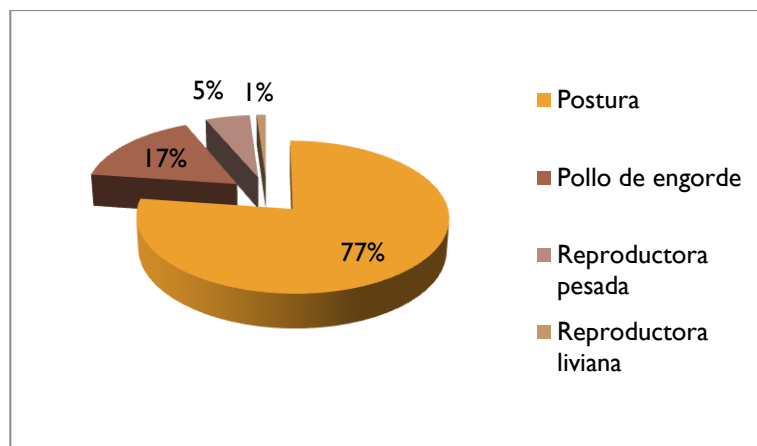


Figura 2.9 Distribución de granjas avícolas registradas
Fuente: (CNPML, 2008)

2.4 Inventario Avícola

El inventario avícola 2007-2008, que se muestra en el IV Censo Agropecuario (DIGESTYC, MINEC; 2009), establece el número de aves por departamento en *Explotaciones especiales* y *Explotaciones con tierra*; entendiéndose por *Explotación especial* la unidad económica productiva o establecimiento donde el factor tierra no es un elemento relevante en la producción, pero dedicado a la crianza de animales y obtención de productos pecuarios independientemente que se encuentre en zona rural o urbana; mientras que las *Explotaciones con tierra* aluden a las unidades que si dependen de dicho factor. Los resultados se detallan en los cuadros 2.5 y 2.6.

Tal como se observa en la figura 2.10, los departamentos que registran mayor número de aves son: La Libertad, San Salvador, La Paz y Sonsonate. La proporción de producción de patio agregada al inventario, incluye la suma de: gallos, gallinas, pollos, pavos y patos. En el anexo A, se presenta, la distribución geográfica del inventario avícola y de productores, por municipio y por departamento.

En base a los resultados oficiales del IV Censo Agropecuario, en cuanto a número de aves, se puede decir que para el primero de Octubre de 2007, El Salvador contaba con 9,330,256 pollitos recién nacidos; 12,466,123 pollos de engorde; 3,926,360 pollas en desarrollo; 92,360 gallos; 8,918,180 gallinas ponedoras; 390,367 pavos de engorde; para un total de 35,844,086 aves de corral en el territorio nacional.

Cuadro 2.5 Número de cabezas por inventario avícola en explotaciones especiales en El Salvador al 1º de Octubre 2007

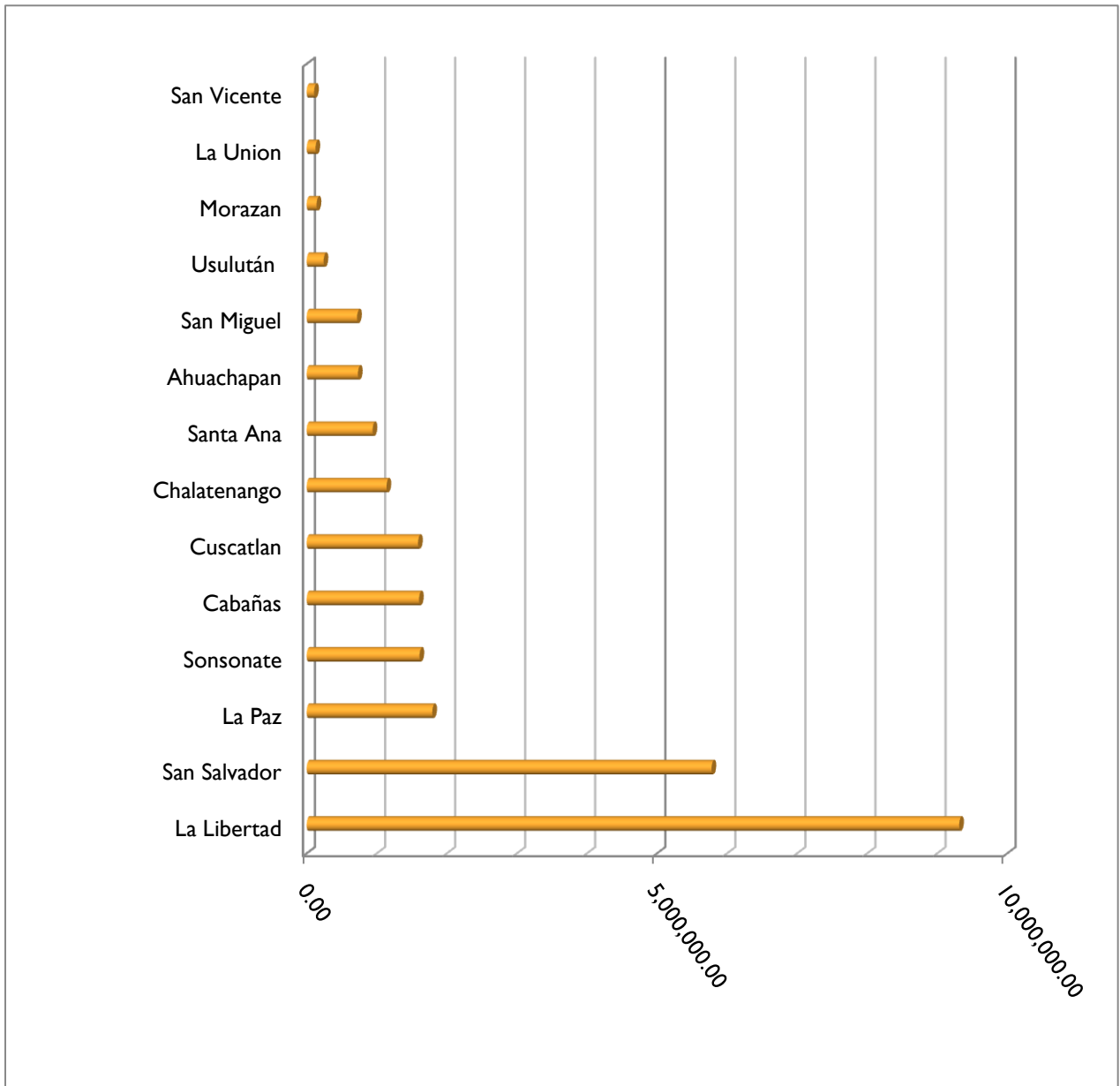
	Pollitos recién nacidos	Pollos de engorde	Pollas en desarrollo	Gallos	Gallinas ponedoras	Pavos de engorde	Inventario avícola
Ahuachapán	12,150.00	107,509.00	19,412.00	54.00	79,890.00	1,440.00	220,455.00
Santa Ana	38,319.00	47,078.00	16,933.00	132.00	92,424.00		194,886.00
Sonsonate	26,496.00	70,427.00	60,034.00	4,876.00	169,439.00	59.00	331,331.00
Chalatenango	15,858.00	35,179.00	2,737.00	475.00	6,230.00		60,479.00
La Libertad	110,486.00	1,482,685.00	585,056.00	77.00	532,311.00	150,055.00	2,860,670.00
San Salvador	2,558,950.00	289,140.00	185,373.00	5,129.00	440,634.00	40,000.00	3,519,226.00
Cuscatlán	31,626.00	110,026.00	162,993.00	5.00	304,584.00	2,119.00	611,353.00
La Paz	45,967.00	120,414.00	84,352.00	1,130.00	201,419.00		453,282.00
Cabañas	11,461.00	70,758.00	33,547.00	67.00	173,003.00		288,836.00
San Vicente	1,174.00	42,234.00	40.00	3.00	24,382.00		67,833.00
Usulután	12,438.00	15,281.00	19,822.00	255.00	66,660.00		114,456.00
San Miguel	32,594.00	276,925.00	32,465.00	51.00	120,720.00	234.00	462,989.00
Morazán	4,699.00	25,419.00	1,565.00	90.00	19,198.00	94.00	51,065.00
La Unión	4,042.00	10,894.00	745.00	77.00	26,941.00		42,699.00
Total	2,906,260.00	2,703,969.00	1,205,074.00	12,421.00	2,257,835.00	194,001.00	9,279,560.00

Fuente: (DIGESTYC, MINEC; 2009)

Cuadro 2.6 Número de cabezas por inventario avícola en explotaciones tradicionales en El Salvador al 1º de Octubre 2007

	Pollitos recién nacidos	Pollos de engorde	Pollas en desarrollo	Gallos	Gallinas ponedoras	Pavos de engorde	Inventario avícola
Ahuachapán	21,075.00	172,513.00	184,103.00	20,387.00	332,533.00	1,699.00	732,310.00
Santa Ana	53,915.00	69,887.00	383,670.00	25,602.00	407,822.00	130.00	941,026.00
Sonsonate	193,464.00	804,175.00	117,969.00	9,277.00	486,226.00	65.00	1,611,176.00
Chalatenango	87,196.00	387,325.00	146,727.00	1,474.00	517,228.00	30.00	1,139,980.00
La Libertad	3,034,969.00	3,855,915.00	777,631.00	3,815.00	1,492,197.00	150,163.00	9,314,690.00
San Salvador	2,651,219.00	1,945,023.00	244,069.00	8,387.00	891,159.00	40,010.00	5,779,867.00
Cuscatlán	43,473.00	690,368.00	240,428.00	3,875.00	610,090.00	2,228.00	1,590,462.00
La Paz	88,716.00	192,098.00	397,630.00	2,184.00	1,112,331.00	505.00	1,793,464.00
Cabañas	73,134.00	1,115,496.00	94,520.00	698.00	320,228.00	240.00	1,604,316.00
San Vicente	3,082.00	61,381.00	7,234.00	478.00	34,088.00	168.00	106,431.00
Usulután	54,772.00	51,385.00	28,984.00	783.00	105,801.00	122.00	241,847.00
San Miguel	83,362.00	299,693.00	81,008.00	1,557.00	253,896.00	640.00	720,156.00
Morazán	15,706.00	80,145.00	6,537.00	891.00	38,358.00	328.00	141,965.00
La Unión	19,913.00	36,750.00	10,776.00	531.00	58,388.00	38.00	126,396.00
Total	6,423,996.00	9,762,154.00	2,721,286.00	79,939.00	6,660,345.00	196,366.00	25,844,086.00

Fuente: (DIGESTYC, MINEC; 2009)



**Figura 2.10 Inventario de aves en El Salvador por departamento (Explotaciones Tradicionales).
Al 1 de Octubre de 2007.**

Fuente: (DIGESTYC, MINEC; 2009)

3 ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE GRANJAS DE ENGORDE AVÍCOLA

En El Salvador la producción de pollo se ha desarrollado y difundido en gran nivel. Cubriendo todos los climas y regiones, debido a su alta adaptabilidad, rentabilidad, aceptación en el mercado, y disposición para encontrar pollitos de buena raza con excelentes conversiones.

3.1 Generalidades del Pollo de Engorde (CNPML, 2008)

Las granjas de engorde de pollo son bajo el sistema a piso, por lo que siempre es necesario contar con un sistema de cama a base de granza de arroz, cascarilla de café u otro material disponible. Estos sistemas de producción albergan a la población de pollo en un rango entre 6 – 8 semanas por lo que existe una rotación continua de aves. Una granja de este tipo puede contar con diferentes galpones y todo se encuentra en función de la disponibilidad de terreno.

Los sistemas de producción e instalaciones utilizadas pueden variar de acuerdo a la inversión que quiera realizarse, tal es el caso que pueden clasificarse como sistemas de tipo túnel o de tipo abierto.

3.1.1 Recibimiento y manejo por etapas del pollo de engorde

El proceso de crianza usualmente implementado en El Salvador es semi-automatizado y automatizado, con sistemas que se encargan de regular el ambiente (temperatura), la comida y el agua de los mismos, con lo cual se consigue minimizar pérdidas en materias primas como agua y concentrado (CNPML, 2008).

El proceso se divide en 4 etapas de crianza, las cuales se encuentran de forma general divididas de la siguiente forma:

Cuadro 3.1. Etapas de crianza del pollo de engorde

Etapa	Días
Primera	0 a 14 días
Segunda	15 a 21 días
Tercera	22 a 30 días (hembra) 25 a 33 días (macho)
Cuarta	31 a 38 días (hembra) 34 a 41 días (macho)

Fuente: (CNPML, 2008)

En las etapas I y II se les da a los pollos las vacunas necesarias para su desarrollo, éstas se les administran vía oral, disolviendo las mismas en leche descremada, esto debido a que las vacunas administradas (Gumboro y Newcastle) son virus vivos, por lo cual se usa leche para inactivar cualquier desinfectante en la vacuna y también sirve como proteína para el virus; además se usa leche descremada para que los pollos no se vean afectados en su desarrollo por la misma.

Durante el período de vacunación (desde los 7 hasta los 15 días) no se clora el agua de los pollos, para que el cloro no interfiera en la acción de la vacuna, de ahí se sigue clorando el agua después de 72 horas de administrada la última vacuna, además se debe notar que solo en estas etapas (hasta los 18 días) se hacen necesarios los calefactores, aunque esto puede variar según el clima de la zona. Para las etapas III y IV se aumenta drásticamente la cantidad de concentrado consumida por los pollos, pero ya no se les da ningún tipo de vacuna.

3.1.2 Diagramas de flujo de proceso de crianza del pollo

El diagrama de la figura 3.1 muestra el desglose de las operaciones unitarias existentes en la crianza de los pollos; con el fin de poder establecer las entradas y salidas, de materia prima como de insumos, desechos y descargas atmosféricas.

3.1.3 Elementos e instalaciones para la crianza de pollo de engorde

El fracaso en la producción de pollos de engorde se debe a la mortalidad, causada principalmente por enfermedades respiratorias y digestivas, como es el caso de la Enfermedad Crónica Respiratoria (ECR) y a la Coccidiosis, estas enfermedades se producen por el hacinamiento de las aves (más de las que se pueden tener en el galpón), altas o bajas temperaturas, humedades altas o bajas, deficiente o excesiva ventilación, es decir debe haber un equilibrio total en el medio ambiente en el cual se encuentran las aves y esto se logra con unas excelentes instalaciones y por supuesto un buen manejo de las camas y los equipos

3.1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS GALPONES UTILIZADOS PARA EL MANEJO DE POLLOS DE ENGORDE

Los galpones son las instalaciones en las que se reciben y manejan los pollos de engorde. A continuación se describen las condiciones ideales para el buen manejo óptimas para la producción.

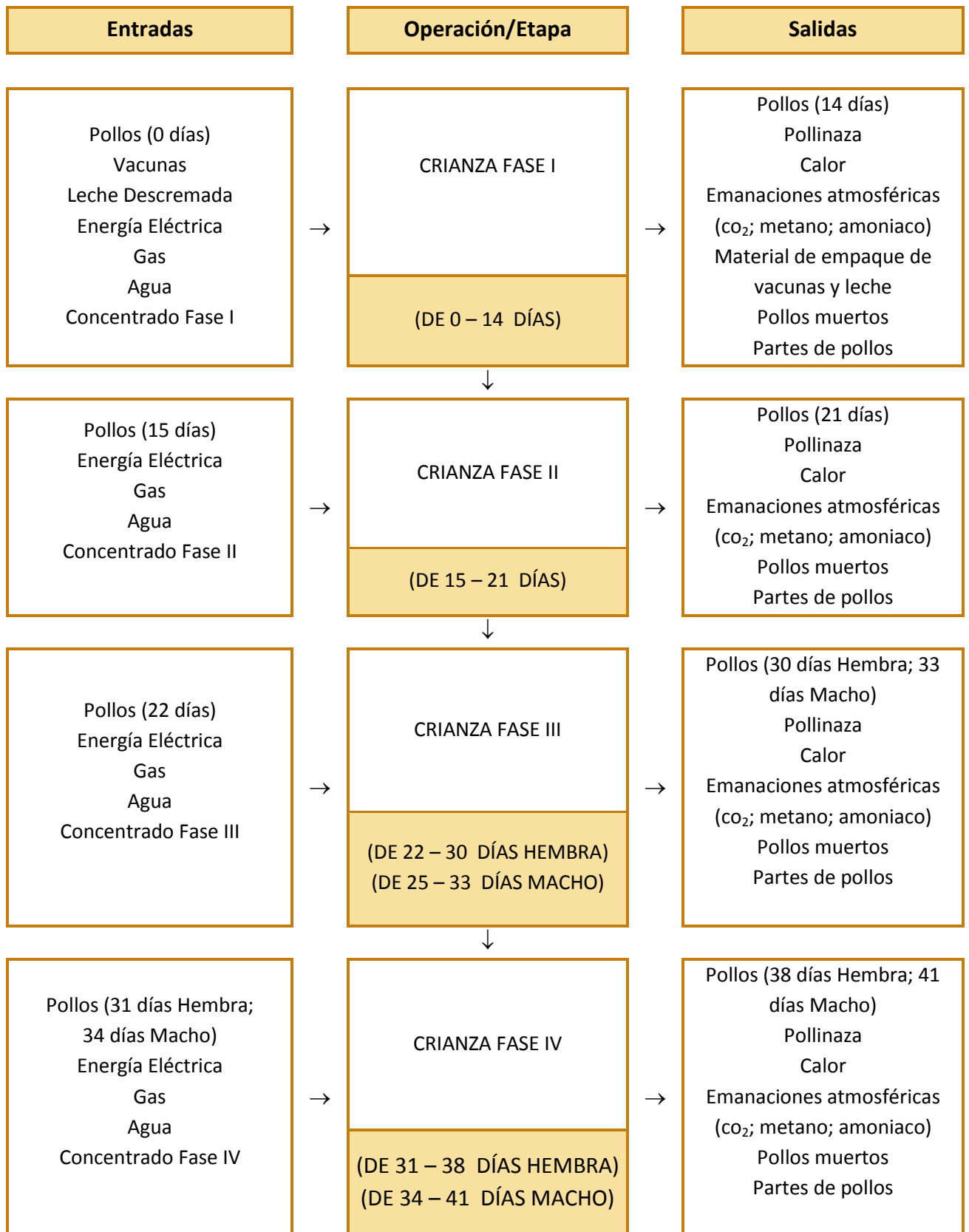


Figura 3.1 Diagrama de proceso de crianza de pollo de engorde (CNPML, 2008)

a) Orientación

En clima cálido y medio el galpón debe ser orientado de oriente a occidente, así el sol no llega al interior del alojamiento, lo cual conllevaría a una alta elevación de la temperatura, además los pollos se corren hacia la sombra, produciendo mortalidades por amontonamiento.

Sin embargo, si las corrientes de aire predominantes en la región son muy fuertes y fueran a cruzar directamente por el galpón se deben establecer barreras naturales para cortarlas (sembrar árboles) y al mismo tiempo proporcionan sombra.

b) Dimensiones

Varían de acuerdo al número de aves que se pretendan alojar y a la topografía.

- Para un clima templado: 10 aves/m²
- Para un clima cálido: 8 aves/m²

Por ejemplo, si se pretende construir un galpón para alojar 2000 pollos en clima medio (2000/10= 200 m²), necesitamos un galpón de 200 metros cuadrados, entonces las dimensiones de la construcción podrían ser de 20 m de largo por 10 m de ancho. Siempre rectangulares, nunca cuadrados.

Una densidad correcta del lote que asegure suficiente espacio para el desarrollo de las aves es esencial para el éxito en la producción de pollos de engorde. En adición a las condiciones de rendimiento y de margen económico, una correcta densidad del lote afecta directamente el bienestar animal. Para evaluar la densidad del lote de una manera precisa deben considerarse varios factores como clima, tipo de galpón, peso de beneficio de las aves en adición a las regulaciones de bienestar animal de la región. Errores en la determinación de una correcta densidad del lote traerá como consecuencias problemas de patas, rasguños de piel, hematomas y elevada mortalidad. Adicionalmente la calidad de la cama se verá comprometida (Cobb-Vantress, 2008). En climas más cálidos una densidad de lote ideal es cercana a 30 kg/m². Las recomendaciones generales se encuentran en el cuadro 3.2.

c) Piso

Es aconsejable que sea en cemento y no en tierra, para garantizar buenas condiciones de higiene, fácil limpieza y desinfección.

d) Paredes

A lo largo del galpón deben estar formadas por una o dos hiladas de bloque en climas cálidos y templados (40 centímetros de alto) y malla para gallinero hasta el techo para permitir una adecuada ventilación. La altura ideal para la pared es de 2.50 m en climas medios y de 2.80 para climas cálidos.

Cuadro 3.2. Densidades recomendadas para el manejo de pollos de engorde.

Tipo de Galpón	Tipo de ventilación	Equipos	Densidad máxima del lote
Lados abiertos	Natural	Ventiladores	30 kg/m ² (6.2 lb/ft ²)
Lados abiertos	A presión positiva	Ventiladores de paredes a 60°	35 kg/m ² (7.2 lb/ft ²)
Paredes sólidas	Ventilación cruzada	Configuración europea	35 kg/m ² (7.2 lb/ft ²)
Paredes sólidas	Ventilación de túnel	Nebulizadores	39 kg/m ² (8.0 lb/ft ²)
Paredes sólidas	Ventilación de túnel	Enfriamiento por evaporación	42 kg/m ² (8.6 lb/ft ²)

Fuente: (Cobb-Vantress, 2008)

e) Techos

Deben poseer aleros de 70 a 80 cm y una cubierta impermeable, para evitar la humedad por lluvias y proporcionar sombra. Se recomienda la teja de barro como aislante, para reducir la temperatura del galpón.

Los requerimientos de aislamiento más importantes están en el techo. Un techo bien aislado reduce la penetración del calor solar dentro del galpón durante los días calurosos reduciendo el estrés calórico en las aves. En climas fríos un techo bien aislado reduce la pérdida de energía y el consumo de energía requerida para mantener un ambiente correcto para los pollitos durante la etapa de crianza, que es la fase más importante para el desarrollo de las aves (Cobb-Vantress, 2008).

f) Sobre techo

Se debe construir para la eliminación del aire caliente. Se recomienda pintar de blanco interna y externamente todo el galpón, paredes, culatas y techos, es una buena práctica para disminuir la temperatura interna.

g) Poceta de desinfección

Se coloca a la entrada de cada galpón, para desinfectar el calzado. Se utiliza un producto yodado, 20 cm / L de agua.

3.1.3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL MANEJO DE POLLOS DE ENGORDE

a) Bebederos manuales

Son bebederos plásticos de 4 litros, los cuales se utilizan durante los primeros cuatro días, presentan algunas dificultades como regueros de agua cuando no se colocan bien, requiere atención el llenado frecuente para que las aves no aguanten sed.

Se coloca un bebedero por cada 50 pollitos.

b) Bebederos automáticos

Hay bebederos automáticos de válvula y de pistola y facilitan el manejo, puesto que el pollo siempre contara con agua fresca y no se hace necesario que el galponero se encargue del llenado de bebederos manuales. A estos bebederos automáticos tendrán acceso los pollitos hacia el quinto día. No se aconseja colocarlos desde el primer día porque el pollito tiende a agruparse debajo de éstos, se amontonan y mueren por asfixia. Se coloca un bebedero por cada 50 pollos. Si son explotaciones grandes uno por cada 80/100 aves.

c) Bandejas de recibimiento

Son comederos de fácil acceso para los pollitos, se llenan de alimento hasta la altura de las divisiones para evitar el desperdicio, salen del galpón al quinto día, cambiándolas por los platones de los comederos tubulares. se utiliza una por cada 50 pollitos.

d) Comederos Tubulares

Bandejas para el suministro de alimento. Pueden ser de plástico o aluminio.

e) Criadora

Es la fuente de calor artificial, los pollitos son susceptibles a las bajas temperaturas, especialmente en los primeros días de vida, por lo tanto, es necesario utilizar criadoras que les aseguren un ambiente tibio, las criadoras pueden ser a gas o eléctricas. Las eléctricas abastecen a 250 pollitos y las criadoras a gas abastecen a 1000 pollitos. la criadora se coloca más o menos a 1 metro de altura de la cama (el piso), varía de acuerdo al calor que esta proporcione.

f) La báscula

Es imprescindible en una explotación avícola, se deben hacer dos pesajes por semana para saber la evolución del engorde y compararlo con tablas preestablecidas y con otros buenos lotes de los que se tenga experiencia.

g) Las cortinas

Regulan la temperatura dentro del galpón, se debe hacer un adecuado manejo de cortinas, si es necesario bajarlas y subirlas 10 veces en el día, pues hay que hacerlo.

h) Termómetro

Para el control de la temperatura.

i) Fumigadora

Se emplea para las respectivas desinfecciones, durante el tiempo de vacío sanitario.

j) El flameador

Útil para desinfección física, se trata de un dispositivo que trabaja a gas con el cual se quema (por decirlo así) los pisos y paredes del galpón.

3.1.3.3 DESCRIPCIÓN DE LA CAMA UTILIZADA PARA EL MANEJO DE POLLOS DE ENGORDE (Cobb-Vantress, 2008).

Aun cuando rara vez se le da suficiente énfasis al manejo de la cama, este es un aspecto clave del manejo ambiental. El correcto manejo de la cama es fundamental para la salud de las aves, rendimiento y calidad final de la canal influyendo de esta forma en las ganancias de criadores e integrados.

A pesar de que hay varias alternativas para el material de cama, ciertos criterios deben aplicarse. La cama debe ser absorbente, liviana, barata y no tóxica. Las características de la cama también deben permitir su uso en compostaje, fertilizante o combustible una vez que ha sido utilizada por las aves.

Entre las principales alternativas de materiales que pueden ser utilizados como cama, se encuentran:

- Viruta de pino – excelentes propiedades absorbentes.
- Viruta de madera dura –puede contener taninos que causen toxicidad y astillas duras que dañen el buche.
- Aserrín –frecuentemente contiene alta humedad lo que facilita el crecimiento de hongos y puede llevar al desarrollo de aspergilosis en los pollitos.
- Paja picada- la paja de trigo es preferida a la paja de avena por sus propiedades absorbentes.

- Paja bruta picada tiene tendencia a apelmazarse durante las primeras semanas.
- Papel- es difícil de manejar cuando esta mojado y tiene tendencia a apelmazarse. El papel brillante no da buenos resultados.
- Cascarilla de arroz –buena alternativa de cama y bastante barata en algunas áreas.
- Cascarilla de maní – Tiene tendencia a apelmazarse y a formar costras, pero es manejable.
- Desperdicio de caña – es una solución barata en ciertas áreas.

Si la cama debajo de los bebederos se moja, se debe actuar rápidamente y revisar la presión de agua de los bebederos. Después de que la causa se identifique y se corrija, se debe poner cama fresca o cama seca del mismo galpón sobre las áreas afectadas. Tomar esta acción estimula a que las aves vuelvan a utilizar esta área del galpón. Cuando se reutilice la cama es imperativo remover toda la cama húmeda y apelmazada.

Cuadro 3.3. Requerimientos mínimos de la cama para la crianza de pollos de engorde

Tipo de Cama	Profundidad mínima o volumen
Viruta de madera	2.5 cm (1 in)
Aserrín seco	2.5 cm (1 in)
Paja	1 kg/m ² (0.2 lb/ft ²)
Cascarilla de arroz	5 cm (2 in)
Cascarilla de girasol	5 cm (2 in)

Fuente: (Cobb-Vantress, 2008)

3.1.3.4. MANEJO DE LA VENTILACIÓN

La cantidad mínima de ventilación (volumen de aire) requerido para mantener el potencial genético de las aves. Esto se logra asegurando una óptima cantidad de oxígeno y la adecuada remoción ambiental de los productos de desecho derivados de la combustión y del crecimiento de las aves. Los requerimientos de una ventilación mínima correctamente manejada incluyen:

- Entrega de oxígeno para cumplir con las demandas metabólicas de las aves.
- Control de la humedad relativa.
- Mantención de una buena calidad de cama.

3.2 Aspectos de la Pollinaza

Entre los residuos generados en granjas de engorde avícolas, el más importante por su cantidad y características, es la pollinaza. Entendida, como la mezcla entre cama y las excretas de los pollos.

El material de cama, varía dependiendo de la disponibilidad, entre granza de arroz, cascarilla de café y ocasionalmente viruta de madera.

Las principales funciones de las camas son:

- Actuar como aislante de la temperatura
- Regular y absorber la humedad
- Diluir las deyecciones, a fin de minimizar el contacto de los pollos con estas.
- Captar las excretas, facilitando su secado y posterior manejo.
- Proteger a las aves de la dureza del suelo evitando, la formación de callosidades en patas y pechugas de los pollos.

A pesar de que hay varias alternativas para el material de cama, ciertos criterios deben aplicarse. La cama debe ser absorbente, liviana, barata y no tóxica. Las características de la cama también deben permitir su uso en compostaje, fertilizante o combustible una vez que ha sido utilizada por las aves.

La pollinaza se acumula en los galpones, durante todo el ciclo productivo, para luego ser dispuesta o bien, preparada (mediante un tratamiento térmico, que garantice la eliminación de patógenos) para cumplir su función con un lote más.

3.2.1 Composición de la Pollinaza

Un elemento de importante consideración dentro de la composición química de las excretas de aves y que también se aprecia en los datos mostrados en esta sección, es su alta variabilidad, la cual ha sido atribuida a los numerosos factores que alteran su composición. En el caso de la cama de pollos se destacan principalmente el tipo de material que se use como cama (Tobía, C; Vargas, E; 2000), la densidad de aves en el galpón (Tobía, C; Vargas, E; 2000), grosor de la cama y el intervalo de recolección o edad de la cama (Álvarez y Combellas, 2003).

En los numerales del a) al d), de esta sección se señalan las principales variables que inciden en la composición química de la pollinaza.

a) Composición química de la pollinaza en función del material usado como cama.

Las excretas de pollo de engorde o pollinaza, se encuentra mezclada con los materiales de la cama que se utiliza para la crianza en piso. Los materiales de cama comúnmente utilizados son la cascarilla de arroz, cascarilla de café, aserrín y viruta de madera.

Sin embargo por su amplio periodo de disponibilidad y bajo costo, la cascarilla de arroz, es el de uso más frecuente. En el caso de la viruta de madera, la oferta en el mercado salvadoreño, no alcanza a cubrir la demanda de los productores avícolas, por lo que su empleo no es habitual.

La publicación “Agronomía Costarricense”, en el año 2,000, mostró valores de los contenidos de materia seca en la pollinaza, correspondientes a 85.5% en cama de cascarilla de arroz, para 19 muestras analizadas; y de 80.2% en cama de viruta de madera, para el análisis de 7 muestras. (Tobía, C; Vargas, E; 2000).

Investigaciones anteriores, señalan contenidos de materia seca en cama de cascarilla de arroz y de viruta de madera de 86.3% y 83%, respectivamente (Vargas, E.; Mata, L; 1994).

Cuadro 3.4. Composición química y fraccionamiento de la pared celular de la pollinaza, según tipo de cama (% base seca)

Componentes	Cascarilla de arroz (19) ⁶	Viruta de madera (7) ⁷	Promedio ponderado
Materia seca	85.5±2.9	80.2±4.7	84.1±4.1
Proteína cruda	34.9±2.6	30.0±3.0	33.6±3.4
Extracto etéreo	4.8±1.0	4.4±1.3	4.7±1.1
Cenizas	14.9±0.8	13.4±1.2	14.5±1.1
Calcio	2.8±0.7	2.1±0.8	2.6±0.8
Fósforo	1.1±0.1	1.1±0.2	1.1±0.1
FND ⁸	34.9±3.3	37.9±4.9	35.7±3.9
FAD ⁹	21.4±1.7	25.0±5.4	22.4±3.4
Hemicelulosa	13.6±2.6	12.8±3.8	13.4±2.9
Celulosa	15.0±1.0	17.4±3.5	15.6±2.2
Lignina	4.1±0.6	6.9±2.1	4.9±1.7
CNE ¹⁰	10.4±2.3	14.4±2.4	11.5±2.9

Fuente: (Tobía, Vargas; 2000)

Dado que el contenido de fibra, es proporcional al potencial energético de la muestra, es preciso estimar un valor, a partir de la información recolectada en la bibliografía. Por la adición de los contenidos de hemicelulosa, celulosa y lignina; el contenido de fibra, es notablemente mayor en cama de viruta de madera (alrededor de un 13.5%).

⁶ Valores entre paréntesis indican el número de muestras estudiadas.

⁷ Valores entre paréntesis indican el número de muestras estudiadas.

⁸ FND: Fibra neutro detergente

⁹ FAD: Fibra ácido detergente

¹⁰ CNE: Carbohidratos no estructurales

Cuadro 3.5. Determinación de Contenido de Fibra por tipo de cama.

Componentes	Cascarilla de arroz (19) ¹¹	Viruta de madera (7) ¹²	Promedio ponderado	Variación Porcentual
Hemicelulosa	13.6	12.8	13.4	-5.9%
Celulosa	15.0	17.4	15.6	16.0%
Lignina	4.1	6.9	4.9	68.3%
Contenido de Fibra	32.7	37.1	33.9	13.5%

Fuente: En base a datos de Cuadro 3.4.

Múltiples autores (Fernández, 2008), establecen a los materiales lignocelulósicos como los más adecuados para la conversión termoquímica, estableciendo rangos en la composición de:

- Celulosa entre 40-50 %
- Hemicelulosa entre 25-35 %
- Lignina entre 16-33 %

Obsérvese que para la cama de cascarilla de arroz presentada en el Cuadro 3.5, la distribución porcentual por componentes de la fibra, se mantiene, de forma general entre los parámetros establecidos para biomasa lignocelulósica. La distribución se ilustra en la figura 3.2.

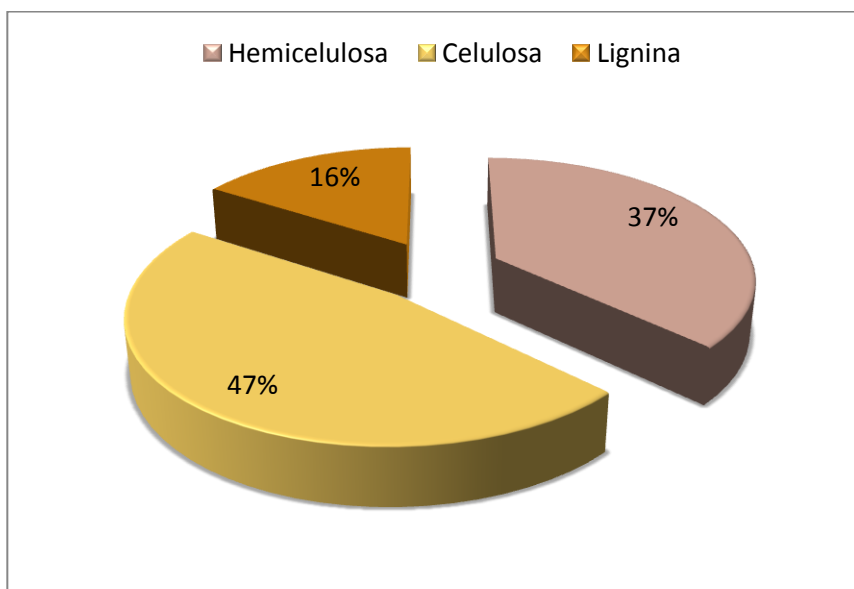


Figura 3.2 Distribución porcentual de los componentes de la fibra de la cascarilla de arroz

Fuente: En base a datos de Cuadro 3.5.

¹¹ Valores entre paréntesis indican el número de muestras estudiadas.

¹² Valores entre paréntesis indican el número de muestras estudiadas.

La humedad, es otra variable sensible al material utilizado como cama para el desarrollo de las aves. El Cuadro 3.6 muestra las variaciones de humedad en función del material, considerando a su vez la edad de la cama. Obsérvese que la arena presenta los porcentajes de humedad menores, esto se debe principalmente al alto coeficiente de permeabilidad, lo que incurre en una disminución de la capacidad de retención de agua.

Cuadro 3.6. Variación de la humedad en función del material usado como cama.

Material	Edad (días)					
	7	14	21	28	35	42
Viruta	16	22.5	23.6	26.8	25.7	27.3
Cascarilla de arroz	12	19	23	30	26	27.6
Arena	1	3	3.7	9.3	8.7	11.7

Fuente:(Arita, A. y Chacón, R.,2007)

Excesiva humedad de la cama (>35%) puede causar retos para el bienestar y/o la salud de las aves pudiendo acompañarse de incremento de ampollas en la pechuga, quemaduras de piel y lesiones. Camas con elevada humedad también contribuirá a elevar los niveles de amoníaco. En caso de reutilizar la cama es imperativo remover todos aquellos focos húmedos apelmazados.

b) Composición química de la pollinaza en función de las densidades de aves en los galpones

La caracterización fisicoquímica de la pollinaza, puede variar, especialmente en función de las densidades de aves en los galpones. Una vez, que se incrementa la densidad de aves, por el aumento proporcional de las eyecciones, se ven afectados parámetros como la proteína cruda y los elementos fibrosos de la cama. El cuadro 3.7 muestra la influencia de la densidad de aves en las características de la cama:

La fibra neutro detergente o pared celular, es la porción de la muestra que es insoluble en un detergente neutro (Van Soest, 1991). Está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice.

Por otra parte, la fibra ácido detergente, es la porción de la muestra que es insoluble en un detergente ácido (Van Soest, 1991). Básicamente constituida por celulosa, lignina y sílice. Por lo que la diferencia fibra neutro detergente y fibra ácido detergente, proporciona el contenido de hemicelulosa.

Al evaluar las desviaciones en el contenido de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente, se observa que para densidades mayores a 12.5 pollos/m², existe una reducción de 6.2% y 13.0%, respectivamente, en referencia a densidades inferiores.

Cuadro 3.7. Composición química y fraccionamiento de la pared celular, según la densidad de pollos alojados. (% base seca)

Componentes	Densidad de pollos /m ²	
	≤12.5	> 12.5
Materia seca	83.5±4.9	84.6±3.3
Proteína cruda	32.9±4.4	34.2±2.1
Extracto etéreo	4.7±1.5	4.7±0.5
Cenizas	14.1±1.3	14.9±0.7
Calcio	2.5±0.9	2.8±0.7
Fósforo	1.1±0.1	1.2±0.1
FND ¹³	36.9±3.9	34.6±3.7
FAD ¹⁴	23.9±4.1	20.8±1.6
Hemicelulosa	13.0±3.1	13.8±2.7
Celulosa	16.5±2.7	14.7±1.0
Lignina	5.6±2.2	4.1±0.6
CNE ¹⁵	11.4±3.2	11.6±2.8

Fuente: (Tobía, Vargas; 2000)

El contenido de hemicelulosa, el cual deriva directamente de la fibra neutro detergente y fibra ácido detergente; presentó un aumento del 6.2%. Siguió la tendencia contraria los contenidos de celulosa y lignina, que disminuyeron con el aumento de la densidad de aves. Finalmente, el contenido de fibra disminuyó en un 7.1%, lo que se explica por el aumento en la proporción de excretas en los lotes y la consecuente disminución de la fracción de cascarilla.

Cuadro 3.8. Determinación del contenido de fibra por densidad de cama. (% base seca)

Componentes	Densidad de pollos por m ² ≤12.5	Densidad de pollos por m ² >12.5	Variación Porcentual
FND ¹⁶	36.9	34.6	-6.2%
FAD ¹⁷	23.9	20.8	-13.0%
Hemicelulosa	13.0	13.8	6.2%
Celulosa	16.5	14.7	-10.9%
Lignina	5.6	4.1	-26.8%
Contenido de Fibra	35.1	32.6	-7.1%

Fuente: En base a datos de Cuadro 3.7.

¹³ FND: Fibra neutro detergente

¹⁴ FAD: Fibra ácido detergente

¹⁵ CNE: Carbohidratos no estructurales

¹⁶ FND: Fibra neutro detergente

¹⁷ FAD: Fibra ácido detergente

c) Composición química de la pollinaza en función del intervalo de recolección o edad de la cama.

Para muchos productores es una necesidad reutilizar la cama por varios ciclos consecutivos, lo que es casi una regla en las principales regiones productoras de aves por la baja disponibilidad del material.

Álvarez y Combellas (2003) evaluaron la influencia del número de lotes de pollos que han utilizado una misma cama, sobre la composición química de esta, resultando que al aumentar el número de lotes es de esperar que aumente la proporción de excretas y de alimento en la cama de pollos, con el consecuente incremento en la fracción de proteína cruda, y de otros elementos aportados por éstos.

El cuadro 3.9, de acuerdo a lo reportado por Álvarez y Combellas (2003) muestra la composición química de la cama de pollos de acuerdo al número de lotes de pollos que ha utilizado la cama. Para dicho fin, se estableció, T₀ como la cama sin uso (solo cascarilla de arroz); T₁, la cama utilizada por un lote de pollos y así sucesivamente hasta T₅, que fue la cama sobre la cual pasaron cinco lotes de pollos.

Cuadro 3.9. Composición de la cama de pollos de engorde en función de la edad de la misma.

Tratamientos (No. de lotes)	Composición química de la cama de pollos (% Materia Seca)				
	Cenizas	Proteína Cruda	FND	Calcio	Fósforo
T0	20.6	3.3	82.0	0.09	0.13
T1	27.3	18.1	58.5	2.54	1.82
T2	35.3	20.2	49.3	3.06	2.32
T3	29.1	22.1	48.8	3.05	2.27
T4	28.3	23.3	48.7	3.25	2.49
T5	29.3	23.0	46.0	3.64	2.73

Fuente: (Álvarez, Combellas; 2003)

Los niveles de cenizas presentaron valores erráticos, observándose contenidos muy altos y superiores al resto en las muestras con dos lotes de uso. Se esperaba un aumento progresivo a medida que se incrementaba el número de lotes, asociado a los crecientes aportes de las excretas que poseen altos contenidos de minerales, pero la inevitable alta contaminación con suelo de las muestras se adiciona a ellas y origina los valores que se observados. Sin embargo, esta tendencia si se observó en el caso del calcio y el fósforo, obteniéndose los valores inferiores con un lote y los superiores con cinco lotes. La proteína cruda también aumentó en la medida que incrementaban los lotes, pasando de 18% en el primer lote hasta 23% en los lotes 4 y 5.

La fibra neutro detergente fue la única fracción que descendió con el aumento de los lotes de CP, disminuyendo desde 59 hasta 46% entre los lotes 1 y 5 respectivamente (Ver figura 3.3). Ello se explica por el aumento en la proporción de excretas con los lotes y la consecuente disminución de la cascarilla (siendo éste el componente más alto en fibra de la cama de pollos), además de su descomposición química por parte de microorganismos que se desarrollan ese ambiente.

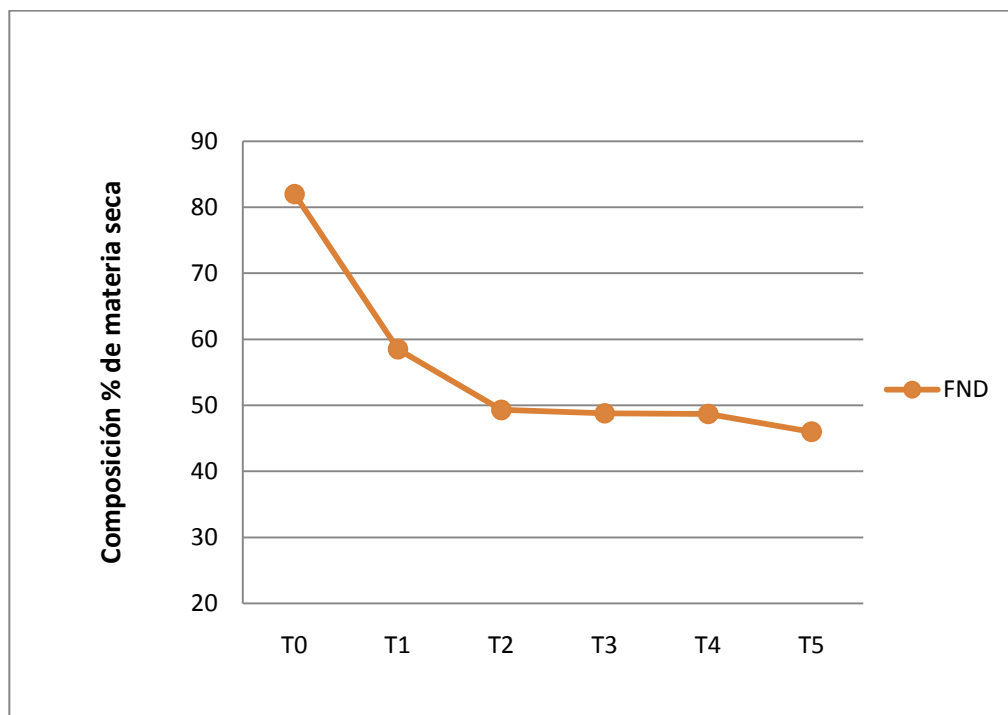


Figura 3.3 Variación de la FND según la edad de la cama

Fuente: En base a datos de Cuadro 3.9.

Al comparar las fracciones evaluadas con las de la cascarilla de arroz, considerada aquí como una cama sin uso, se observa que los cambios más importantes en la composición química de la cama ocurren cuando ésta es usada por primera vez. Para el caso de la proteína cruda, por ejemplo, subió casi 15 unidades porcentuales de contenido de materia seca, durante el primer uso. Igualmente ocurrió con el calcio y el fósforo, que incrementaron en 2.45 y 1.69 unidades porcentuales respectivamente.

Posteriormente, al pasar de uno a dos lotes, estos valores aumentan ligeramente y después de dos lotes se observan variaciones muy pequeñas en estas tres fracciones. Al parecer el efecto diluyente de la cascarilla es perceptible hasta el segundo lote, a partir del cual la cantidad de excremento y el alimento desperdiciado, son tan elevados que la dilución causada por la cascarilla tiene poca importancia.

Los estudios de Ruiz, D. y Ruiz, V. (2005), muestran las variaciones en las cantidades de nitrógeno, fósforo y fósforo soluble para cama nueva y para cama con un año de uso en reproductoras pesadas.

El contenido fósforo total, expresado como porcentaje se determinó por colorimetría mediante digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂. A su vez el contenido de fósforo soluble en agua, se determinó por colorimetría, mediante procedimiento de relación muestra/agua de 1:10. El contenido de nitrógeno, se determinó por el método de Kjeldahl. Los resultados, se presentan en el cuadro 3.10.

Cuadro 3.10. Variación de concentración de Fósforo Soluble, Fósforo y Nitrógeno en cama de viruta de madera

	Fósforo soluble (ppm)		Fósforo (% materia seca)		Nitrógeno (% materia seca)	
	Cama nueva	Cama con un año de uso	Cama nueva	Cama con un año de uso	Cama nueva	Cama con un año de uso
7 días	137.9	445.5	0.11	1.13	0.44	0.89
42 días	584.30	438.13	0.95	1.27	3.01	2.13

Fuente: (Ruiz, D. y Ruiz, V., 2005)

d) Composición química de la pollinaza en función de la dieta de las aves.

Actualmente la producción avícola se basa en los concentrados cuyos dos ingredientes principales (maíz y soya) son de origen vegetal, en los cuales alrededor del 67% de fósforo, está en forma de ácido fítico o fitatos de fósforo (Alvarado, M., 2000).

Los no rumiantes (aves y cerdos), carecen de fitasas en el intestino, lo que conduce a que el fósforo de origen vegetal, tenga baja digestibilidad.

Este problema induce a que los productores suplementen fósforo inorgánico en la dieta para cubrir los requerimientos del ave, pero estas fuentes de fósforo inorgánico, a su vez presentan baja digestibilidad y contribuyen a la presencia elevada de fósforo en las excretas y aumentan el costo de la dieta.

Una forma para mejorar el aprovechamiento del fósforo presente en el alimento consiste en la adición de fitasas como suplementos.

Estudios preliminares de Alvarado, M., (2000), señalan que para dietas a base de maíz y soya (Tratamiento 1) y dietas, con reducción del 65% de las cantidades usuales de fósforo inorgánico (Tratamiento 2), en ambos tratamientos sin fitasas como aditivos, los contenidos de nitrógeno y fósforo (Cuadro 3.11) presentes en las excretas no muestran variaciones significativas. Las muestras se tomaron cada semana durante 24 horas. Para el análisis de fósforo se utilizó el método de la digestión húmeda del fosfomolibdeno azul.

Cuadro 3.11. Variación de porcentaje de fósforo y nitrógeno en las heces de pollos de engorde en función de la dieta.

Días	Porcentaje de Fósforo		Porcentaje de Nitrógeno	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 1	Tratamiento 2
7	0.99	0.84	4.96	5.11
14	0.86	0.63	5.18	5.03
21	0.83	0.81	5.64	5.71

Fuente: (Alvarado, M. ,2000).

3.3 Situación Ambiental de Granjas de Engorde Avícolas

Entre los aspectos ambientales relacionados con la operación de las granjas de engorde destacan los citados en los numerales 3.3.1 al 3.3.4.

3.3.1 Generación de desechos Sólidos

a) Generación de pollinaza

Durante el proceso de desarrollo del pollo de engorde se pueden generar desechos de pollinaza por la remoción de humedades o por el cambio total de la cama. Dentro de la galera existen factores que pueden generar aumentos en los contenidos de humedad, como la humedad relativa alta o derrames directos de agua.

Se requiere un manejo adecuado de la cama, ya que la disposición a la intemperie sin ninguna protección ante la lluvia o retención de los lixiviados que se puedan generar, causan contaminación al suelo y posiblemente de los mantos acuíferos, de igual manera se incrementa la generación de malos olores y vectores que pueden causar molestias a la comunidad y a los trabajadores de la granja.

b) Generación de mortalidades durante el proceso de engorde de pollo

Durante el proceso de engorde se genera aproximadamente de un 2 a un 7% de mortalidades, las cuales pueden ser utilizadas como base proteínica para la generación de harina de concentrado, siempre y cuando cumplan con requisitos establecidos. Las que no puedan ser reprocesadas, usualmente son enterradas o dispuesta para la elaboración de compost.

El artículo 12 de la Norma Técnico para el funcionamiento, inspección y certificación de establecimientos avícolas (Acuerdo ejecutivo No. 170, Diario oficial 107), establece como formas de eliminación sanitaria de las aves muertas el enterramiento (siempre y cuando se considere el nivel freático de la zona), compostaje, incineración o proceso cualquier otro industrial que minimice el impacto ambiental.

Si estas aves no se entierran o manejan apropiadamente pueden generar malos olores y generación de vectores con el consiguiente impacto al ambiente circundante.

3.3.2 Consumo de Energía

a) Consumo de energía eléctrica

La energía eléctrica es utilizada para el movimiento de motores como ventiladores y extractores para controlar el clima al interior de las galeras, iluminación de oficinas, baños y galeras, bombas para extracción de agua entre otros.

b) Consumo de energía térmica

Es de uso exclusivo para el calentamiento de las aves mediante el uso de gas propano, dado que durante los primeros cinco días de vida, las aves no cuentan con la capacidad de termorregulación.

El uso incorrecto de la energía (tanto térmica como eléctrica) puede impactar de manera negativa la generación de emisiones efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global.

3.3.3 Consumo de agua

Lavado de infraestructura (galeras, silos, tuberías, etc).

Antes de recibir un lote nuevo de pollos se realiza un lavado y desinfección de las galeras, para lo cual se utilizan diferentes tipos de detergentes y desinfectantes los cuales son removidos por enjuague con agua, la cual al final del proceso contiene residuos de los mismos y son descargadas al suelo sin ningún tratamiento previo, pudiendo causar contaminación del suelo y posiblemente a los mantos acuíferos. Entre estos efluentes se incluye, en el caso de las instalaciones con bebedero de niple, la generación de aguas con desincrustante resultantes del lavado de tuberías.

3.3.4 Generación de emisiones atmosféricas

Extracción de aire de galeras durante el desarrollo del proceso de engorde de pollo: Durante el proceso de engorde se realiza extracción del aire interno de las galeras para mantener un ambiente controlado, tanto en temperatura como en atmósfera libre de amoníaco. Esto puede provocar arrastre de material particulado y malos olores en flujo de aire extraído que pueden afectar terrenos colindantes.

4 USOS POTENCIALES DE LA POLLINAZA

En El Salvador, la avicultura se ha desarrollado con gran intensidad y técnicas aplicadas muy avanzadas, tanto en la cantidad de pollos producidos como en la calidad de los mismos, con relación a otros sistemas pecuarios; esto implica un mejoramiento de la genética, una alimentación de mayor densidad, bioseguridad más estricta, etc., y por ende es necesario que los residuos sólidos y semi-líquidos, con significativa carga orgánica y bacteriana (pollinaza) que se generan sean utilizados de forma rentable.

Habitualmente la disposición de éstos efluentes, sin proyectos sustentables de ingeniería ambiental, conlleva a la contaminación de acuíferos y suelos, pérdida de nutrientes y emisión de gases de efecto invernadero, como el metano que impacta veintiún veces más que el anhídrido carbónico (Groppelli, 2010).

Entre las aplicaciones potenciales de la pollinaza se destacan el uso como fertilizante obteniéndose a partir de la implementación de un método adecuado de compostaje, el uso pecuario como alimento para rumiantes y el uso como recurso energético.

4.1 Compostaje de pollinaza (Murillo, 1999)

La pollinaza tiene varios usos alternativos. Tradicionalmente se la ha aplicado directamente al suelo como fertilizante y mejorador de suelos con buenos resultados prácticos para los agricultores. Sin embargo, por su alto contenido de nitrógeno puede servir de sustrato a la cría de moscas y generar malos olores, por lo que de acuerdo a la legislación vigente debe ser tratada previo a su uso agrícola.

Utilizar la pollinaza como un componente para la fabricación de abonos orgánicos (compost) constituye una excelente alternativa. Este es un material con alto contenido de nitrógeno y otros nutrientes, tiene un bajo contenido de humedad si se le compara con residuos agroindustriales; con todo esto ayuda a balancear las fórmulas de compost.

El compostaje, es el resultado de un proceso natural, en el cual ciertos organismos beneficiosos (hongos y bacterias) reducen y transforman desperdicios orgánicos en un producto útil y de alto valor económico (fertilizante).

El estiércol de pollo debe ser primeramente fermentado para reducir la cantidad de microorganismos como bacterias, que en alta concentración pueden ser nocivas. Los microorganismos contenidos en el estiércol de pollo sin tratar pueden incluso competir por los nutrientes de las plantas, lo cual al final resulta en un daño y en resultados adversos.

La elaboración del compostaje está basada en la mezcla de aves muertas, pollinaza, hojarasca y agua, todo colocado en cajones adecuados para tal fin. Las bacterias degradan las aves muertas utilizando el nitrógeno de la pollinaza y los carbohidratos de la hojarasca como sustrato o nutriente. Se requiere un medio que favorezca la proliferación bacteriana, que debe tener las siguientes características: 25 - 30 % de oxígeno, una proporción adecuada de nutrientes (por ejemplo 15 a 35 partes de carbón por una parte de nitrógeno), humedad de 45 a 55 %, una temperatura entre 85 a 95 grados centígrados, y un tiempo que incluye dos períodos consecutivos.

El material del período inicial (30 días), se llama compostaje del primer tratamiento, en cuya masa comienzan a proliferar los primeros microorganismos que inician la degradación de los cadáveres y del material utilizado como sustrato. Al final del período se voltea completamente el producto. Durante el segundo tratamiento (25 días), el volumen se ha reducido, la temperatura se hace más uniforme y estable; la población de patógenos se reduce.

El buen almacenamiento y la operación de los dos períodos de tiempo son esenciales para controlar microorganismos patógenos y la aparición de insectos. El efecto combinado del tiempo y la temperatura destruyen las larvas de moscas, bacterias patógenas y virus. Pruebas con pollos utilizados en cajones de compost demostraron que hay destrucción completa del virus del New Castle en la fase uno de fermentación y del Gumboro en la fase dos de fermentación.

Para realizar el compostaje, se debe tomar en cuenta que los cadáveres siempre deben quedar cubiertos con pollinaza. En forma práctica, las proporciones a emplear son: por cada kg de mortalidad 2-3 kg de pollinaza, 0.1 kg de cáscara de arroz, pasto seco, paja o viruta seca (cualquiera), 200 cm³ de agua.

Las mezclas de materias para producir compost deben formularse en principio de acuerdo a los contenidos de nitrógeno, carbono y humedad. Sin embargo, el aporte total de nutrientes de los diferentes ingredientes influye sobre la composición del producto final.

La relación carbono:nitrógeno para la mezcla inicial de un compost debe hallarse en forma ideal entre 25:1 a 30:1, aunque es aceptable entre 20:1 hasta 40:1. La pollinaza tiene una relación carbono:nitrógeno de aproximadamente 13:1. El reciclaje de materiales orgánicos para su aplicación al suelo podría traer múltiples beneficios tanto por su aporte de materia orgánica al suelo como por el suministro de nutrientes a los cultivos y contribuir parcial o totalmente a la sustitución de fertilizantes químicos y sustratos agrícolas importados. Sin embargo se necesita de mayor información para lograr productos de buena calidad de acuerdo a una óptima mezcla de materiales.

La utilización de la pollinaza como abono para cultivos resulta ser una opción muy recomendable debido al bajo costo que representa, y a lo rico de la mezcla en nutrientes. Entre los beneficios del uso de compostaje, cabe resaltar:

- No genera olores, ni atrae moscas.
- Mínima mano de obra diaria.
- Económico en su diseño.
- Construcción a muy bajo costo.
- Amable con el medio ambiente.
- Producción de un fertilizante orgánico con alto valor económico.



Figura 4.1 Diagrama de flujo de compostaje de pollinaza
 Fuente: (CNPML 2010)

4.2 Uso pecuario de la pollinaza como alimento para rumiantes (Murillo, 1999)

Las excretas de aves son recursos abundantes, económicos y se muestran como una alternativa en la alimentación de los rumiantes. Presentan contenidos elevados de proteína cruda y son fuente de minerales, pero tienen algunas limitantes como son presencia de objetos extraños y residuos tóxicos, elevado contenido de minerales y nivel de humedad, emisión de olores, etc. Algunas de estas limitantes pueden ser solventadas a través de tratamientos físicos, biológicos o químicos que incluyen secado, peletizado, ensilado, entre otros.

En la alimentación de rumiantes es posible la inclusión de excretas de aves hasta niveles de 50-60% sin afectar el consumo de la dieta, incluso cuando se combinan con recursos económicos como tusa de maíz o melaza. Las ganancias de peso obtenidas en corderos tropicales alimentados con altos niveles de excretas de aves varían entre 56,9 y 167,3 g/día. Su uso mejora la rentabilidad del sistema de producción al reducir costos de producción, pero podría afectar la salud de los animales, al alterar los niveles de enzimas relacionadas con el funcionamiento hepático y producir lesiones leves en el hígado. Sin embargo, no se han señalado alteraciones en la calidad de la carne obtenida de estos animales. A pesar del amplio uso de este recurso en rumiantes, este se hace de manera empírica ya que la información publicada sobre este tema se encuentra dispersa. Esto genera potenciales riesgos en la producción animal y en la salud humana, siendo conveniente legislar su uso de acuerdo con los resultados experimentales obtenidos.

4.3 Pollinaza como recurso energético: procesos termoquímicos de transformación (Hernández, 2008)

El *procesamiento térmico de la biomasa* puede definirse como descomposición de la misma por acción del calor en atmósfera oxidante o reductora, en productos de conversión sólidos, líquidos y gaseosos con la simultánea o subsiguiente producción de calor.

Estos productos pueden utilizarse directamente como biocombustibles en procesos de combustión para la producción de energía térmica y/o eléctrica y en algunos casos como materias primas en la Industria Química.

Los materiales más adecuados para su conversión termoquímica son los de **bajo contenido en humedad y alto contenido en lignocelulosa**, tales como madera, paja, bagazo, residuos agrícolas y cáscaras en general.

Los sistemas de procesamiento térmico pueden clasificarse en función de sus requerimientos de oxígeno en:

- a) **Combustión:** La combustión puede definirse como una operación unitaria que emplea la descomposición térmica vía oxidación de la materia orgánica, cuando utiliza oxígeno en cantidades exactamente necesarias se conoce como combustión estequiométrica, la combustión suele realizarse con oxígeno en cantidades superiores a las estequiométricas. El proceso es de naturaleza exotérmica.
- b) **Gasificación:** Es la combustión parcial de la materia orgánica en condiciones sub estequiométricas, para generar un gas combustible formado fundamentalmente por monóxido de carbono (CO), hidrógeno e hidrocarburos (HC). El proceso se automantiene térmicamente .
- c) **Pirólisis:** Es el procesamiento térmico de la biomasa en ausencia total de oxígeno. Es un proceso endotérmico.

Aunque la combustión no es un proceso de transformación para obtención de biocombustibles, sino el tratamiento final al que se someten dichos combustibles para su producción energética, su estudio se incluye en este capítulo, como sistema de valorización energética.

Gasificación y Pirólisis no son procesos terminales, los productos obtenidos deben valorizarse energéticamente mediante combustión o utilizarse en la Industria Química para la obtención de nuevos productos.

En el cuadro 4.1, se resumen las eficiencias obtenidas en la práctica, en el aprovechamiento térmico y eléctrico de la biomasa a través de los diferentes procesos de termoconversión.

Cuadro 4.11 Eficiencia de los procesos de termoconversión de la biomasa.

Proceso	Contenido energético respecto a la biomasa de partida		
	Combustible intermedio	Calor	Electricidad o trabajo mecánico
Combustión		65-95	20-35
Pirólisis (Carbonización)	70-75	60-70	22-30
Gasificación	65-80		22-27

Fuente: (Lesme, 2010)

4.3.1 Pirólisis

Es un proceso de descomposición térmica de la biomasa en ausencia total de oxígeno a una temperatura que oscila entre 250 y 600°C (aunque puede realizarse a mayor temperatura) para obtener productos de descomposición sólidos, líquidos y gaseosos cuya composición varía según la temperatura, el tiempo de residencia y la naturaleza del material sometido a pirólisis.

La pirólisis suele realizarse en atmósfera inerte (nitrógeno o gases de salida exhaustos y recirculados) y aunque puede realizarse como proceso aislado, es siempre una etapa inicial a la

gasificación y a la combustión. Se trata de una tecnología poco desarrollada y por tanto con más posibilidades de desarrollo futuro.

El principal objetivo de la pirólisis de biomasa es producir líquidos orgánicos de características similares a los derivados del petróleo (biooil) o un residuo sólido carbonoso; normalmente, el gas obtenido es un subproducto.

La descomposición térmica de la materia lignocelulósica es un proceso complicado dada la complejidad química de los sustratos. Debido a esa complejidad, normalmente su estudio se basa en el comportamiento de parte del material lignocelulósico, como es la celulosa dado que esta es el componente mayoritario y su complejidad química es menor que la de la lignina.

La pirólisis de la celulosa puede decirse que se realiza en dos etapas, en la **primera etapa**, que se produce hasta la temperatura de 300°C y en ella transcurren reacciones de *despolimerización*, por ruptura de enlaces de las macromoléculas, *reacciones de deshidratación*, para dar anhidrocelulosa, formación de radicales libres y determinados grupos funcionales como grupos carbonilo y carboxilo que evolucionan hacia la formación de dióxido de carbono por descarboxilación y de monóxido de carbono por descarbonilización.

En la **segunda etapa**, predominante a temperaturas superiores a los 300°C, se produce una despolimerización por transglicosilación que conduce a compuestos como el levoglucosano y una gama variada de oligosacáridos, además de estas reacciones se producen nuevas deshidrataciones y repolimerizaciones que conducen a la estructura aromática polinuclear del carbono final.

Por encima de los 400°C la pérdida de masa del residuo sólido resulta pequeña en términos relativos debiéndose fundamentalmente a la eliminación de sustituyentes alifáticos, y a la deshidrogenación. En la figura 4.2 se recoge de forma simplificada las reacciones que se producen en la pirólisis de la celulosa.

Los productos volátiles de materiales lignocelulósicos sufren reacciones de craqueo, descomposición secundaria y polimerización, en mayor o menor medida dependiendo del tiempo de residencia y de la temperatura. Así, en la pirólisis convencional a temperaturas bajas y tiempos de residencia altos se obtiene mayores rendimientos en líquidos y sólidos. La producción de líquidos se maximiza operando a temperaturas intermedias y con bajos tiempos de residencia de los volátiles.

A temperaturas elevadas, se favorece la producción de gases a costa de productos volátiles condensables y si el tiempo de residencia de los gases es muy pequeño, como en la pirólisis rápida, la proporción de olefinas ligeras en los mismos resulta importante.

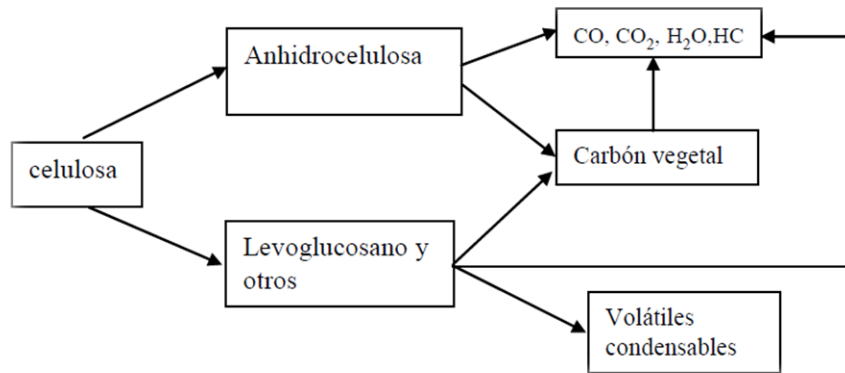


Figura 4.2 Reacciones que ocurren en la pirólisis de la celulosa
Fuente: (Hernández, 2008)

4.3.1.1 PRODUCTOS DEL PROCESO PIROLÍTICO

Las características de las tres corrientes que reproducen durante el proceso de pirólisis son:

a) **La corriente gaseosa**

Contiene hidrógeno (H_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y otros gases que dependen de las características del material pirolizado y de la condiciones de operación (Hernández, 2008). El gas obtenido tiene un poder calorífico que oscila entre 8-15 MJ/m³ (el gas natural tiene poder calorífico de 34,8 MJ/m³). Este gas puede convertirse en energía quemándose en motores de gas con un rendimiento energético efectivo del 33% en la producción de electricidad.

b) **La fracción condensable** (líquida a temperatura ambiente)

Está constituida por una mezcla de alquitranes y/o aceites que contienen compuestos como ácido acético, fórmico, acetona, metano y cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos, con un poder calorífico alrededor de 25 MJ/kg.

c) **La corriente sólida**

Está constituida por un carbón vegetal o coque de pirólisis (carbono casi puro) con bajo contenido en azufre, lo que hace que este carbón tenga ventajas medioambientales frente a otros combustibles, Este carbón vegetal tiene un poder calorífico superior a la biomasa de partida, a pesar de ello, en el proceso de pirólisis existe una pérdida importante de la energía contenida en la biomasa. El carbón obtenido puede utilizarse directamente como combustible o para la producción de carbón activado.

4.3.1.2 PROCESOS ACTUALES DE PIRÓLISIS DE LA BIOMASA

Existen diferentes tipos de procesos de pirólisis que varían en función de las condiciones que se mantengan en el horno, como el tiempo de residencia, presión, temperatura, velocidad y forma de calentamiento que influyen directamente en la distribución de los productos obtenidos. En la figura 4.3 se representa un esquema general del proceso de pirólisis.

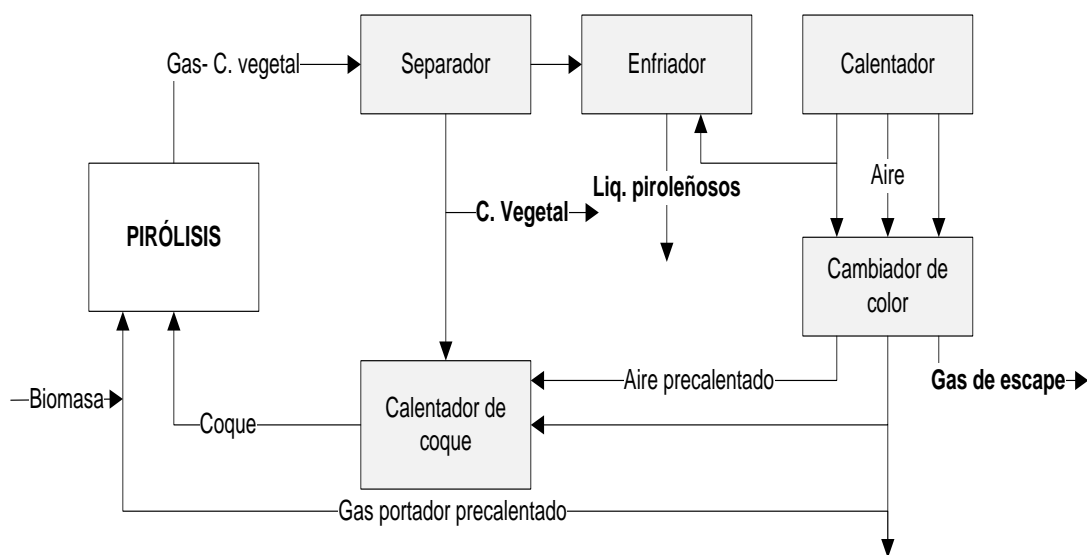


Figura 4.3 Esquema de proceso de pirólisis
Fuente: (Hernández, 2008)

En el cuadro 4.2 se presenta un breve resumen de los procesos actuales de pirólisis. El desarrollo en tecnologías de pirólisis no es muy avanzado, actualmente los sistemas pirolíticos más empleados en países desarrollados son:

- Pirólisis convencional: Sistema Landgar.
- Pirólisis a altas temperaturas: Sistema Torrax.

Los reactores en continuo utilizados para pirólisis son similares a los de gasificación, y pueden usarse hornos rotativos, lechos fijos y móviles y lechos fluidizados.

A nivel comercial el proceso más desarrollado es la producción de coke, etapa previa a la producción de carbón activo. La producción de biocombustibles líquidos está menos desarrollada tecnológicamente y existen ciertas incertidumbres sobre su viabilidad futura, debido a que sus propiedades físicas no son ideales, presentan un alto grado de acidez, contenido en partículas, índice de corrosión alto, así como alta viscosidad, además, son muy reactivos y pueden sufrir reacciones de polimerización durante su almacenamiento, sin embargo son más fáciles de manipular en cuanto al transporte y posible almacenamiento.

Cuadro 4.2. Procesos actuales de Pirólisis de Biomasa

Pirólisis	Tiempo de residencia	Velocidad de calentamiento	Presión (bar)	Temperatura máxima, °C	Producto principal
Carbonización	Horas-días	Muy baja	1	400	Sólido (carbón vegetal)
Convencional	5-30 minutos	Baja	1	600	Gas, líquido y sólido
Rápida	0.5-5 segundos	Muy alta	1	650	Líquido
Líquido-flash	< 1 segundos	Alta	1	<650	Líquido
Gas-flash	< 1 segundos	Alta	1	>650	Gas
Ultra	< 0.5 segundos	Muy alta	1	1,000	Gas y productos químicos (bioaceite)
Vacío	2-30 segundos	Media	<0.1	400	Líquido

Fuente: (Hernández, 2008)

4.3.1.3 PIRÓLISIS DE BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

Actualmente y dada la baja madurez de las tecnologías, la producción de electricidad a partir de los productos de pirólisis está poco desarrollada.

En el proceso de pirólisis y de cara al futuro los aceites pirolíticos pueden usarse en una turbina integrada en ciclo combinado. La ventaja de obtener un combustible líquido es que se puede desacoplar la producción de este, de la generación de electricidad. De cualquier forma, la estabilidad de los aceites de pirólisis y la reducción de su contenido en alcalinos son áreas que requieren una mayor investigación.

a) Pirólisis de la biomasa para la obtención de hidrógeno

El hidrógeno es un vector energético de importancia más que creciente para su utilización en las pilas de combustible. Una de las vías de obtención de hidrógeno que se está investigando para un posible desarrollo tecnológico futuro es la pirólisis catalítica de la biomasa, cuyo objetivo es aumentar la concentración de hidrógeno en el gas de pirólisis.

Actualmente la vía más competitiva para la producción de hidrógeno es el reformado del gas natural con vapor de agua. Sin embargo se está buscando otras vías a partir de energías renovables para que el balance neto de los gases de invernadero sea cero.

Investigadores de la Universidad Tecnológica de Delf, han realizado diferentes ensayos sobre la pirólisis catalítica de cáscara de arroz y aserrín. En los cuadros 4.3 y 4.4 se muestran los rendimientos obtenidos tanto en productos de pirólisis como rendimientos en hidrógeno sin empleo de catalizadores (Hernández, 2008).

Cuadro 4.3. Rendimientos de la pirólisis a diferentes temperaturas (kg/kg de biomasa)

Tipo biomasa	Temperatura (°C)	% de gas	% de alquitranes	% agua	%char
Cáscara de arroz	500	29	26	16	29
	750	36	20	16	28
	850	40.6	19.4	14	26
Aserrín	500	35	23	18	24
	750	42.2	17.8	18	22
	850	46.5	15.5	17	21

Fuente: (Elías, 2005)

Cuadro 4.4. Rendimientos en hidrógeno obtenidos en la pirólisis sin catalizador (% masa)

Tipo de biomasa	500 °C	750 °C	850 °C
Cáscara de arroz	41.2	45	48.2
Aserrín	40.6	44.2	47

Fuente: (Elías, 2005)

A continuación en los cuadros 4.5 y 4.6 se muestran los rendimientos de gas pirólítico y de hidrógeno para diferentes catalizadores y diferentes temperaturas.

Cuadro 4.5. Rendimiento de gas pirólítico a diferentes catalizadores y temperaturas (% masa sobre biomasa utilizada).

Tipo biomasa	Temperatura (°C)	Sin catalizador	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	CuO
Cáscara de arroz	500	29	34.5					
	750	36	46	40	39.2	37.8	41	35
	850	40.6	46.2					
Aserrín	500	35	42					
	750	42.2	55	47.2	45.3	43	51.2	
	850	46.5	56					

Fuente: (Elías, 2005)

Cuadro 4.6. Rendimiento en hidrógeno para diferentes catalizadores y temperatura (% masa sobre el gas)

Tipo biomasa	Temperatura (°C)	Sin catalizador	Cr2O3	MnO	FeO	Al2O3	CaO	CuO
Cáscara de arroz	500	41.2	44.5					
	750	45	48	47.6	45.8	45.6	46.6	45
	850	48.2	49.5					
Aserrín	500	40.6	42					
	750	44.2	49.3	48.5	47.3	45		
	850	47	51.4					

Fuente: (Elías, 2005)

Los resultados ponen de manifiesto que la naturaleza del catalizador influye en la producción de hidrógeno, de la misma forma, un aumento de temperatura también influye favorablemente en la cantidad de hidrógeno contenido en la corriente gaseosa.

4.3.2 Gasificación

La gasificación puede definirse como un proceso de combustión incompleta del que, como producto principal se obtiene un gas combustible.

El oxidante utilizado juega un papel importante en la composición del gas generado (Ver Figura 4.4). En el caso del aire se genera el llamado **gas pobre** por su bajo poder calorífico (4-7 MJ/m³), como consecuencia del alto contenido en nitrógeno, mientras que en el caso del oxígeno o vapor de agua dan lugar al llamado **gas de síntesis** que tiene un poder calorífico mayor (10-18 MJ/m³).

La gasificación es un proceso en el que se convierte mediante oxidación parcial a temperatura elevada, una materia prima generalmente sólida en un gas de moderado poder calorífico. Normalmente se trabaja con un 25 a 30 % de oxígeno estequiométrico. (Prieto, 2008)

La gasificación del carbón o de los residuos de petróleo es una tecnología bien conocida, la aplicación a biomasa es mucho más reciente.

Son susceptibles de ser gasificados materiales con un alto contenido en carbono. Los residuos de biomasa aptos para su gasificación son fundamentalmente:

- a) Residuos agrícolas
- b) Residuos forestales
- c) Residuos urbanos
- d) Residuos industriales

El gas obtenido en el proceso de gasificación contiene monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano y pequeñas cantidades de otros hidrocarburos más pesados, como etano o etileno, además de alquitrán y agua.

Cuando la oxidación se produce con aire, se obtiene un gas de bajo poder calorífico, del orden de **4 a 7 MJ/ Nm³**. Este gas puede utilizarse en quemadores de calderas, en turbinas de gas o en motores de combustión interna. Si se utiliza oxígeno puro como agente oxidante, el gas obtenido puede tener un poder calorífico entre **10 y 18 MJ/Nm³**, el gas obtenido es de mejor calidad por tener menos contenido en nitrógeno pero se requiere anexa una planta de fraccionamiento de aire, que solo se rentabiliza para altas producciones de gas. En este último caso podría pensarse en la posibilidad de un transporte limitado o en su utilización como materia prima para nuevos productos orgánicos.

Cuando se utiliza como agente gasificante vapor de agua y oxígeno o aire, el gas obtenido contiene más hidrógeno y el gas puede utilizarse para la síntesis del metanol, amoníaco, gasolinas etc. Si se utiliza como agente gasificante el hidrógeno el gas obtenido tiene un alto poder calorífico mayor de **30 MJ/Nm³** y puede ser utilizado como sustituto del gas natural. Se utiliza sin embargo preferentemente como agente gasificante el aire por razones económicas y tecnológicas.

En las tecnologías actuales el calor necesario para el proceso lo aporta normalmente el calor producido en la combustión de parte del combustible. En el cuadro 4.7 se presentan las principales características del gas obtenido de la gasificación de distintos materiales.

Cuadro 4.7. Principales características del gas obtenido por gasificación de diferentes materiales.

Materia prima	Biomasa residual carbón/coque	Residuos lignocelulósicos	Carbón	R.S.U. ¹⁸
Agente Oxidante	Aire+vapor	Aire	Oxígeno+vapor	Aire
Temperatura (°C)	850		1200	800
Presión (bar)	20	Atmósferica	25	
CO % Vol	8-15	13-25	20	10.7
CO ₂ % Vol	13-18	8-19	30	14.6
CH ₄ % Vol	4-8	0.25-2.5	10	2.3
H ₂ % Vol	8-12	10-22	39	4.6
H ₂ O % Vol	7-15	Gas		15.2
PCS (kcal/m ³)		1,000-1,300	2,750	1,290
PCI (kcal/m ³)	950-1,400		2,470	

Fuente: (Elías, 2005)

¹⁸ RSU: Residuos sólidos urbanos

El proceso de gasificación de biomasa tiene lugar en tres etapas:

- a) Secado: evaporación de la humedad contenida en el sólido.
- b) Pirólisis: descomposición térmica en ausencia de oxígeno.
- c) Gasificación: oxidación parcial de los productos de pirólisis. En general es la etapa más lenta y es la que controla el proceso.

Cuando la biomasa entra en el gasificador el primer paso es el calentamiento y secado de la misma. Cuando la temperatura ha superado los 400 °C comienza el proceso de pirólisis (descomposición térmica o volatilización) dando lugar a un residuo carbonoso formado principalmente por carbono y gases condensables (HC ligeros y pesados) y no condensables (metano, monóxido de carbono, vapor de agua, hidrógeno y dióxido de carbono). Superados los 700 °C tiene lugar las reacciones de gasificación en las que el gas, el líquido y el carbón producidos en la etapa de pirólisis, reaccionan con el agente gasificante, normalmente aire, para dar gases permanentes como CO, CO₂ e H₂ y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros. La composición del gas final depende de numerosos factores, como la composición de la alimentación, la temperatura del proceso, la humedad inicial y el grado de oxidación de los productos de pirólisis.

Cuando los productos de pirólisis no son completamente convertidos en gas, aparecen alquitranes que contaminan el gas. Estos alquitranes son difíciles de eliminar. Uno de los problemas que presenta la gasificación de biomasa es que se producen alquitranes en mayor medida que en otros combustibles tradicionales y la eliminación o craqueo de dichos combustibles, presenta un reto importante de cara a su solución.

4.3.2.1 INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN DEL SÓLIDO EN EL PROCESO DE GASIFICACIÓN

La composición química del sólido a gasificar es muy importante a la hora de la marcha del proceso. Con frecuencia esa composición es compleja y difícil de determinar. Una forma de caracterizar este tipo de sólidos es a partir de su análisis inmediato (humedad, volátiles, carbono fijo, cenizas) y de su análisis elemental.

a) Humedad

Todos los materiales biomásicos, tienen en general un contenido de humedad superior al carbón. El agua en general es beneficiosa porque favorece la formación de hidrógeno, permite disminuir e incluso anular la cantidad de vapor añadido. Sin embargo una humedad excesiva disminuye el rendimiento del proceso pues parte de la energía calorífica se consume en la vaporización del agua. La humedad admitida depende del gasificador utilizado, pero concentraciones comprendidas entre el 10 y el 30% son aceptables. Los fangos de depuradora y la fracción orgánica de los RSU sobrepasan estas concentraciones.

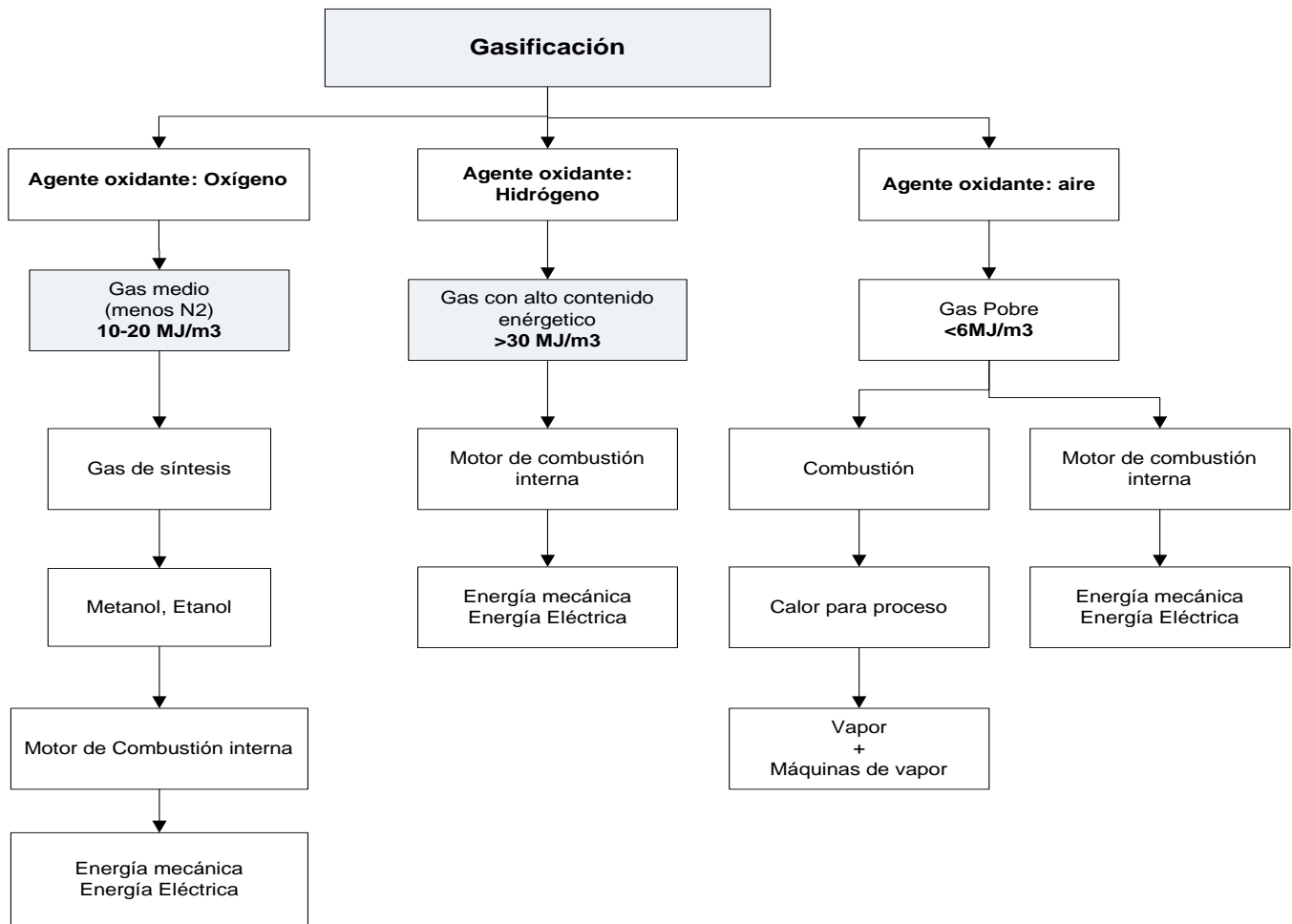


Figura 4.4 Clasificación de gasificación por agente oxidante

b) Volátiles

Un mayor contenido en volátiles favorece la velocidad global del proceso, pues se desprenden mas gases en la etapa de pirólisis y las reacciones gas-gas son más rápidas. La biomasa y en especial los fangos de depuradora tienen un alto contenido en volátiles alrededor 75-80%.

c) Cenizas

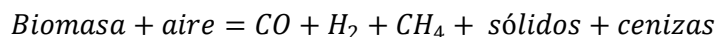
Las cenizas representan la materia inorgánica que acompaña al sólido, suponen un problema que hay que resolver, por un lado, porque han de retirarse del gasificador y suponen un nuevo residuo que hay que valorizar o eliminar de forma segura para el medio ambiente. Por otro lado, la fusión de las cenizas a alta temperatura dentro del gasificador puede suponer un serio problema. Aunque la biomasa en general tiene más bajo contenido en cenizas que por ejemplo

los carbones, sus cenizas funden más fácilmente menor temperatura, por lo que el contenido en cenizas es uno de los aspectos más importantes que intervienen en el diseño del reactor de gasificación.

A través de los resultados del análisis elemental pueden establecerse los balances de materia y el alcance de algunos efectos medioambientales.

- a) *El nitrógeno* combinado se transforma en el proceso en amoníaco que forma parte de los gases cuando estos se queman en una caldera o en un motor o turbina generan óxidos de nitrógeno.
- b) *El cloro* no es una sustancia presente en general en la biomasa salvo en los RSU debido a la presencia de la sal común y de los plásticos clorados. El cloro forma HCl en el gasificador que es un gas ácido que favorece la corrosión de los elementos de la planta. Debe eliminarse para su introducción en un motor o turbina.
- c) *El azufre* es un componente muy minoritario en la biomasa, salvo en los fangos de depuradora, en el proceso de gasificación forma ácido sulfhídrico y al igual que el HCl debe eliminarse.
- d) *El contenido en alcalinos en las cenizas*, crea problemas de erosión, corrosión y sinterización¹⁹ de las cenizas.

Las reacciones que se producen en el proceso de gasificación son muy complejas, pero las reacciones limitantes del proceso son el sólido-gas, por lo que son las únicas que suelen tenerse en cuenta, junto con las reacciones de formación de hidrógeno y metano a partir del CO. A continuación se presentan las reacciones más importantes:



4.3.2.2 GASIFICACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

La mayoría de los residuos de cereales, tienen contenidos de cenizas superiores al 10%, presentando problemas de formación de escorias en los gasificadores de corrientes paralelas. La cascarilla de arroz puede tener contenidos de cenizas del 20% y más, por lo que probablemente es el combustible existente que ofrece mayor dificultad para su gasificación.

En el cuadro 3.9 Composición de la cama en función de la edad de la misma, se presentan contenidos de ceniza en la cascarilla de arroz de 20.6%, sin embargo, dicho contenido varía por efecto de la adición de las eyecciones de las aves y contaminación con el suelo hasta alcanzar contenidos de ceniza de 35.3%

Es posible gasificar la mayoría de los residuos agrícolas en los gasificadores en contracorriente, sin embargo, los costes de capital, mantenimiento y mano de obra y las consecuencias

¹⁹ Sinterización es un método para hacer objetos de polvo calentando el material hasta que sus partículas se adhieran. Se utiliza tradicionalmente para la fabricación de cerámica.

ambientales (eliminación de condensados de alquitrán) que representa la depuración del gas, impiden las aplicaciones para motores en la mayoría de las circunstancias.

La gasificación ofrece algunas ventajas respecto a la combustión directa, tal y como se presenta en el cuadro 4.8.

4.3.3 Combustión

Al inicio de los años 80 se identificó la gallinaza como un combustible potencial y a partir de entonces "The Energy Technology Support Unit" (ETSU) del Departamento de Industria y Comercio del Reino Unido ha impulsado la investigación y desarrollo de tecnología para su aprovechamiento.

Cuadro 4.8 Ventajas y Desventajas de la Gasificación Vrs Combustión

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. El gas presenta mejores propiedades de combustión respecto al sólido. 2. El gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural. 3. Puede alimentar motores de combustión interna para su transformación en energía mecánica y eléctrica. 4. Puede emplearse para alimentar turbinas de gas para generar electricidad. 5. Produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse. Menor emisión de particulados. 6. Necesita una menor cantidad de aire. 7. En principio, un gasificador simple y pequeño puede ser construido en talleres metal mecánicos convencionales, pero se requiere experiencia y un prolongado período de ajuste para llevar el sistema a sus condiciones óptimas de operación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La gasificación exige una mejor calidad del combustible (Bajos contenidos de cenizas). 2. Los sistemas deben estar suficientemente sellados para evitar la fuga de gas que tiene características tóxicas por contener de CO. 3. Peligros de explosiones. 4. La gasificación de biomasa se produce alquitrán. 5. La gasificación aunque es un proceso de cierto tiempo, todavía para la producción de energía eléctrica se mantiene sobre la base de instalaciones experimentales producto de los altos costos inversionistas

Fuente: (Hernández, 2008)

La gallinaza tiene un contenido calórico neto de 13.5 GJ/tonelada, aproximadamente la mitad del carbón mineral, con la ventaja que es un combustible de biomasa renovable, que puede sustituir en parte el uso de fuentes no renovables (Murillo, 1999).

El primer intento práctico de aprovechamiento energético de la gallinaza ocurrió en 1986, en una empresa dedicada a la cría de aves, ubicada en Beckford, Reino Unido. La empresa contaba con una caldera alimentada por carbón, para el uso de la gallinaza fueron necesarias modificaciones al sistema de combustión y de almacenamiento de combustible. En 1991 este sistema también fue capaz de generar energía eléctrica además de energía térmica.

El segundo intento, a mayor escala, fue asumido por la empresa Fibropower, y materializado por la construcción y operación de la primera planta comercial de generación eléctrica, en el mundo, utilizando como único combustible la gallinaza. Esta planta está localizada en Eye, Suffolk, Reino Unido e inició operaciones en 1992. Genera 12.7 MW de electricidad y consume 130,000 toneladas de gallinaza por año.

La segunda planta comercial de generación eléctrica fue construida en Glandford, Lincolnshire, Reino Unido e inició operaciones en 1994. Se mejoró el diseño general y se aumentó la eficiencia. Tiene una capacidad de generación de 13.5 MW y un consumo de 180,000 toneladas por año de gallinaza.

A finales de 1998 inició operaciones en Thetford, Reino Unido la tercera planta de generación de energía eléctrica a partir de gallinaza, en una cantidad de 400,000 toneladas por año y con una capacidad de generación de 38,5 MW.

La cuarta planta de biomasa en el Reino Unido es la de Westfield, Escocia, y ha estado en funcionamiento desde octubre del año 2000. Es la primera planta de energía en el mundo en utilizar un sistema de combustión en lecho fluidizado para quemar gallinaza y convertirla en dos productos de interés, la electricidad y los fertilizantes. La planta, tiene una producción neta de electricidad de 10 MW y convierte 115,000 toneladas por año de basura en electricidad y la ceniza se vende como abono, sin producir ningún residuo.

Aunado a las plantas instaladas, existen múltiples proyectos que buscan la implementación de este sistema de generación de energía, como el de La Robla, en la Provincia de León, España; podrá generar 5.3 megavatios y tendrá una capacidad de tratamiento de 60,000 toneladas de residuos de gallinaza al año.

Otro proyecto similar es la planta de energía de Minnesota impulsado por la empresa Fibrowatt, que utiliza como material combustible el estiércol de pavo, esta inició operaciones en el 2005, y busca la expansión del proyecto hacia otros estados.

a) Definición de combustión

La combustión puede definirse como la oxidación completa de la materia orgánica, produciéndose gases calientes y cenizas, se trata de un proceso termoquímico que se realiza con aire en exceso. Puede decirse que con los equipos actualmente existentes en el mercado se pueden conseguir rendimientos de combustión elevados, que en instalaciones de elevada potencia pueden llegar hasta el 94 % si se acoplan sistemas de recuperación de calor. Si los gases calientes se utilizan para producir vapor en caldera y mover una turbina de vapor para la

producción de electricidad la eficacia puede variar entre el 15 -30% dependiendo de la escala. Los avances tecnológicos conseguidos, tanto en los sistemas de alimentación de la biomasa como en los equipos de combustión, hacen que si se dispone de biomasa para cubrir la demanda térmica de una instalación, los equipos de combustión de estos recursos renovables, sean tan cómodos, eficientes y competitivos como los de los combustibles fósiles.

b) Tipos de tecnología para la combustión de la biomasa

Las tecnologías más usuales para la combustión de biomasa son la combustión en parrilla y la combustión en lecho fluidizado.

En los hornos de parrillas el combustible se coloca sobre la parrilla (fija o móvil) a través de la cual caen las cenizas, las entradas de aire primario y secundario están separadas.

En el caso de las parrillas fijas éstas pueden estar en posición horizontal o ligeramente inclinada; este segundo caso es más versátil y acepta combustibles de distinta granulometría y humedad.

Cuando el combustible tiene un alto contenido en cenizas es recomendable el uso de parrillas móviles, horizontales o inclinadas, para a través del movimiento de vaivén de las parrillas, favorecer la eliminación de las cenizas, evitando la formación de escorias y como consecuencia la obstrucción de los huecos de las parrillas.

La combustión en lecho fluidizado se desarrolla en el seno de una masa en suspensión de partículas del combustible, cenizas y en algunos casos un inerte o adsorbente (caliza o dolomita), todos ellos fluidizados por una corriente de aire ascensional. Las ventajas de esta tecnología respecto a la combustión en parrilla son:

- Comportamiento similar al de un fluido, con lo que los sistemas de alimentación, eliminación de cenizas y control del equipo son relativamente sencillos.
- Distribución de temperaturas a lo largo del lecho muy uniforme, lo que implica mejor control y disminución de formación de óxidos de nitrógeno.
- Posibilidad de desulfuración en el propio lecho por la adición de dolomita o caliza.
- Admite diversidad de combustibles (son más flexibles en cuanto a las características de los combustibles que las calderas de parrillas)
- Alta difusividad del aire de combustión. Como el combustible que entra en el horno debe tener baja granulometría (alta superficie específica) la velocidad de combustión es mayor.
- Alta transferencia de calor. Esta propiedad hace que se tienda a poner el intercambiador de calor del combustor en el seno del lecho fluidizado.
- Poca formación de escorias, ya que debido a que la temperatura no suele superar los 850 °C, las cenizas no funden y son fáciles de retirar.
- Menor exceso de aire de combustión debido al mejor contacto entre el comburente y el combustible.

Sin embargo existen ciertos inconvenientes como:

- La mayor abrasión del lecho
- La necesidad de ciclones
- La adecuación previa del combustible, dada la variedad de biomasa que pueden utilizarse los pretratamientos son variables. Para obtener una homogenización de la biomasa que se introduce en el lecho puede hacerse mediante astillado secado, molido, posterior secado y peletizado.

Al igual que en gasificación, se distinguen dos tipos de lechos fluidizados.

- Lecho fluidizado burbujeante: tiene bajas velocidades de fluidificación, en este lecho solo el 10% de los sólidos pasan al ciclón.
- Lecho fluidificado circulante: con velocidades de fluidificación mucho mayores y por tanto arrastre de un gran número de sólidos del lecho, pudiéndose recircular total o parcialmente los sólidos recogidos sobre el ciclón.

Otras tecnologías menos extendidas pero también bien desarrolladas son la combustión de biomasa pulverizada y la combustión ciclónica.

Los quemadores de biomasa pulverizada queman las partículas finas en suspensión, ya sea en unas cámaras especiales de combustión o en unos hogares de caldera, dentro de un ambiente muy turbulento provocado por el aire forzado de la combustión. Para que funcione eficazmente, las partículas de biomasa tienen que tener no más de 6 mm de tamaño y un contenido máximo de humedad del 15%. Son unidades que se prestan muy bien para su empleo con hornos de madera, secadoras y calderas de material para chapas y tableros.

En cuanto a los quemadores de ciclón funcionan igualmente a los quemadores de biomasa pulverizada en suspensión, la diferencia entre ambos radica en que emplean un tamaño máximo de partículas en el orden de 3.5 mm y con un 12% de humedad.

4.3.4 Aplicaciones Energéticas de la conversión termoquímica de la biomasa

Con biomasa se puede generar energía térmica (agua caliente, vapor etc), energía eléctrica e incluso energía mecánica mediante el uso de biocarburantes en motores de combustión interna.

Energía térmica.

Agua o aire caliente, vapor. Es la aplicación más extendida de la biomasa natural y residual. Los sistemas de combustión directa se pueden utilizar directamente para cocinar alimentos, para calefacción o secado. Además, es posible aprovechar el vapor que se desprende para producir electricidad o para procesos industriales. Por otra parte es posible quemar el biogás que se obtiene en la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis procedente de la gasificación.

Energía eléctrica.

Se obtiene, sobre todo, a partir de la transformación de biomasa procedente de cultivos energéticos, de la biomasa forestal primaria y de los residuos de las industrias. En determinados procesos, el biogás resultante de la fermentación de la biomasa también se puede utilizar para la producción de electricidad. La tecnología a utilizar para conseguir energía eléctrica depende del tipo y cantidad de biomasa. Así tenemos:

- a) **Ciclo de vapor:** está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina.
- b) **Turbina de gas:** utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un ciclo combinado.
- c) **Motor alternativo:** utiliza gas procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.
- d) **Energía mecánica.** Los biocombustibles, pueden sustituir total o parcialmente a los combustibles fósiles, permitiendo alimentar motores de gasolina con bioalcoholes y motores diesel con bioaceites. En muchos países, este tipo de combustibles son ya una realidad, por ejemplo, en Brasil ya son millones los vehículos propulsados con alcohol casi puro obtenido de la caña de azúcar. La forma de transformar la biomasa en energía depende, fundamentalmente, del tipo de biomasa que se esté tratando y del uso que se quiera dar a esta energía. Los sistemas comerciales para utilizar biomasa residual seca se pueden clasificar en función de que estén basados en la combustión del recurso (hay gran número de calderas para biomasa en el mercado) o en su gasificación.

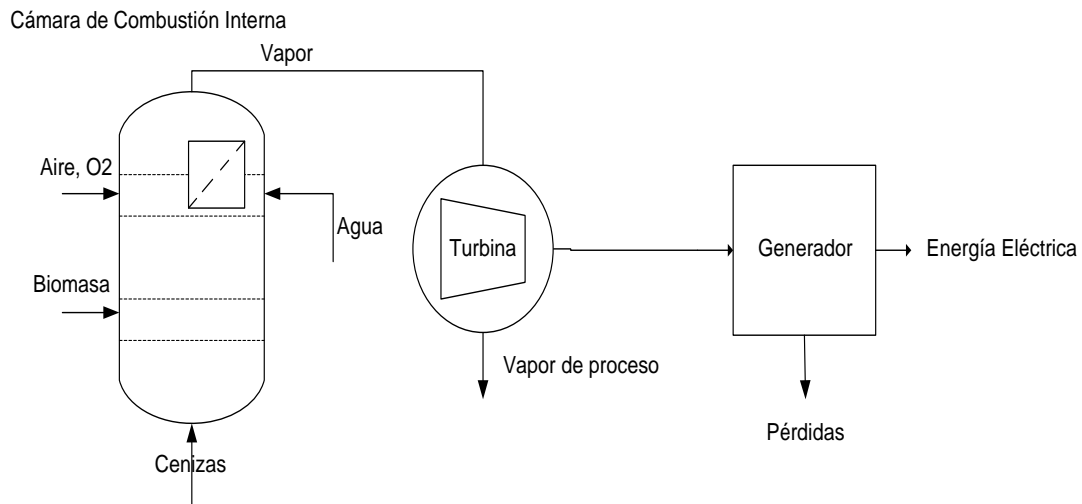


Figura 4.5 Esquema de la producción de energía eléctrica

La **cogeneración** consiste en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad. Es interesante en instalaciones en donde tanto el consumo térmico como el eléctrico son elevados, por ejemplo para empresas con un consumo de energía eléctrica de más de 5,000 h/año y donde sea posible utilizar la energía térmica a temperatura media (alrededor de 400-500 °C). Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el coste de la factura eléctrica (existiendo la posibilidad de venta de los excedentes de electricidad) como la de los combustibles fósiles.

5 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA POLLINAZA

El objetivo primordial de esta investigación, es el de evaluar el potencial energético de la pollinaza, como uno de los principales residuos en los sistemas avícolas de engorde. La utilización de los recursos de alto poder calorífico, que contienen los residuos, se convierte en una excelente oportunidad de revalorización de los mismos.

Para el aprovechamiento energético, es importante obtener información cualitativa y cuantitativa acerca de la generación de estos residuos en El Salvador, y su disposición final.

Para la recolección de información, se evaluarán siete granjas avícolas de engorde, codificadas, según Cuadro 5.1. Por confidencialidad no se mostrarán los nombres de las granjas, ni las respectivas empresas a las que están suscritas. A partir de los resultados obtenidos en esta sección, se pretende extrapolar al contexto nacional.

La selección de las granjas de engorde avícolas, se realizó en función de la disponibilidad para el acceso, dado que los estrictos controles en bioseguridad que caracterizan a estos tipos de explotación, impiden el acceso de particulares a las mismas.

Cuadro 5.1. Codificación de las granjas de engorde avícolas evaluadas

Código de Granja	
Estrato 1	GPE-01
Estrato 2	GPE-02
Estrato 3	GPE-03
Estrato 4	GPE-04
Estrato 5	GPE-05
Estrato 6	GPE-06
Estrato 7	GPE-07

5.1 Generalidades de las granjas de engorde avícolas a evaluar

5.1.1 Ubicación de las granjas

El cuadro 5.2 resume las ubicaciones de las siete granjas avícolas de engorde, en las que se realizó el presente estudio.

Cuadro 5.2. Ubicación de las granjas de pollos de engorde evaluadas en el presente estudio

	Municipio	Departamento
GPE-01	Sensuntepeque	Cabañas
GPE-02	Cuyultitán	La Paz
GPE-03	Talnique	La Libertad
GPE-04	Guazapa	San Salvador
GPE-05	El Paisnal	
GPE-06	Santo Domingo	San Vicente
GPE-07	Santo Domingo	

Estudios realizados por el SNET, señalan características climatológicas de los sitios donde se ubican las granjas de engorde avícolas a evaluar, tales como humedad relativa y temperatura. A su vez se presentan las temperaturas máximas, promedio y mínimas del mes de julio, dado que corresponden al mes en el en que se ejecutó el muestreo. (Ver Cuadro 5.3).

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), el valor de histórico de precipitación en El Salvador es de 1,800 mm/año, sin embargo de enero a junio de 2010 se han registrado un acumulado de 1,093 mm/año, lo que representa un 84.4% arriba del promedio histórico para este mismo período (SNET,2010).

El superávit en las lluvias, implica un aumento en la generación de focos húmedos en las camas de explotaciones de sistema abierto, y puede constituir un factor que altere los porcentajes de humedad de las muestras obtenidas. No obstante, aún no se cuenta con registros de precipitaciones por zonas actualizados.

Cuadro 5.3. Humedad relativa y temperatura promedio anual de las regiones en las que se localizan las granjas de engorde avícolas evaluadas

	Departamento	HR%	Temp. Promedio anual (°C)	Temp. Máxima Mes de Julio (°C)	Temp. Mínima Mes de Julio (°C)	Temp. Promedio Mes de Julio(°C)
GPE-01	Cabañas	78-82	25-26	30-32	20-22	25-26
GPE-02	La Paz	78-82	25-26	30-32	23-25	25-26
GPE-03	La Libertad	83-88	22-24	30-32	18-19	23-24
GPE-04	San Salvador	78-82	25-26	33-36	20-22	25-26
GPE-05	San Salvador	78-82	25-26	33-36	20-22	25-26
GPE-06	San Vicente	78-82	22-24	30-32	20-22	25-26
GPE-07	San Vicente	78-82	22-24	30-32	20-22	25-26

Fuente: (SNET, 2006)

5.1.2 Capacidad productiva de las granjas de engorde avícolas

En el Cuadro 5.4 se detalla el número de aves que han de procesarse por granja en el año 2010, según la capacidad productiva de cada una.

Cuadro 5.4. Capacidad productiva de cada una de las granjas de engorde avícolas en estudio

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Número de aves por lote	25,000.00	21,624.00	18,000.00	230,000.00	540,000.00	135,000.00	135,000.00
Número de lotes²⁰ al año	18.00	7.00	18.00	6.75	6.75	6.20	6.20
Número de aves al año	450,000.00	151,368.00	324,000.00	1552,500.00	3645,000.00	837,000.00	837,000.00

5.1.3 Generación de desecho

Cada una de las granjas adopta un plan de cambio de cama particular, en función de la disponibilidad del material y las condiciones en las que la cama se encuentre al finalizar el lote, a fin de garantizar un ambiente propicio para el desarrollo de las aves. De ello depende que el cambio se efectúe una vez hayan transcurrido uno, tres o cinco lotes productivos.

Por otro lado, como política de algunas granjas, se implementa una remoción continua de los focos húmedos de los galpones, conocidos como **“humedades”**. El Cuadro 5.5 muestra la generación de pollinaza de cada una de las granjas en estudio.

En el Cuadro 5.6, se presentan los indicadores de generación de pollinaza en función de la superficie de crianza y del número de aves para cada una de las granjas. La generación de indicadores, establece parámetros de comparación, y permite predecir patrones de generación aplicables en el contexto nacional.

5.1.4 Manejo de aves en el sistema de crianza

Respecto al manejo de las aves, se consideró la densidad de aves por galpón, dado que es un factor crítico en la composición de la pollinaza, tal y como se presenta en la sección 3.2.1.

²⁰ Entiéndase por lote al periodo que transcurre desde el ingreso de las aves en la granja hasta su salida. Usualmente la duración oscila alrededor de las 6 semanas.

Cuadro 5.5. Capacidad de generación habitual de pollinaza de las distintas granjas de engorde avícolas en estudio

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Cantidad de pollinaza generada como humedades (kg/lote)	3,538	-	-	35,110	70,220	38,100	38,100
Cantidad de pollinaza generada por cambio de cama (kg/lote)	17,962	30,980	19,051	50,125	100,250	43,545	43,545
Frecuencia de cambio de cama	1	1	1	4	5	4	4
Cantidad de pollinaza generada como humedades (kg/año)	63,684	-	-	236,992	473,985	236,220	236,220
Cantidad de pollinaza generada por cambio de cama (kg/año)	323,321	216,862	342,918	338,344	676,687	269,979	269,979
Cantidad de pollinaza total generada (kg/año)	387,005	216,862	342,918.	575,336	1150,672	506,199	506,199

Cuadro 5.6. Indicadores de generación de pollinaza en las granjas de engorde avícolas a evaluar

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Generación anual de pollinaza por unidad de superficie (kg/m²)	48.50	102.25	53.02	37.25	37.25	48.65	48.65
Generación de pollinaza por pollo alojado por lote (kg/pollo alojado)	0.86	1.43	1.06	0.37	0.32	0.60	0.60

No se puede asumir que exista una densidad homogénea de las aves, y por tanto de las deyecciones a lo largo del galpón. Los manejos inadecuados, tales como corrientes de aire, altas intensidades luminosas, ruidos y temperaturas extremas en el galpón, provocan aglutinamientos de las aves, afectando directamente la concentración de deyecciones. La densidad de aves, puede variar entre un galpón y otro, sin embargo las densidades que habitualmente se manejan en las granjas en estudio, se presentan en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7. Superficie de crianza y densidad de pollos alojados en las granjas de engorde avícolas a evaluar

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Superficie de galpón (m²)	1,330.00	303.00	924.00	1,716.00	1,716.00	1,734.00	1,734.00
Número de galpones	6.00	7.00	7.00	9.00	18.00	6.00	6.00
Densidad de pollo alojado (pollos/m²)	9.40	10.26	9.74	14.89	17.48	12.98	12.98

5.2 Selección del método de muestreo

A fin de modelar acertadamente las características de una determinada población, es necesario definir una metodología estadística de muestreo, que considere:

- a) Variabilidad de los elementos que constituyen la población.
- b) El grado de precisión requerido en la investigación.
- c) El error permisible admitido para la investigación.

Se seleccionó como método de muestreo el **“MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO”**. Una muestra aleatoria estratificada es la obtenida mediante la separación de los elementos de la población en grupos que no presenten traslapes, llamados estratos y la selección posterior de una muestra irrestrictamente aleatoria simple en cada estrato.

El “Muestreo Aleatorio Estratificado” es de amplio uso en aplicaciones orientadas a la caracterización de suelos para cultivos y diseños de planes de fertilización. A su vez es el método de muestreo recomendado por el Laboratorio de Suelos del Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA, 2005).

Por falta de información y para fines de la presente investigación, se aplicaran a la cama de los sistemas de crianza de pollos de engorde, las metodologías recomendadas para el análisis de suelos.

Con la selección de este método de muestreo se busca principalmente:

- a) Que mediante la estratificación se produzca un error de estimación más pequeño que el que generaría un muestreo aleatorio simple del mismo tamaño.
- b) Una reducción del costo de la investigación mediante la estratificación de los elementos de la población en grupos convenientes.

5.3 Construcción de marco muestral

El requisito principal para aplicar este método de muestreo es el conocimiento previo de información que permita subdividir la población.

Para esta investigación, a fin de propiciar homogeneidad dentro de cada estrato, y heterogeneidad entre ellos; se tomo cada granja avícola de engorde, como unidad muestral, habiendo quedado establecidos 7 estratos (Ver Cuadro 5.1).

Se seleccionó de manera aleatoria un galpón en cada una de los estratos, y se extrajo una muestra compuesta, conformada por tantas sub muestras como se establece en la sección 5.4.

Este marco presenta la ventaja de ser versátil, ya que se puede investigar cualquier variable que se encuentre asociada con cada una de las granjas. Además, esta disposición de los estratos, brinda una mayor sensibilidad a las variaciones en la forma de manejo de las aves, que pudiesen variar entre las granjas y repercutir en desviaciones de los resultados esperados en los análisis de laboratorio.

5.4 Determinación del tamaño muestral

Todo estudio lleva implícito en la fase de diseño la determinación del tamaño muestral necesario para la ejecución del mismo. El no realizar dicho proceso, puede llevarnos a dos situaciones diferentes: la primera que realicemos el estudio sin el número adecuado de muestras, con lo cual no podremos ser precisos al estimar los parámetros y además no encontraremos diferencias significativas, cuando en la realidad sí existen. La segunda situación es que podríamos estudiar un número innecesario de muestras, lo cual lleva implícito la pérdida de tiempo e incremento de recursos innecesarios. En este caso considérese el tamaño muestral como el número requerido de sub muestras que habrán de tomarse por estrato.

La fórmula para el cálculo del tamaño muestral en Muestreo Aleatorio Estratificado (Fernández, 1996), establece:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{N E^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

Para ello se deben conocer:

- N: Tamaño de la población por estrato
- Z: Factor de probabilidad, que se obtiene de tablas de distribución normal estadística en función del nivel de confianza (Ver Anexo E).

- E: Error de estimación, es el máximo error tolerable en un nivel de confianza específico. Lo decide el investigador. Para todos los estratos comprendidos en el presente trabajo se tomo un $E=2$.
- σ : Desviación estándar, es una medida de la variación en los valores de una población con respecto a la media aritmética de la misma.

a) Tamaño de la población por estrato

Se considerará el tamaño de la población (N), como la extensión superficial de crianza de pollos de engorde para cada uno de los estratos (granjas), es decir, la sumatoria del área total ocupada por los galpones, expresada en metros cuadrados.

Cuadro 5.8. Extensión superficial de crianza de pollo de engorde por estrato

Estrato	Superficie (m ²)
GPE-01	7982
GPE-02	2123
GPE-03	6465
GPE-04	15445
GPE-05	30892
GPE-06	10406
GPE-07	10406
Total	83719

b) Factor de probabilidad

Señala la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad o que el intervalo construido en torno a un estadístico capte el verdadero valor del parámetro. Se obtiene al utilizar tablas de distribución normal estadística (Ver Anexo E).

Es una convención que se utilicen niveles de confianza de 95%. Para esta investigación se trabajó con un nivel de confianza de 95.02% ($Z=2.04$).

c) Desviación estándar

Se determinó la cantidad de pollinaza que se remueve en cada uno de los galpones como cambio de cama y como humedades; y se dividió entre las dimensiones en metros cuadrados de cada uno de los galpones a fin de generar un indicador de masa de pollinaza (kg) por unidad de superficie (m²), para un periodo de un año. Con estos datos, se obtuvieron las desviaciones estándar por granja, que se resumen en el Cuadro 5.9.

d) Cálculo del número de sub muestras por estrato.

Con los datos calculados en los literales a), b) y c) y los valores tabulados en los cuadros 5.9 y 5.10, se determina el número de sub muestras a obtener por estrato (n), y los resultados se presentan en el cuadro 5.10.

Utilizando la Ecuación 5.1.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{N E^2 + Z^2 \sigma^2}$$

Para ello se deben conocer:

- n: Número de sub muestras a obtener en cada estrato.
- N: Extensión superficial de crianza de pollo de engorde por estrato.
- Z: Factor de probabilidad.
- E: Error de estimación.
- σ : Desviación estándar.
- σ^2 : Varianza.

5.5 Diseño de un plan de muestreo

Para efectos de representatividad, se tomarán y analizarán muestras compuestas. Se le denomina muestra compuesta a aquellas que son el producto de la mezcla de muestras individuales o sub muestras, es decir, el resultado de la muestra compuesta es un promedio de la composición de muestras simples. Cada sub muestra, que conforma la muestra compuesta, será del mismo volumen y ha de representar el mismo horizonte de la cama, por lo que solo deben mezclarse muestras obtenidas de la misma profundidad y mediante el mismo diseño de muestreo.

Las sub-muestras serán mezcladas en recipientes y posteriormente se realizará el procedimiento de cuarteo, dejando únicamente un 50% del volumen extraído. La preparación de muestras compuestas disminuye los costos y tiempos en los análisis físicos, químicos y fisicoquímicos.

Cuadro 5.9. Rendimientos obtenidos en la producción de pollinaza para las granjas de engorde avícolas evaluadas

No de galpón	GPE-01		GPE-02		GPE-03		GPE-04		GPE-05		GPE-06		GPE-07	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	1330	48.49	303	104.25	924	54.02	1713	38.31	1716	38.25	1737	42.57	1737	49.57
2	1332	48.28	301	100.92	922	56.13	1714	39.30	1716	36.25	1736	48.60	1736	47.60
3	1334	51.54	302	107.58	923	52.08	1715	35.29	1716	37.25	1736	49.60	1736	48.60
4	1328	49.3	303	101.25	925	52.96	1713	37.32	1718	40.21	1737	48.57	1737	44.57
5	1329	42.45	305	102.57	927	57.85	1716	36.25	1719	39.19	1730	48.77	1730	52.77
6	1329	49.45	306	101.24	924	51.02	1717	40.23	1713	33.32	1730	45.77	1730	48.77
7			303	102.25	920	53.25	1719	38.19	1714	38.30				
8							1719	34.19	1715	37.27				
9							1719	37.19	1715	35.27				
10									1716	32.25				
11									1716	37.25				
12									1716	34.25				
13									1718	36.21				
14									1719	37.19				
15									1721	37.14				
16									1714	39.30				
17									1715	37.27				
18									1715	35.27				
Desviación	3.0681		2.3686		2.3635		1.9107		2.0804		2.6628		2.6669	

Donde: **A:** Dimensiones de galpón (m²)
B: Rendimiento (kg pollinaza/m²)

Cuadro 5.10. Número de muestras de pollinaza a tomar por estrato

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
N	7982	2123	6465	15444.8	30892	10406	10406
σ	3.0681	2.3686	2.3635	1.9107	2.0804	2.6628	2.6669
Z	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
E	2	2	2	2	2	2	2
n	10	6	6	4	5	7	7

Para la detección de los cambios temporales en las características de la cama utilizada en la crianza de pollos de engorde, se recurre a la realización de muestreos en la zona sujeta a estudio. Así, la variabilidad espacial y circunstancial hace necesaria la realización de un diseño de muestreo que ofrezca valores representativos del sistema.

De cualquier forma, un inadecuado diseño de muestreo combinado con un insuficiente número de muestras colectadas puede ocasionar sesgo en la estimación de los parámetros a evaluar, restándole validez a los resultados.

a) Descripción del sitio de muestreo

Para cada una de los estratos, habrá de documentarse el origen y tamaño de cada una de las muestras (Ver Cuadro 5.11), a fin de identificar el sitio de muestreo.

Cuadro 5.11. Descripción del Sitio de Muestreo

Código de la granja	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Dimensiones de galpón (m²)	630	344	1100	1224	1848	1170	1440
Número de aves en el galpón	6462	3221	8800	22000	26000	12745	24917
Densidad de aves en el galpón (aves/m²)	10.26	9.36	8	17.97	14.07	10.89	17.30
Edad de la cama (número de usos)	1	1	1	1	4	1	1
Edad del lote (días)	35	37	23	40	28	17	19
Material de la cama	Cascarilla de café	Granza	Cascarilla de café	Granza	Granza	Granza y Cascarilla de café	Cascarilla de café

b) Tamaño de la muestra

Diversas teorías para el muestreo de materiales particulados, proporcionan las bases para extraer una muestra a partir de un material y ayudan a definir el tamaño necesario para su caracterización. Básicamente, se relaciona directamente los fines del muestreo de un material con el tamaño de la muestra a evaluar, de tal manera que la cantidad de material necesario está en función del análisis de parámetros específicos, (Gerlach y Nocerino; 2003).

Para el presente caso, considerándose la cama de pollos de engorde, como una alícuota de suelo a la que habría de realizarse una caracterización química, la bibliografía recomienda tamaños de muestra de 500 gramos (Ver Cuadro 5.12).

Cuadro 5.12. Cantidad de muestra requerida en función del análisis a realizar

Análisis	Muestra (g)
Caracterización química: carbono orgánico, pH, Ca, Mg, N, P y K	500 g
Caracterización física: textura, densidad	500-2000 g
Contaminantes inorgánicos: principalmente metales	150 g
Microbiológico (bacterias y hongos)	100 g

Fuente: (Gerlach y Nocerino; 2003)

c) Procedimiento de muestreo

El muestreo se realiza sobre áreas homogéneas en el interior de los galpones; teniendo el cuidado de ubicar los sitios de toma de muestra a una distancia aproximada de un metro de los linderos del galpón. Al tomar la primera submuestra, se inicia el recorrido y se continúan las perforaciones en el interior del galpón, en zig – zag procurando que todas las sub muestras tomadas sean iguales; es decir, se tomen uniformemente desde la superficie hasta el fondo de la cama, intentando obtener el mismo volumen. El número de sub muestras a extraer en cada uno de los estratos, viene dado por los valores de “n” presentados en el cuadro 5.10.



Figura 5.1. Muestreo en zig-zag en áreas homogéneas

Fuente: (CENTA; 2005)

6 ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y FISCOQUÍMICOS DE LA POLLINAZA DE GRANJAS DE ENGORDE AVÍCOLAS

En las secciones de la 6.1 a la 6.3, se presenta el detalle de los análisis físicos, químicos y fisicoquímicos de las muestras de pollinaza provenientes de las granjas de engorde avícola evaluadas. Del mismo modo se presentan, para cada una de las secciones, los datos de los resultados experimentales.

6.1 Análisis Físicos

Los análisis físicos, se realizaron a las 7 muestras obtenidas de las diversas granjas de engorde avícola; enfocados en caracterizar las propiedades de los combustibles lignocelulósicos. Se evaluó contenido de cenizas y contenido de humedad.

El contenido de cenizas de la cama de pollos es un indicador de la calidad del material. Valores entre 15 y 25% son aceptables, mientras que valores mayores de 28% pueden estar indicando contaminación por tierra (Álvarez y Combellas, 2005).

El contenido de humedad de la biomasa es inversamente proporcional al poder calorífico neto, dado que implica que parte del calor de la reacción de combustión se consume en el cambio de fase del agua contenida, previo al inicio del proceso de pirólisis. Sin embargo la determinación del poder calorífico de la pollinaza, en esta investigación, se realizó en base seca, por lo que no se consideró el efecto de la humedad.

6.1.1 Determinación de contenido de cenizas

El porcentaje de cenizas de la cama de pollos de engorde, indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material, reduciéndose el poder calorífico de éste, y suponiendo cargas adicionales en el almacenamiento, manipulación y preparación del combustible. Además de precisar de equipos para recoger, retirar y deshacerse de las cenizas.

El problema más importante relacionado con la ceniza, en los procesos de combustión, es el de la acumulación, ya que durante el proceso de combustión, los minerales que forman la ceniza se liberan del combustible a temperaturas del orden de 1650 °C, que están muy por encima de la temperatura de fusión de la mayor parte de los minerales. Al arder el combustible, dicha ceniza se libera en forma viscosa, y una fracción de ella impacta y se adhiere a las paredes.

Dadas las enormes cantidades involucradas en el proceso, dicha ceniza fundida puede interferir en el funcionamiento normal del equipo.

En el proceso de combustión, se debe tener un control sobre la temperatura de fusión de la ceniza, la cual no debe sobrepasar los 1500°C (correspondiente a la temperatura de fusión de la sílice), para evitar el ensuciamiento.

La mayor parte de la ceniza se transporta por los humos fuera de los límites de la cámara de combustión. Las partículas abrasivas de ceniza que se encuentran en suspensión en el flujo de humos, pueden provocar problemas de erosión en las superficies de intercambio térmico de paso por convección.

La acumulación de ceniza en las paredes de la cámara de combustión podría provocar:

- a) Dificultad en la transferencia de calor
- b) Retraso en la refrigeración de los humos por lo que se incrementaría la temperatura de los gases de combustión.
- c) Que se extiendan los problemas de deposición de ceniza hacia las superficies del paso de convección.
- d) En ciertas condiciones, los depósitos de ceniza pueden provocar corrosión al lado de los humos en las superficies tubulares sobre las que se acumulan.

En el cuadro 6.1., se presentan los resultados de la determinación de contenido de cenizas para las granjas de engorde avícolas en estudio.

Cuadro 6.1 Contenido de cenizas de las muestras de pollinaza de las granjas de engorde avícolas evaluadas (Porcentaje base seca).

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Contenido de cenizas	7.14	36.4	6.28	18.79	22.6	16.89	13.86

Obsérvese que para las muestras analizadas, los porcentajes de cenizas oscilan entre 6.28 y 36.4%, con un promedio muestral de 17.42%.

Por su parte, BR Bock Consulting, Inc. reporta un porcentaje de ceniza en pollinaza de 15.7%. (Bock, 2007).

Se espera un aumento progresivo del contenido de cenizas a medida que se incremente el número de lotes, asociado a los crecientes aportes de las excretas, que poseen altos contenidos de minerales. Pero al comparar el porcentaje de contenido de ceniza para GPE-02 y GPE-04 (camas con un único uso preliminar) respecto a GPE-05 (cama con cuatro usos preliminares), no es posible observar una tendencia. La variabilidad en los valores puede ocasionarse por la inevitable contaminación de las muestras con el suelo bajo la cama.

En los procesos que incluyan la combustión de la biomasa es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues en algunos casos esta puede ser utilizada. Por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz se adiciona en la mezcla de concreto o se utiliza para la fabricación de filtros de carbón activado.

El Cuadro 6.2, muestra el análisis próximo²¹ de la cascarilla de arroz, obsérvese que el contenido de cenizas oscila entre 16.92 – 24.6% para las diferentes variedades analizadas.

El promedio muestral de porcentaje de cenizas en cascarilla de arroz, arroja un promedio muestral de 17%.

Cuadro 6.2 Análisis próximo de la cascarilla de arroz en diferentes variedades por países

Parámetros	Colombia		Canadá			California		China
	Var. 1	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 1	Var. 2	Var. 1
Material volátil	65.47	66.4	67.30	63.00	67.70	63.52	65.47	51.98
Carbono fijo	16.67	13.60	13.90	12.40	14.20	16.22	45.86	25.10
Ceniza	17.89	20.00	18.80	24.60	18.20	20.26	20.26	16.92

Fuente: (Valverde, Monteagudo; 2007)

Al analizar la composición química de las cenizas provenientes de la cascarilla de arroz, la sílice representa una fracción del 96.51% (Ver Cuadro 6.3). La presencia de sílice, dificulta una combustión continua y completa, dado que no sufre disociación al quemarse.

Cuadro 6.3 Composición mineral promedio de ceniza en la cascarilla de arroz

Elemento	Composición %
Óxido de Potasio (K₂O)	1.10
Óxido de Sodio (Na₂O)	0.78
Óxido de Calcio (CaO)	0.25
Óxido de Magnesio (MgO)	0.23
Sulfatos (SO₄)	1.13
Sílice (SiO₂)	96.51
Total	100.00

Fuente: (Valverde, Monteagudo; 2007)

²¹ Análisis próximo es la composición de una sustancia expresada como porcentaje masa de carbono fijo, volátiles, humedad y cenizas.

6.1.1.1 CONTENIDO DE CENIZAS Y ENSUCIAMIENTO

El término de ensuciamiento se refiere a los depósitos que se acumulan sobre la superficie de transferencia de calor, con las cuales se ponen en contacto los gases de combustión. El ensuciamiento, frecuentemente se asocia, en sentido general, con la reducción de la velocidad de transferencia de calor y la corrosión.

Al quemarse la cáscara de arroz es usual que se produzca una ceniza muy fina, la cual es fácilmente arrastrada, fuera de la cámara de combustión con los gases producidos. Esta ceniza puede ser separada y colectada mediante el empleo de ciclones separadores o filtros de manga.

El Índice de Álcali se utiliza para evaluar la tendencia de los combustibles a producir ensuciamiento cuando se queman. Este índice relaciona la masa de óxidos de metálicos (K_2O y Na_2O), presentes en la ceniza, con los generados térmicamente. BR Bock Consulting, Inc., al evaluar la composición porcentual de las cenizas, en cuanto a contenidos de óxidos de potasio y de sodio, presentan los valores indicados en el Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4 Composición mineral de ceniza de pollinaza

Elemento	Composición %
Óxido de Potasio (K_2O)	16.3
Óxido de Sodio (Na_2O)	9.20

Fuente: (Bock, 2007).

Obsérvese, que difieren de manera considerable a la composición de las cenizas de la cascarilla de arroz, presentada en el cuadro 6.3., debido al aporte en minerales proveniente de las excretas.

La bibliografía (Valverde, Monteagudo; 2007), señala que:

- Para índice de álcali mayor que 0.17 kg/GJ el ensuciamiento es probable.
- Para índice de álcali por encima de 0.34 kg/GJ es casi seguro que ocurra ensuciamiento.

El índice de álcali para la cascarilla de arroz es de 0.5 kg/GJ (Valverde, Monteagudo; 2007). Para la pollinaza, se reportan índices de álcali de 9.3 lb/MBTU, es decir 4.0 kg/GJ, (Bock, 2007), por lo que es prioritario brindar alternativas a los problemas relacionados con la ceniza.

Durante la combustión de la pollinaza, se deben imponer severos requerimientos sobre el diseño de los sistemas de combustión.

Para manipular la ceniza originada en la combustión, habitualmente, se utilizan dos diseños de cámara de combustión, de fondo seco y de fondo húmedo.

En una disposición de cámara de combustión de ceniza seca, la mayor parte de la ceniza (entre el 70 y 80% del total) se arrastra por los humos y se transporta fuera de la cámara de combustión como ceniza volante en polvo.

- a) Las partículas más gruesas en suspensión, salen del flujo de humos como consecuencia de los cambios de dirección de dicho flujo, y se recogen en forma de polvo en tolvas dispuestas bajo el economizador y calentadores de aire.
- b) Las partículas más finas permanecen en suspensión y se transportan fuera de la unidad para ser captadas por un equipo de control de partículas.
- c) El resto de la ceniza en forma de escoria, entre el 20 y 30% del total, se recoge por medio de una tolva acoplada a la cámara de combustión.

El Anexo D ilustra un sistema diseñado para la combustión de pollinaza de manera limpia, implementado en Estados Unidos por REM Engineering Co. Inc. y Allen Family Foods, la cual sufre el 15% de la energía requerida por la planta de rendering, y aprovecha energéticamente 14,000 ton de pollinaza al año. En este caso se brinda un tratamiento seco a las cenizas resultantes de la combustión.

La cámara de combustión de ceniza húmeda, también conocidos como cámara de combustión de escoria fundida, resuelven los problemas de deposición y evacuación de la ceniza cuando se quemar combustibles sólidos de baja temperatura de fusión.

- a) Una de las ventajas de la combustión en cámaras con fondo húmedo es la reducción de la cantidad de ceniza volante en polvo que se produce en el proceso.
- b) En aplicaciones de cámaras de combustión con fondo húmedo para carbón pulverizado, prácticamente el 50% del total de la ceniza se recoge en la cámara. En aplicaciones con ciclón la retención de cenizas puede llegar hasta el 80% del total de ceniza.
- c) Las altas temperaturas requeridas por una cámara con fondo húmedo conducen a una elevada formación de NOx.

6.1.2 Determinación de contenido de Humedad

Para establecer experimentalmente la humedad de la pollinaza, se realizaron mediciones con un analizador de humedad electrónico (Sartorius, MODEL MA 150), mediante un procedimiento de secado estándar, a temperatura de calentamiento de 105 °C.

Para cada una de las mediciones, se determinó peso inicial, peso residual, peso perdido, porcentaje de humedad (%H) y porcentaje de materia seca (%MS). Los resultados se muestran en el Cuadro 6.5.

Cuadro 6.5 Porcentaje de Humedad en las muestras de pollinaza de las granjas de engorde avícolas contempladas en este estudio.

	GPE-01	GPE-02	GPE-03	GPE-04	GPE-05	GPE-06	GPE-07
Peso Inicial (g)	4.009	4.046	4.016	4.036	4.167	4.007	4.106
Peso Perdido (mg)	934	982	878	1270	1208	855	1148
Peso Residual (g)	3.075	3.07	3.139	2.765	2.96	3.152	2.957
%H	23.30%	24.27%	21.86%	31.47%	28.99%	21.34%	27.96%
%MS	76.70%	75.73%	78.14%	68.53%	71.01%	78.66%	72.04%

El nivel de humedad de la cama de pollos de engorde, debería estar entre 12 y 25% para facilitar su manejo y procesamiento, niveles inferiores afectan el proceso de pasteurización por amontonamiento²², que según lo dispuesto en el artículo 17 de la NORMA TÉCNICA PARA EL FUNCIONAMIENTO, INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS AVÍCOLAS (MAG, 2009), se establece como una necesidad el proporcionar tratamiento a la pollinaza durante el vacío sanitario.

Para las muestras analizadas, el promedio muestral fue de 25.6% de humedad, con una desviación estándar de 3.89%. Un 57.14% de las muestras, se mantiene en los rangos óptimos de humedad.

6.2 Análisis Químicos

Se realizó un análisis químico para las muestras, correspondientes a cada uno de los estratos establecidos. Las muestras fueron inicialmente sometidas a secado a temperaturas de 105 °C, a fin de impedir la descomposición del material volátil. Los análisis fueron desarrollados por el Laboratorio de Química Agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Los resultados se presentan en el Cuadro 6.6.

²² La pasteurización por amontonamiento, consiste básicamente en apilar la cama a una altura de aproximadamente 1.5 m., causando calor espontáneo y deshidratación, con la intención de inactivar organismos patógenos, ya que se alcanzan temperaturas internas superiores a 55 °C.

Cuadro 6.6 Análisis químico de la pollinaza proveniente de granjas de engorde avícola evaluadas en El Salvador.

	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Azufre (%)	FND (%)
GPE-01	2.00	0.356	1.405	0.29	67.08
GPE-02	2.09	1.196	1.564	0.51	49.48
GPE-03	1.98	0.418	1.106	0.30	61.51
GPE-04	3.17	1.337	2.433	0.64	43.39
GPE-05	3.04	1.434	2.249	0.6	41.69
GPE-06	2.44	0.837	1.378	0.42	58.07
GPE-07	2.56	1.275	2.142	0.44	52.36

Fuente: Laboratorio de Química Agrícola, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.

Todos los análisis químicos se realizaron según la metodología establecida por la AOAC (Official Methods of Analysis (1990)).

- Determinación de contenido de nitrógeno Kjeldahl (JAOAC 38, 56 (1955)).
- Determinación del contenido de fósforo mediante método fotométrico, para la cuantificación de fósforo en alimento animal (JAOAC 48, 654 (1965), 59, 937 (1976)).
- Determinación de contenido de Potasio en plantas por espectrofotometría de absorción atómica (JAOAC 58, 436 (1975)).
- Determinación de pared celular o fibra detergente neutro (Van Soest, P.; Robertson, J.; Lewis, B. (1991)
- Determinación de contenido de azufre en plantas por método turbidimétrico.

La cuantificación de algunos de estos parámetros, tal es el caso del azufre, cobra relevancia, no solo por tratarse de un contaminante en el combustible, sino también porque permite la introducción de factores de corrección en el cálculo del poder calorífico superior de las muestras. (Ver Ecuación 6.5)

6.2.1. Variación de la composición química de la pollinaza en función del contenido de humedad.

Los olores generados en los sistemas de producción de aves pueden provenir de las aves directamente, pero en su mayoría incluyendo el amonio, son subproductos naturales de la degradación microbiana del ácido úrico y de las heces. La conversión del nitrógeno de las heces en amonio varía en función de la temperatura, humedad y pH de las excretas y de la tasa de ventilación. Los olores aumentan con el contenido de humedad, dado que a mayor humedad de las excretas, se incrementa la liberación de amonio.

Las deyecciones más húmedas tienen mayor degradación microbiana de ácido úrico excretado por las aves, lo que trae por consecuencia un mayor contenido de amonio.

Dado que se determinó para todas las muestras el nitrógeno total Kjeldahl, el cual proporciona la suma de nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio NH_4^+ , se observa que al comparar aquellas muestras que presentan menores porcentajes de humedad, con las que presentan mayores porcentajes de humedad, conforme a lo presentado en el Cuadro 6.7, existe un aumento del 44.48% del contenido de nitrógeno.

Cuadro 6.7 Variación del porcentaje de nitrógeno Kjeldahl en las muestras de pollinaza de granjas de engorde avícola analizadas en función de la humedad.

	% Humedad promedio	%Nitrógeno en base seca promedio
Muestras con alto contenido de humedad (GPE-04, GPE-05 y GPE-07)	29.47%	2.92
Muestras con bajo contenido de humedad (GPE-01, GPE-02 y GPE-03)	23.14%	2.02
Variación porcentual	27.34%	44.48%

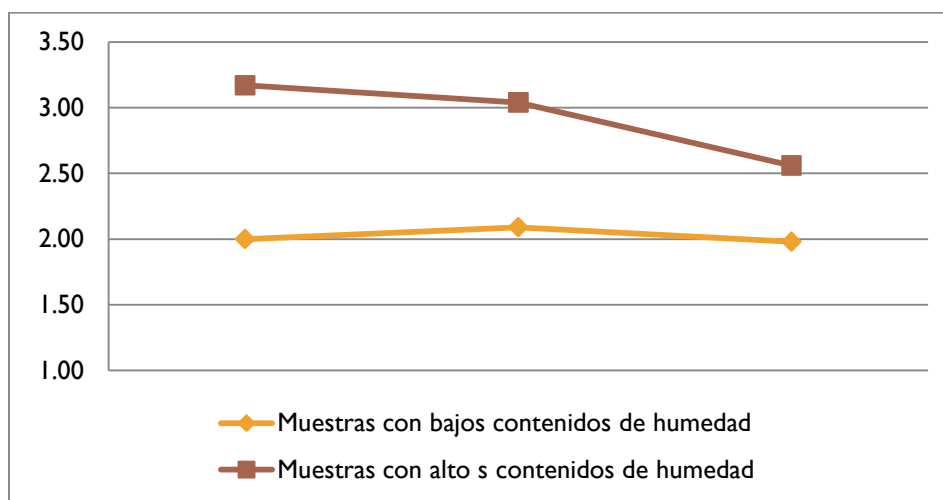


Figura 6.1 Variación del porcentaje de nitrógeno Kjeldahl en las muestras de pollinaza de granjas de engorde avícola analizadas en función de la humedad.

6.2.2 Variación de la composición química de la pollinaza en función de las densidades de aves en los galpones

Al analizar por separado las muestras de aquellos estratos que operan con granza de arroz, como material de cama; cabe hacer notar que a pesar de que las muestras obtenidas en los estratos GPE-02 y GPE-04, cuentan con un solo uso, y albergan a lotes de edades muy similares, se observa una disminución del 12% en el contenido de fibra neutro detergente, de uno respecto al otro.

Esto se atribuye a que GPE-04 maneja una densidad de aves en los galpones de un 92% mayor (de 9.36 aves/m² a 17.97 aves/m²), lo que aumenta la cantidad de deyecciones en el galpón y diluye, los materiales fibrosos de la cama. (Ver figura 6.2)

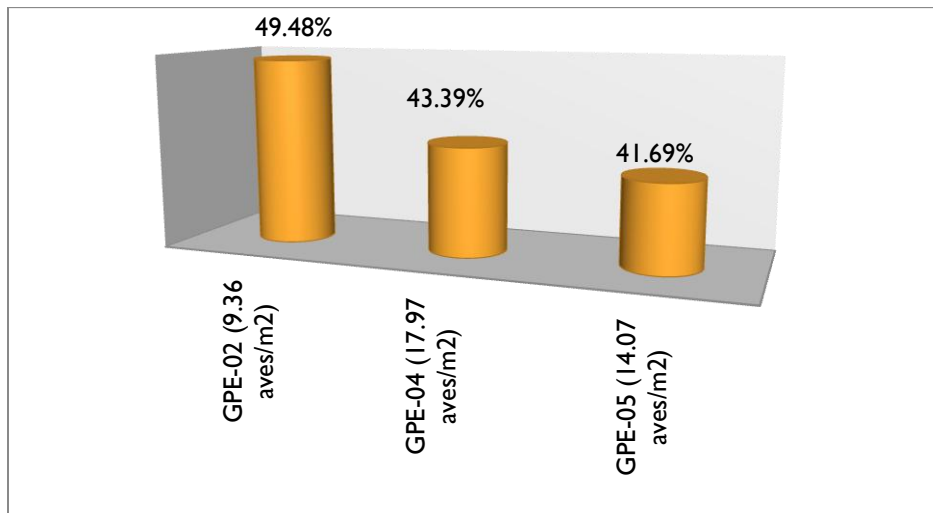


Figura 6.2 Variación del porcentaje de Fibra Neutra Detergente en las muestras con cascarilla de arroz como material de la cama

Al evaluar las variaciones en el contenido de fibra neutro detergente para las muestras de cascarilla de café, se observa que a pesar de que todas las muestras cuentan con un único uso, diferencias en las densidades de las aves en el galpón de 17.3 aves/m² a 10.3 aves/m² influyen en una reducción de 15 unidades porcentuales en el contenido de fibra neutro detergente en las muestras (de 67.08% a 52.36%). (Ver figura 6.3)

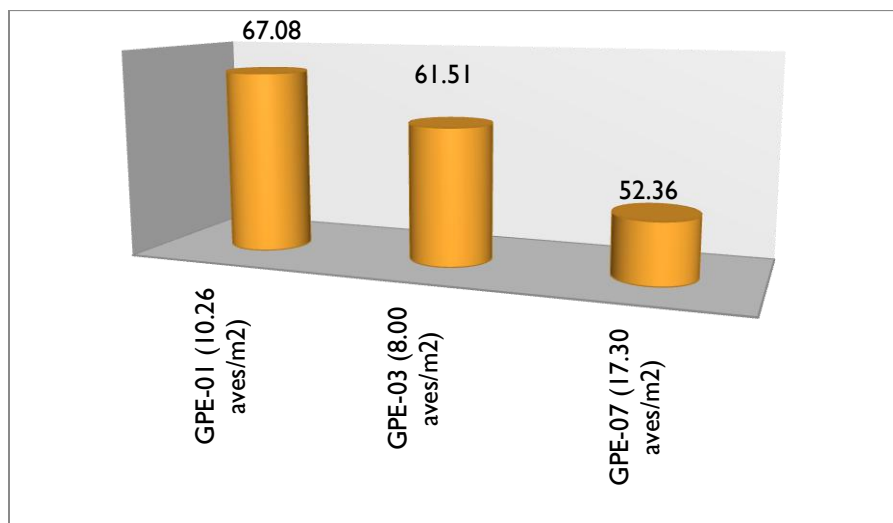


Figura 6.3 Variación del porcentaje de Fibra Neutra Detergente en las muestras con cascarilla de café como material de cama

6.2.3 Variación de la composición química de la pollinaza en función del intervalo de recolección o edad de la cama.

Al aumentar el número de lotes de uso de la cama es de esperar que aumente la proporción de excretas y de alimento en la cama de pollos, y por tanto que disminuyan los materiales fibrosos de la cama.

Dicha premisa concuerda con los resultados de los análisis de laboratorio, al observar que el menor contenido de fibra neutro detergente, para las muestras con cama de cascarilla de arroz, lo presenta la proveniente del estrato GPE-05, como efecto de los cuatro usos de la cama. La diferencia se hace notoria al comparar el 41.69% de contenido de fibra neutro detergente de esta muestra, con los porcentajes obtenidos en los estratos GPE-02 y GPE-04, las cuales llevaban su primer uso, al momento en que se efectuó el muestreo.

De forma inversa, el continuo aporte de las deyecciones de aves durante cada lote productivo propicia el aumento de los contenidos de minerales como el fósforo (Ver Cuadro 6.4)

Cuadro 6.8 Variación del porcentaje de Fósforo en las muestras con cascarilla de arroz como material de cama.

Estratos	Fósforo (%)
GPE-02	1.196
GPE-04	1.337
GPE-05	1.434

6.3 Análisis Físicoquímicos de Pollinaza de Granjas de Engorde Avícolas

La evaluación del poder calorífico de las muestras recolectadas de pollinaza de granjas de engorde avícolas para la estimación del potencial energético, constituye el principal objetivo de esta investigación.

Las pruebas físicoquímicas para determinar el poder calorífico superior fueron realizadas por el Laboratorio del Departamento de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Utilizándose para este caso una bomba calorimétrica del tipo Parr 1314 (Ver Anexo C, Figura C-3), una balanza analítica y una prensa hidráulica, (Ver Anexo C, Figura C-4).

La marcha del análisis para la determinación del poder calorífico de la pollinaza se presenta en la Sección 3.0 del Anexo C.

Como parte del pre tratamiento de la biomasa, las muestras fueron secadas, trituradas y compactadas, tal como lo establece la metodología (ASTM D2015) empleada para la operación a base seca de la bomba calorimétrica.

Para la reducción de tamaño, las muestras fueron homogenizadas hasta un diámetro de partícula de 1 mm, favoreciendo de este modo la mezcla de los componentes de la cama. La operación fue llevada a cabo en un molino de cuchillas. La reducción de tamaño incrementa la relación superficie-volumen propiciando un aumento de la velocidad de calentamiento del material.

En el Anexo C, Secciones de la 5 a la 7, se presenta el ejemplo de cálculo para la determinación de poder calorífico, las variables influyentes en el análisis y las curvas de temperatura vrs tiempo extraídas durante la operación de la bomba.

El poder calorífico es el calor transmitido de la cámara de combustión o de reacción a temperatura constante. En el caso de un proceso estable o de presión constante, concluimos, según la Primera Ley de la Termodinámica, que esto es igual al valor negativo de la entalpía de combustión. Por esta razón, esta transmisión de calor se designa como el poder calorífico a presión constante para los procesos de combustión. (Van Wayle, 1994).

Cuando se emplea el término poder calorífico, se usan a veces los adjetivos “superior” e “inferior”. El poder calorífico superior, es el obtenido experimentalmente y se define como el calor desprendido en combustión completa a presión constante y temperatura de 25°C, cuando toda el agua inicialmente presente en estado líquido en el combustible y que aparecen en los productos de combustión, está en forma líquida a 25 °C; el poder calorífico neto o inferior es definido como el calor desprendido en combustión completa, a presión constante y temperatura de 25°C, cuando toda el agua inicial presente en estado líquido en combustible y que aparece en los productos de combustión, está en forma de vapor a 25°C. (Van Wayle, 1994).

Los resultados de la evaluación experimental del poder calorífico superior, se presentan en el Cuadro 6.9.

Cuadro 6.9 Valores promedio y desviación estándar de los resultados obtenidos en la medición del Poder Calorífico en las distintas muestras de los estratos evaluados

Estrato	Poder Calorífico Promedio (kcal/kg)	Poder Calorífico Promedio (GJ/TM)	Desviación Estándar	Desviación Estándar Relativa (RSD %)
GPE-01	4,397.78	18.41	14.82	0.34
GPE-02	3,124.34	13.08	41.76	1.34
GPE-03	4,448.41	18.62	73.54	1.65
GPE-04	3,883.33	16.26	37.36	0.96
GPE-05	3,563.82	14.92	67.85	1.90
GPE-06	3,596.40	15.06	6.50	0.18
GPE-07	4,081.22	17.09	38.91	0.95
Promedio	3,870.76	16.21		

7 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL RESIDUAL AVIAR DE GRANJAS DE ENGORDE

Para la determinación de las cantidades de residuos generados, se utilizaron los resultados oficiales del IV Censo Agropecuario 2007, presentados en la sección 2.4.

El objetivo de esta determinación es evaluar el potencial en oferta energética que representan este tipo de residuos como fuente de energía primaria, en función de su poder calorífico, (ver Cuadro 6.9) y de la cantidad de residuos generados.

7.1 Determinación de la cantidad de pollinaza generada por las granjas de engorde avícolas en El Salvador.

Las cantidades de pollinaza generada, tal y como se vio en el Capítulo 5, dependen de factores sumamente específicos, tales como las políticas empresariales para el re uso de la cama, la capacidad productiva de la granja y las dimensiones de los galpones.

A fin de calcular las cantidades de residuos generados en El Salvador en un año, se retomó el índice de generación de pollinaza por unidad de superficie para cada uno de los estratos evaluados, presentado en el Cuadro 5.6. A partir de esto se obtuvo un promedio muestral de 53.65 kg de pollinaza por cada m² de galpón. (Ver Cuadro 7.1)

Cuadro 7.1 Promedio muestral de generación anual de pollinaza por unidad de superficie.

Estrato	Generación anual de pollinaza por unidad de superficie (kg/m ² año)
GPE-01	48.50
GPE-02	102.25
GPE-03	53.02
GPE-04	37.25
GPE-05	37.25
GPE-06	48.65
GPE-07	48.65
Promedio muestral (GPS)	53.65

Este indicador se obtiene como resultado del cociente de la generación de pollinaza en un año para cada una de las granjas evaluadas (ya sea en concepto de cambio de cama o remoción de

humedades) y la superficie de la granja dedicada al manejo de pollos de engorde. (Ver Ecuaciones 7.1 y 7.2)

$$GPS = \frac{PT}{SC} \quad \text{Ecuación 7.1}$$

$$GPS = \frac{PH + PCC}{NG * SG} \quad \text{Ecuación 7.2}$$

Donde:

GPS: Generación promedio anual de pollinaza por unidad de superficie (kg/m²)

PT: Cantidad de pollinaza total generada en un año(kg/año)

PH: Cantidad de pollinaza generada como humedades en un año(kg/año)

PCC: Cantidad de pollinaza generada por cambio de cama en un año (kg/año)

SC: Superficie de crianza (m²)

NG: Numero de galpones

SG: Área promedio de galpón (m²)

Así mismo se obtuvo un promedio muestral de densidades de aves, conforme a los datos presentados en el Cuadro 5.7.

En el Cuadro 7.2 se muestra la densidad promedio para los estratos evaluados.

Cuadro 7.2 Promedio muestral de densidad de aves en el galpón

Estrato	Densidad de aves en el galpón (aves/m ²)
GPE-01	10.26
GPE-02	9.36
GPE-03	8.00
GPE-04	17.97
GPE-05	14.07
GPE-06	10.89
GPE-07	17.30
Promedio muestral (DPA)	12.55

La densidad promedio de aves en el galpón es una función directa del número de aves alojadas e inversa del área del mismo. La relación se representa por la ecuación 7.3.

$$DPA = \frac{NA}{SG} \quad \text{Ecuación 7.3}$$

Donde:

DPA: Densidad promedio de aves en el galpón (aves/m²)

SG: Área de galpón (m²)

NA: Número de aves en el galpón

En cuanto a número de pollos de engorde en el territorio de El Salvador, hasta el primero de Octubre de 2007, se contabilizaron 12,466,123 pollos de engorde (Ver sección 2.3)

En base a la densidad promedio muestral, y el número de aves, se calcula la superficie de crianza requerida. (Ver ecuación 7.4)

$$SCR = \frac{NAES}{DPA} \quad \text{Ecuación 7.4}$$

$$SCR \cong \frac{12,466,123 \text{ aves}}{12.55 \frac{\text{aves}}{\text{m}^2}} = 993,317 \text{ m}^2$$

$$SCR \cong 993,317 \text{ m}^2$$

Donde:

SCR: Superficie de crianza requerida (m²)

NAES: Número de pollos de engorde en El Salvador, según inventario avícola

DPA: Densidad promedio de aves (aves/m²)

Retomando el promedio muestral de generación anual de pollinaza por unidad de superficie, mostrado en el cuadro 7.1, y el área efectiva de manejo de pollos de engorde en El Salvador, se puede establecer la producción nacional de pollinaza, según lo establecido en la Ecuación 7.5.

$$GPES = GPS * SCR \quad \text{Ecuación 7.5}$$

$$GPES = 53.65 \frac{\text{kg}}{\text{año} * \text{m}^2} * 993,317 \text{ m}^2$$

$$GPES = 53,294,272 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$GPES = 53,294 \frac{\text{TM}}{\text{año}}$$

Donde:

- GPES: Generación promedio anual de pollinaza en El Salvador (kg)
 GPS: Generación promedio anual de pollinaza por unidad de superficie (kg/m²)
 SCR: Superficie de crianza requerida (m²)

7.2 Estimación de la oferta energética de la pollinaza generada en las granjas de engorde avícolas evaluadas

El cálculo del potencial energético consiste en el producto del poder calorífico promedio por estrato y la cantidad de residuos generados. El poder calorífico se tomo de los resultados presentados en el Cuadro 6.20, mientras que la generación anual de pollinaza para cada una de las granjas, se extrajo del Cuadro 5.5.

Los resultados se presentan en el capítulo 7.3.

Cuadro 7.3 Potencial energético de la pollinaza de las granjas de engorde en estudio

Estrato	Poder Calorífico Superior Promedio (kcal/kg)	Generación total de pollinaza (kg/año)	Potencial energético (kcal/año)	Potencial energético (GJ/año)	Potencial energético (MWh/año)
GPE-01	4,397.78	387,005.47	1,701,966,192.23	7,125.79	1,979.33
GPE-02	3,124.34	216,862.77	677,553,451.93	2,836.78	787.97
GPE-03	4,448.41	342,918.00	1,525,439,838.37	6,386.71	1,774.04
GPE-04	3,883.33	575,336.25	2,234,217,760.81	9,354.22	2,598.32
GPE-05	3,563.82	1,150,672.50	4,100,795,061.94	17,169.21	4,769.09
GPE-06	3,596.40	506,199.00	1,820,494,751.14	7,622.05	2,117.18
GPE-07	4,081.22	506,199.00	2,065,908,810.36	8,649.55	2,402.58
Promedio	3,870.76	526,456.14	2,018,053,695.25	8,449.19	2,346.93

7.3 Estimación de la oferta energética de la pollinaza generada en El Salvador

En base al poder calorífico promedio del cuadro 6.9 y la generación anual de pollinaza en El Salvador (GPES), se realiza la estimación de la oferta energética de este recurso. Los resultados se expresan en el cuadro 7.4

Cuadro 7.4 Potencial energético de la pollinaza de granjas de engorde avícolas en El Salvador

Generación de Pollinaza en El Salvador (TM/año)	53,294.00
Poder Calorífico Superior Promedio (GJ/TM)	16.21
Potencial energético (GJ/año)	863,687.15

7.4 Beneficios ambientales del aprovechamiento del potencial energético de la pollinaza de granjas de engorde avícolas de El Salvador

En el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático se creó el Protocolo de Kioto, en el cual los países industrializados se comprometieron a reducir, para el periodo 2008-2012, el total de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por lo menos en un 5% en relación con los niveles de 1990.

Con el objetivo de facilitar el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de los países industrializados, a nivel del Protocolo se crearon tres mecanismos de flexibilidad:

- a) Implementación Conjunta
- b) Comercio de Emisiones
- c) Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

De estos tres mecanismos, solamente el MDL permitirá la compra-venta de certificados de reducción de emisiones (CERs) entre países industrializados y países en vías de desarrollo.

Los proyectos con potencial de ser elegibles para participar en el MDL, son los proyectos nuevos de reducción de emisiones de GEI, tales como: energías renovables (hidroeléctrica, geotérmica, cogeneración con biomasa, energía solar, eólica, etc.), eficiencia energética, uso de combustibles más limpios, entre otros y de captura de dióxido de carbono (CO₂).

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con el apoyo del Fondo de Carbono del Banco Mundial a través del Centro de Energía y Ambiente de la UNEP, el Instituto Tellus de Gran Bretaña y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), en el 2003, estableció una metodología para el estudio de línea base en El Salvador.

En el 2006, una actualización de dicho estudio para la matriz energética, en ese momento imperante en El Salvador, estableció una tasa de emisión de línea base de 0.609 Toneladas métricas de CO₂ equivalentes por MWh (UCA, 2006).

En función de esta tasa de emisión de línea base, se obtuvo una proyección de la reducción de toneladas de CO₂ equivalentes, una vez sea explotado el potencial energético de la pollinaza en cada una de las granjas (Ver cuadro 7.5) o bien a nivel nacional (Ver cuadro 7.6)

Cuadro 7.5 Proyección de la reducción de emisión anual de toneladas de CO₂ equivalentes por aprovechamiento de la pollinaza en cada una de las granjas evaluadas en el presente estudio

Estrato	Potencial energético (GJ/año)	Potencial energético (MWh/año)	Reducción de Toneladas de CO ₂ equivalente al año
GPE-02	2,836.78	787.97	479.88
GPE-03	6,386.71	1,774.04	1,080.39
GPE-04	9,354.22	2,598.32	1,582.38
GPE-05	17,169.21	4,769.09	2,904.38
GPE-06	7,622.05	2,117.18	1,289.36
GPE-07	8,649.55	2,402.58	1,463.17
Promedio	8,449.19	2,346.93	1,205.41

Cuadro 7.6 Proyección de la reducción de emisión anual de toneladas de CO₂ equivalentes por aprovechamiento de la pollinaza en El Salvador

Potencial energético (MWh/año)	239,906.38
Reducción de Toneladas de CO₂ equivalente al año	146,102.98

El precio de venta de los Certificados de Reducción de emisiones, rondó los USD\$ 14/tCO₂e, para Agosto de 2010 (Point Carbon, 2010), por lo que de incluirse dentro de un Programa de Mecanismo de Desarrollo Limpio, se alcanzarían ingresos de USD\$ 2,049,642 anuales.

OBSERVACIONES

1. Los siete estratos en los que se realizó el muestreo corresponden precisamente a siete granjas que permitieron el acceso.
2. Para la etapa consistente en determinar el número de submuestras por granja se utilizó la fórmula señalada por Fernández (1996), para el cálculo del tamaño muestral en Muestreo Aleatorio Estratificado; considerando la extensión superficial de crianza de pollos de engorde como el tamaño poblacional para cada uno de los estratos.
3. Cada una de las sub muestras fue recolectada en secciones homogéneas de uno de los galpones de la explotación avícola, seleccionado en base a previa verificación de que las aves en el alojadas, ya hubiesen sobrepasado el 50% del ciclo productivo. Seguidamente las muestras fueron cuarteadas, tomándose una muestra compuesta, a la cual se le realizaron los análisis físicos, químicos y fisicoquímicos.
4. Se evaluó el poder calorífico superior por duplicado para cada una de las muestras, bajo la metodología ASTM D2015. No se pudo determinar el poder calorífico inferior de la biomasa.
5. Para estimar el potencial energético de la pollinaza de explotaciones avícolas de engorde, se tomó en cuenta la generación anual de pollinaza, en base a: i) número de pollos de engorde en el territorio de El Salvador según inventario Avícola al 1º de octubre de 2007, ii) la densidad de aves por unidad de superficie promedio para las granjas evaluadas y iii) la generación de pollinaza por unidad de superficie promedio para las granjas evaluadas.

CONCLUSIONES

1. Se estimó que la oferta del potencial energético de la pollinaza como fuente de energía primaria, proveniente de granjas de engorde avícola en El Salvador, es de 239,906 MWh/año. Esta oferta es equivalente al 92.7% del potencial energético acumulado de los residuos agroindustriales disponibles de arroz, frijol y sorgo para el año 2000-2001 y corresponde al 11.24% de la oferta energética de los residuos de caña de azúcar disponibles para la zafra 1993- 1994.

La oferta energética de la pollinaza sería equivalente al 65.7% de la capacidad instalada de generación a partir de biomasa por Ingenio El Ángel, Ingenio La Cabaña y Grupo Cassa; y equivaldría al 137% de la capacidad disponible de generación de estos mismos, hasta junio de 2009.

Este mismo potencial energético, representa el consumo residencial de más de 193 mil familias salvadoreñas (con base a un consumo mensual por familia de 103 kwh/mes, según lo estableció el Centro para la Defensa del Consumidor en el 2009); y equivale al 1.9% de la matriz energética de El Salvador para 2009.

2. Para las muestras de pollinaza analizadas provenientes de las siete explotaciones avícolas comprendidas en el presente estudio, se obtuvo que el poder calorífico que varió en un rango de 13.08 GJ/TM hasta 18.62 GJ/TM, siendo el poder calorífico promedio de 16.21 GJ/TM.
3. Al comparar el poder calorífico superior de la pollinaza de granjas de engorde avícola con otros recursos biomásicos de amplio uso en El Salvador, tal como el bagazo de caña, se concluye que el potencial energético de una tonelada métrica de pollinaza seca sería equivalente al potencial energético de 1.61 toneladas métricas de bagazo de caña a 50% de humedad.
4. Una gestión ambiental adecuada sobre los residuos agroindustriales contribuye a mitigar el Cambio Climático, pudiéndose lograr en muchos casos Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio, con derecho a participar en el mercado de compra venta de Certificados de Reducción de Emisiones. El aprovechamiento del potencial energético de la pollinaza generada en las siete de granjas de engorde avícola contempladas en el presente estudio, representa una reducción de 8,800 toneladas de dióxido de carbono equivalente anuales. De lograrse un efecto multiplicador para las 82 granjas de engorde avícola restantes, se obtendría una reducción de 146,103 toneladas de dióxido de carbono equivalente anuales.

5. A través de la caracterización química de la pollinaza se estableció la dependencia del poder calorífico de la misma, en función del contenido de fibra, sin embargo es de considerar la influencia de factores adicionales como el contenido de ceniza.

Se comprobó que a mayor contenido de fibra, mayor poder calorífico; tal es el caso del estrato GPE-01 que presenta el mayor porcentaje de fibra neutro detergente base seca (67.08%) y uno de los mayores valores de poder calorífico entre los resultados de las muestras analizadas 18.41 GJ/TM.

Con la presente investigación se corroboró que la relación entre el potencial energético y el contenido ceniza es inversamente proporcional, dado que las cenizas representan la fracción no combustible. Se observó que el intervalo de poder calorífico para las muestras analizadas osciló entre 18.62 GJ/TM, correspondiente al estrato GPE-03 y 13.08 GJ/TM, correspondiente al estrato GPE-02. Dichas muestras a su vez corresponden a los valores extremos de porcentaje de ceniza en muestra, 6.28 y 36.4 % base seca, respectivamente.

6. Al evaluar la influencia en la composición química de la pollinaza, del intervalo de recolección de la cama y de las densidades de aves manejadas en el galpón. Se comprobó, que con el aumento de estas variables, se incrementa la proporción de excretas y de alimento en la cama de pollos; y como producto de este aporte se incrementan las concentraciones de minerales (Fósforo, nitrógeno, potasio y azufre) y disminuyen los contenidos de materiales fibrosos.
7. Al comparar los contenidos de fibra neutro detergente de la cama de cascarilla de café con cama de granza de arroz, se obtuvo que el porcentaje promedio fue de 60.32% y 44.85%, respectivamente.
8. Para cama de granza de arroz de un solo uso y de edades similares, se observó una reducción de 49.48% de contenido de FND a 43.39%, por un aumento en las densidades de aves en el galpón de 9.36 aves/metro cuadrado a 17.97 aves/metro cuadrado. A su vez, al comparar cama con un solo uso, a cama con cuatro usos se observa un incremento del 19.90% del contenido de fósforo, por el creciente aporte de las deyecciones.

RECOMENDACIONES

1. El sub sector avícola tiene un aporte significativo y usualmente creciente en el Producto Interno Bruto del sub sector pecuario. Para el 2009, dicho aporte alcanzó los treinta y un puntos porcentuales. La implementación de energías renovables a partir de los desechos del sub sector avícola, puede potenciar aún más los índices de producción y productividad de dicho subsector.
2. En la pollinaza pueden encontrarse algunos patógenos que pueden producir en el hombre enfermedades como conjuntivitis, neumonía, listeriosis, tuberculosis, enteritis, entre otras; de ahí que se recomiende utilizar equipo de protección personal que proteja al operario durante su manipulación.
3. Se recomienda realizar un estudio para evaluar el poder calorífico inferior de la pollinaza, y determinar de ese modo, el potencial energético que éste brinda sin considerar el aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua; lo que permitirá hacer comparaciones con datos de otros materiales reportados bibliográficamente.
4. Es importante realizar un estudio de prefactibilidad técnico-económica que complemente está investigación, en el que se consideren aspectos como formas de manejo y transporte, precio de compraventa, transformaciones para facilitar su uso, destinatarios del producto, y otros factores que se involucren directamente con la comercialización de la pollinaza.
5. LA NORMA TÉCNICA PARA EL FUNCIONAMIENTO, INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS AVÍCOLAS, en el artículo 17 establece que debe darse tratamiento físico o químico a la pollinaza durante el vacío sanitario. Se recomienda fortalecer el asidero legal sobre el manejo de la pollinaza de tal forma que se especifiquen los procedimientos a seguir para su disposición final. Se debe incluir un procedimiento especial para aquella la cama que será destinada como recurso energético.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGROADS, (2010). Consultada en Mayo de 2010, Página Web: <http://www.agroads.com>
2. Alvarado, M. (2000). **“Efecto de la fitasa sobre la excreción de nitrógeno y fósforo en pollos de engorde”**. Centro de Investigación y de enseñanza avícola de Zamorano; Honduras.
3. Álvarez, R. y Combellas, J. (2003). **“Efecto del número de lotes de aves, sobre la composición química de la cama de pollos”**. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela; Venezuela.
4. Arita, A. y Chacón R. (2007). **“Efecto del uso de viruta, cascarilla de arroz y arena como materiales de cama sobre la productividad de pollos de engorde en Zamorano, Honduras”**, Centro de Investigación y de enseñanza avícola de Zamorano; Honduras.
5. AVES, (2010). Asociación de Avicultores de El Salvador, El Salvador. Consultada en mayo de 2010, Sitio web: <http://www.aves.com.sv/>
6. BCR, (2009). **Datos de importaciones y exportaciones anuales, por rubro para el período del 2005 al 2008, del Centro de Trámites de Exportación (CENTREX) del Banco Central de Reserva de El Salvador**; El Salvador.
7. Berríos G., y Castro Fuentes M. (1997). **“Evaluación del Potencial Energético de los Residuos Agrícolas Vegetales en El Salvador, Parte I: Residuos de Caña de Azúcar (Saccharum officianarun) y Maíz (Zea Mays)”**. Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador; El Salvador.
8. Bock, B. (2007); **“Combustion Technologies: Scale and End Products”**, Innovative Environmental Technologies Symposium; Alabama, Estados Unidos.
9. CEASDES, CODDEFFAGOLF, ICRW, (2000). **“Una plataforma de acción para el Manejo Sostenible de los Manglares del Golfo de Fonseca”**. Centro de Estudios Ambientales y Sociales para el Desarrollo Sostenible, Comité para la Defensa y el Desarrollo de la Flora y la Fauna del Golfo de Fonseca, Centro Internacional de Investigaciones sobre la Mujer; El Salvador.
10. CEL (1997), **“Boletín de Estadística Eléctrica N° 28”**, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa; San Salvador, El Salvador.

11. CEL, (2010). Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, El Salvador, Consultado en febrero de 2010, Sitio web: <http://www.cel.gob.sv/>
12. CENTA (2005). **“Muestreo y análisis de suelos, Boletín 17”**. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal; San André, El Salvador.
13. CESTA (2008), **“Políticas Energéticas en América Latina”**, Amigos de la Tierra. El Salvador.
14. CNE, (2007). **“Política Energética, Gobierno de El Salvador”**. Consejo Nacional de Energía; El Salvador.
15. CNPML, (2008). **“Diagnóstico Ambiental del Sub Sector Avícola”**, Acuerdo de Cooperación USAID-CCAD-SICA, Centro Nacional de Producción Más Limpia de El Salvador; El Salvador.
16. Cobb-Vantress, (2008) **“Guía del Manejo del Pollo de Engorde”**; Arkansas, Estados Unidos.
17. Creus Solé, A. (2009) **“Energías renovables”**. Segunda Edición . S.L. Ediciones CEYSA; Barcelona, España.
18. DGA, (2010). Dirección General de Aduanas, El Salvador, Consultada en abril de 2010, Página web: <http://www.aduana.gob.sv/>
19. Domínguez K., Henríquez C. y Parras S. (2000). **“Evaluación del Potencial Energético de Residuos Agrícolas y Procesamiento de: Arroz (Oriza sativa), Frijol (Phaseolus vulgaris), y Sorgo (Sorghum vulgaris), en El Salvador”**. Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador; El Salvador.
20. Elías, X. (2005). **“Valorización energética de residuos”**. Ed. Díaz de Santos; Madrid, España.
21. FAO, (2010). **“Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación”**, Food and Agriculture Organization, consultada en mayo de 2010, Página web: <http://faostat.fao.org>
22. Fernández, J.; (2008). **“Cultivos Energéticos”**, Universidad Politécnica de Madrid; España.
23. Fernandez, P. 1996. **“Determinación de tamaño muestral”**. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña; Galicia, España

24. FOCER, (2002). **“Manuales sobre energía renovable: BIOMASA”**. PNUD, GEF, BUN-CA. Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central; San José Costa Rica.
25. Gerlach, R.W. y J.M. Nocerino. (2003). **“Guidance for obtaining representative laboratory analytical subsamples from particulate laboratory samples”**. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-03/027. 134 pp; Estados Unidos.
26. Groppelli, E., (2010) **“Residuos Agroindustriales”**. Eg-ingeniería: <http://www.eg-ingenieria.com.ar/residuos-agroindustriales.html>.
27. Hernández Antolín, M. (2008). **“Procesos termoquímicos de transformación de la biomasa”**, Universidad Politécnica de Madrid; España.
28. Jacob, J.; Kunkle, W.; Térvola, R.; Miles, R.; Mather, F. (1997). **“Broiler Litter, Part 1: A feed ingredient for ruminant”**. University of Florida, Institute of Food Animal and Agricultural Science; Estados Unidos.
29. J. A.O.A.C. , (1990). **“Official methods of analysis”**, Association of Official Analytical Chemists. 15th. Ed. Arlington, Virginia; Estados Unidos.
30. La Geo, (2010). Consultado en febrero de 2010, El Salvador, Página web: <http://www.lageo.com.sv/>
31. Lazo K., López O., Soriano R. (2004). **“Determinación de la Factibilidad de uso y comercialización de la turbococina en El Salvador”**. Trabajo de Graduación para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad de El Salvador; El Salvador.
32. Lesme Jaén, R. (2010). **“Pirólisis de biomasa. Experiencias y aplicaciones”**. CEEFE; Cuba.
33. Lesme Jaén, R. (2010). **“Gasificación de biomasa”**. Universidad de Oriente Cuba; Cuba.
34. MAG, (2009). **NORMA TÉCNICA PARA EL FUNCIONAMIENTO, INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS AVÍCOLAS**, Centro de Documentación Judicial, Corte Suprema de Justicia de El Salvador; El Salvador.
35. MARN, (2003). **“Estudio de Línea Base para el Sector Eléctrico de El Salvador”**. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fondo de Carbono del Banco Mundial, Centro de Energía y Ambiente de la UNEP, Instituto Tellus de Gran Bretaña y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas; El Salvador.
36. MINED, (1997). **“Historia Natural y Ecológica de El Salvador”**. Tomo II. Primera Edición. Ministerio de Educación, San Salvador; El Salvador.

37. MINEC, (2009). **“IV Censo Agropecuario 2007-2008”**. Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos, Resultados Nacionales; El Salvador.
38. MINEC y DIGESTYC, (2007). **“Directorio de empresas a nivel nacional”**, Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos; El Salvador.
39. Murillo, T. (1999). **“Alternativas del uso para la gallinaza/pollinaza”**, XI Congreso Nacional Agronómico; Costa Rica.
40. Osorio Salvador., **“Recursos energéticos de la Biomasa y su aplicación industrial”**. Combustion Biomass Services; Cádiz, España.
41. Prieto, M. (2008) **“Instalaciones usando Biomasa”**. Bioprojecta; España.
42. Point Carbon, (2010). Consultada en agosto de 2010, Sitio Web: <http://www.pointcarbon.com/productsandservices/carbon/>
43. REM Engineering; **“Manure Furnace Proposed on Eastern Shore”**. Consultada en Agosto, de 2010, sitio: www.remenergy.com/news.htm; Estados Unidos.
44. Revista Índice. (Noviembre, 2004), **“Petróleo y consumo energético mundial: varias posturas ante una misma realidad”**. Revista de Estadística y Sociedad, Instituto Nacional de Estadística, Universidad Autónoma de Madrid; España.
45. Ríos, L.; Combellas, J. y Álvarez, R. (2005). **“Uso de excretas de aves en la alimentación de ovinos”**. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela; Venezuela.
46. Ruiz, D. y Ruiz, V. (2005). **“Efecto del Óxido de Calcio sobre el contenido químico y microbiológico de la cama y su efecto en la producción de pollos de engorde”**. Centro de Investigación y de enseñanza avícola de Zamorano; Honduras.
47. SIGET, (2009). **“Estadísticas Eléctricas: Avance Primer Semestre, 2009”**, Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones; San Salvador, El Salvador.
48. SNET, (2010). Consultada en julio de 2010, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Página Web: <http://atlas.snet.gob.sv>.
49. Tobía, C. y Vargas, E. (2000) **“Evaluación de las excretas de pollos de engorde (pollinaza) en la alimentación animal. I. Disponibilidad y composición química.”** Agronomía Costarricense, enero-junio, año/vol. 24, número 001; Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica.

50. Torres, J.E. (1995). **“Estado Actual de la Producción, Consumo y Comercialización de Leña en el Municipio de Ahuachapán”**. Proyecto Plurinacional de Producción de Energía y Alimentos en el Istmo Centroamericano desarrollado por la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL); El Salvador.
51. UCA, (2006). **“Calculation of Baseline Emission Rate”**. Universidad Centro Americana José Simeón Cañas, El Salvador.
52. Valverde, A. y Monteagudo, J. (2007). **“Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz”**. Scintia et Technica Año XIII, No. 37; Pereira, Colombia.
53. Van Soest, P.; Robertson, J.; Lewis, B. (1991). **“Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition”**. Journal of Dairy Science 74:3583-3591; Estados Unidos.
54. Van Wayle Sommtang (1994). **“Fundamentos de Termodinámica”**. Editorial LIMUSA. México.
55. Vargas, E.; Mata, L; 1994, **“Utilización de las Excretas de Aves en la alimentación de los Rumiantes”**. Nutrición Animal Tropical 1:59-71, Costa Rica.
56. Velásquez Mejía W., (2009). Curso sobre **“Biomasa. Energías Renovables”**. Sitio web <http://www.mailxmail.com/curso-biomasa-energias-renovables>

ANEXOS

ANEXO A

MAPAS DE DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTORES Y AVES EN EL SALVADOR



UBICACION GEOGRAFICA GRANJAS AVICOLAS SEGUN ACTIVIDAD PRODUCTIVA EL SALVADOR

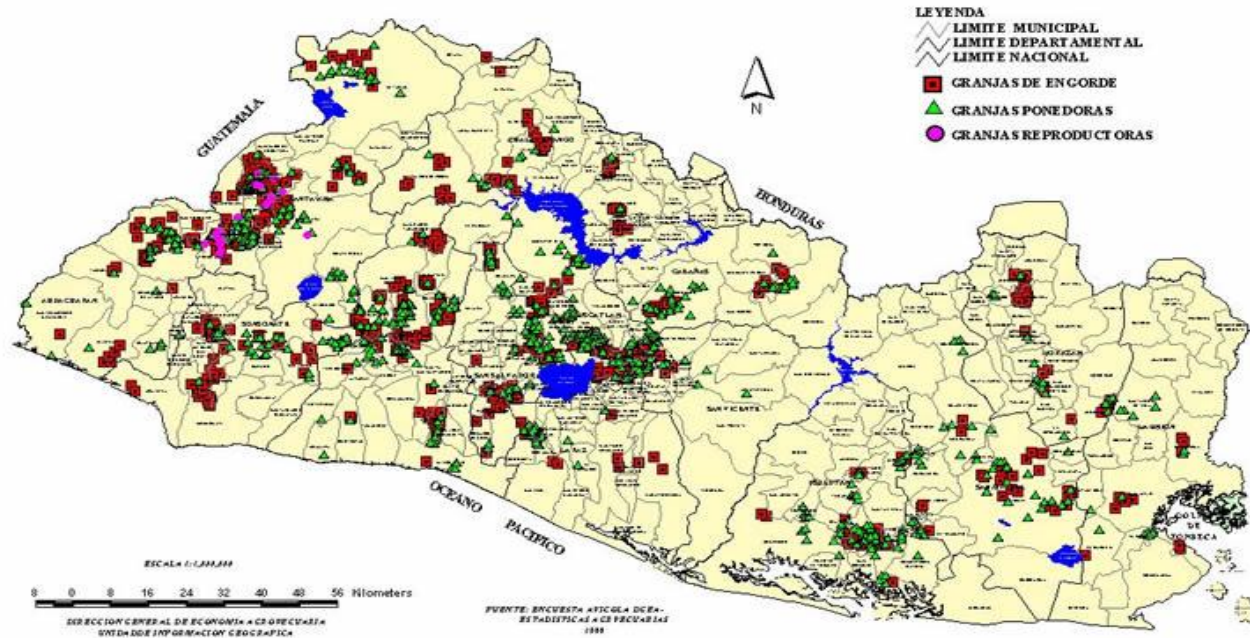


FIG. A-1. UBICACIÓN DE GRANJAS AVICOLAS A NIVEL DE EL SALVADOR

Fuente: Programa sanitario de apoyo a la cadena de producción avícola (PREA), MAG



FIG A-2. DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTORES DE AVES SEGÚN DEPARTAMENTOS

Fuente: IV Censo Agropecuario (DIGESTYC, MINEC; 2009)

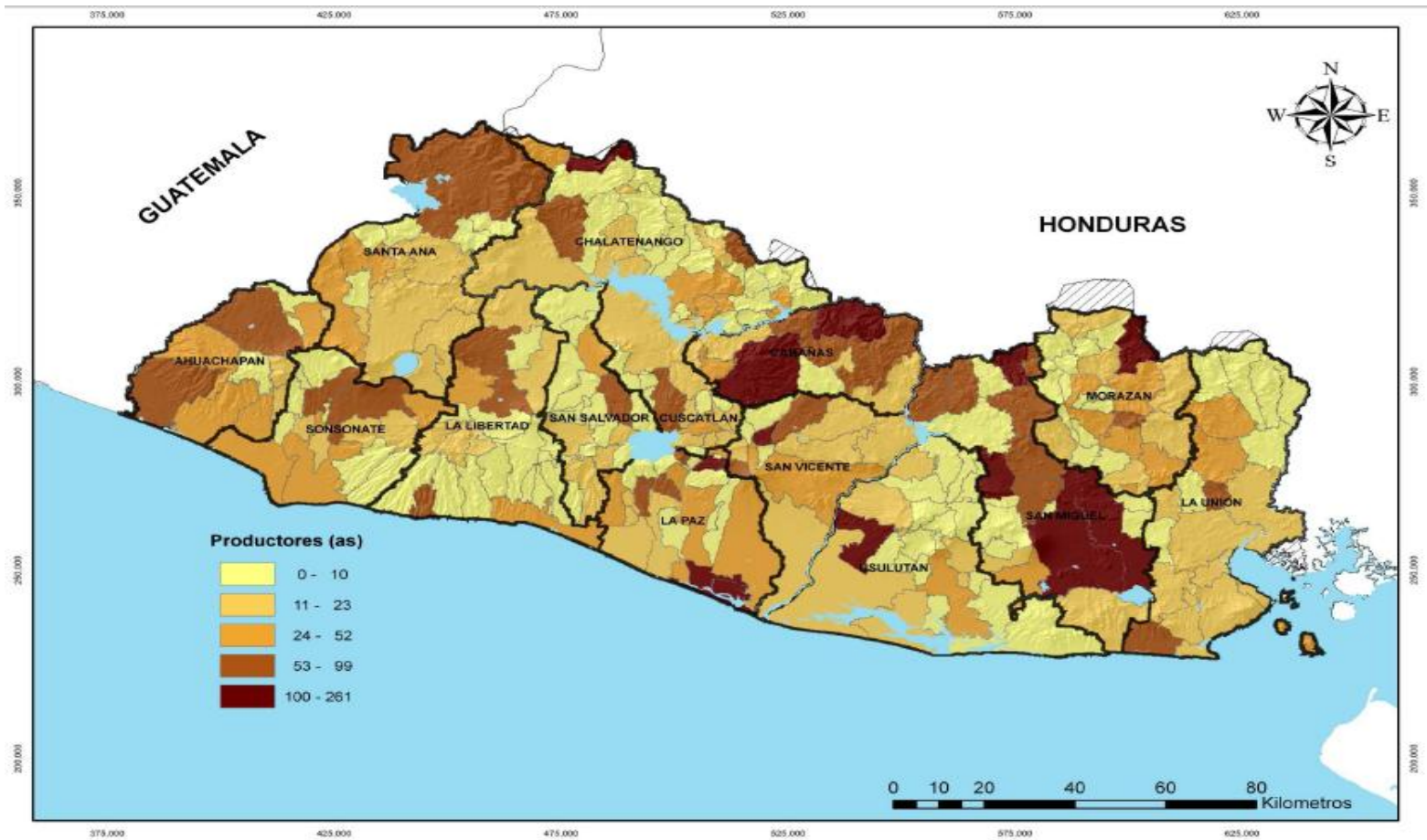


FIG. A-3. DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTORES DE AVES SEGÚN MUNICIPIOS

Fuente: IV Censo Agropecuario (DIGESTYC, MINEC; 2009)

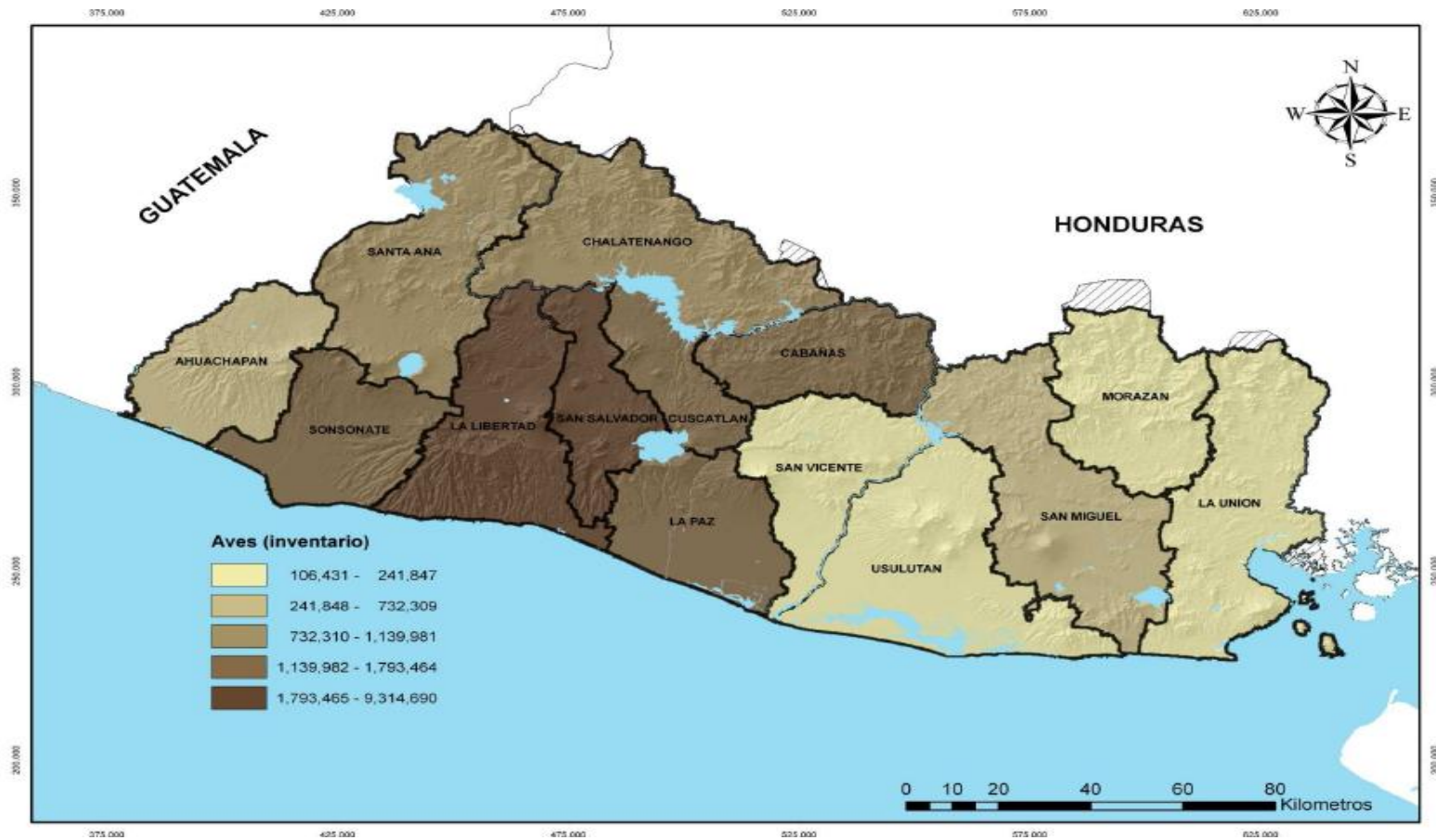


FIG. A-4. DISTRIBUCIÓN DEL INVENTARIO DE AVES SEGÚN DEPARTAMENTO

Fuente: IV Censo Agropecuario (DIGESTYC, MINEC; 2009)

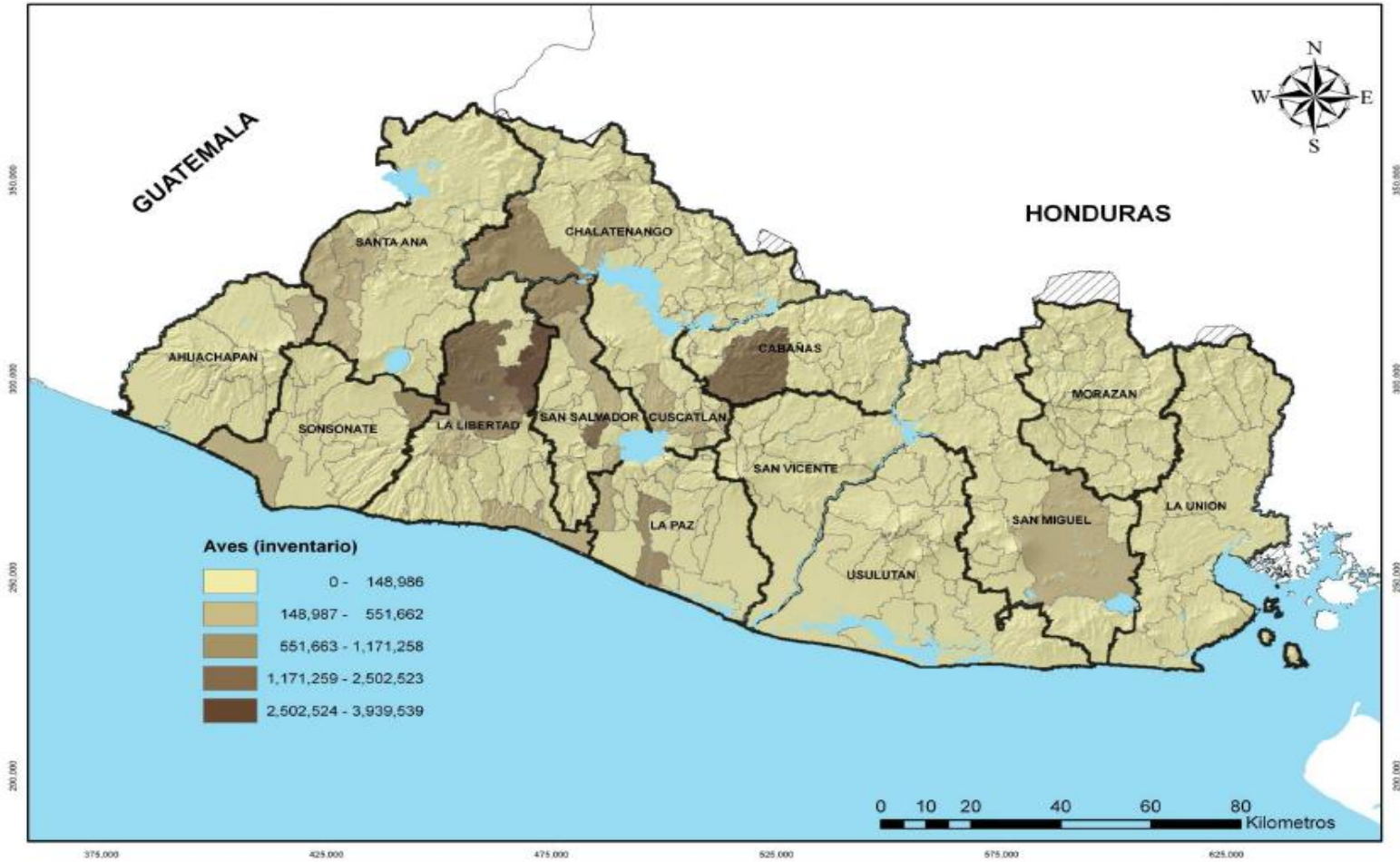


FIG. A-5. DISTRIBUCIÓN DEL INVENTARIO DE AVES SEGÚN MUNICIPIOS

Fuente: IV Censo Agropecuario (DIGESTYC, MINEC; 2009)

ANEXO B

**UBICACIÓN DE SITIOS DE MUESTREO DE POLLINAZA PROVENIENTE DE GRANJAS DE ENGORDE
AVICOLAS EN EL SALVADOR Y CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS POR REGIÓN**



FIG. B-1. UBICACIÓN DE MUNICIPIOS EN LOS QUE SE REALIZÓ EL MUESTREO.

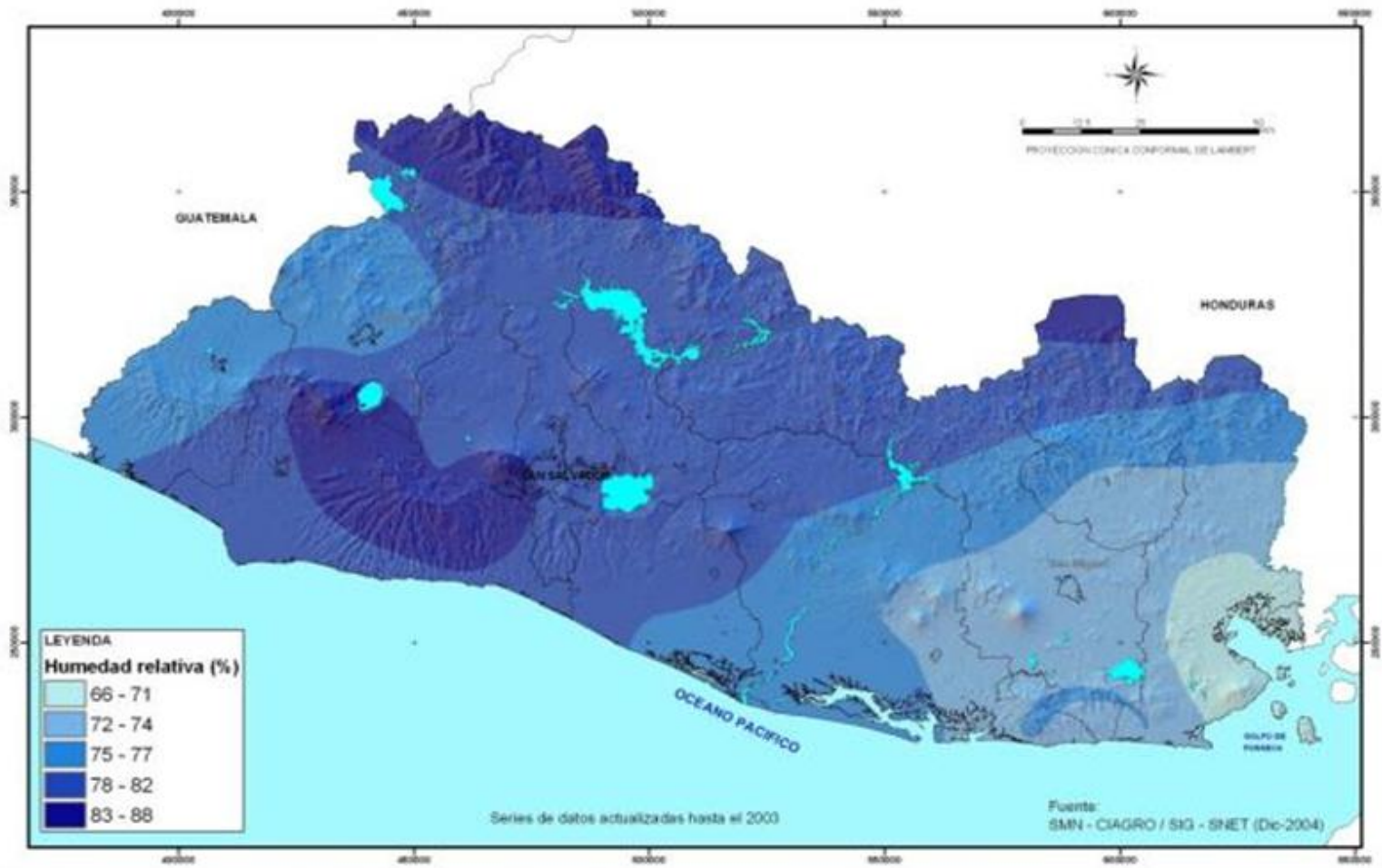


FIG. B-2 MAPA DE HUMEDAD RELATIVA DE EL SALVADOR. MES DE JULIO (SNET,2009)

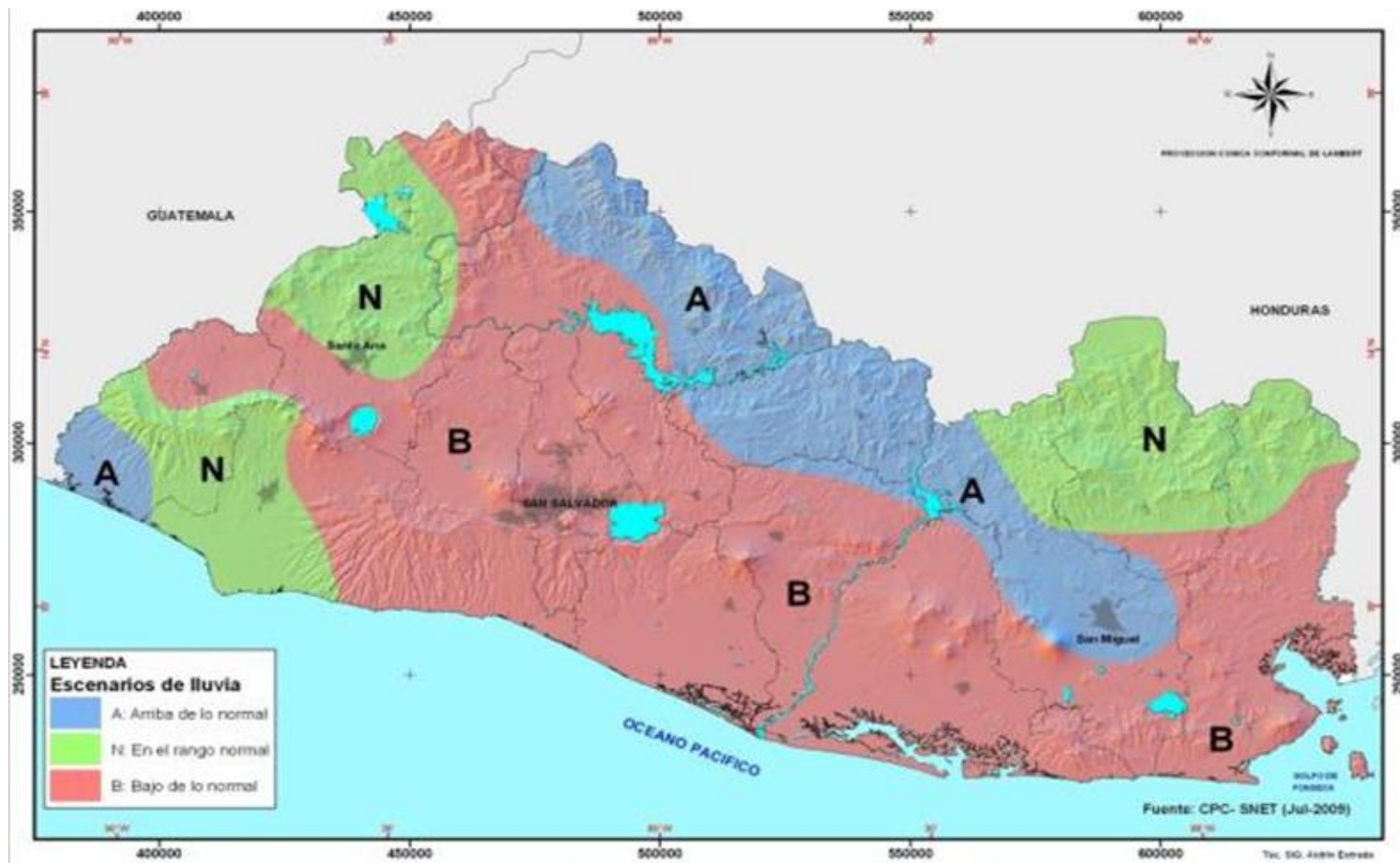


FIG.B-3 LLUVIA PROMEDIO OBSERVADA EN EL SALVADOR. TRIMESTRE MAYO-JUNIO 2009. (SNET,2009)

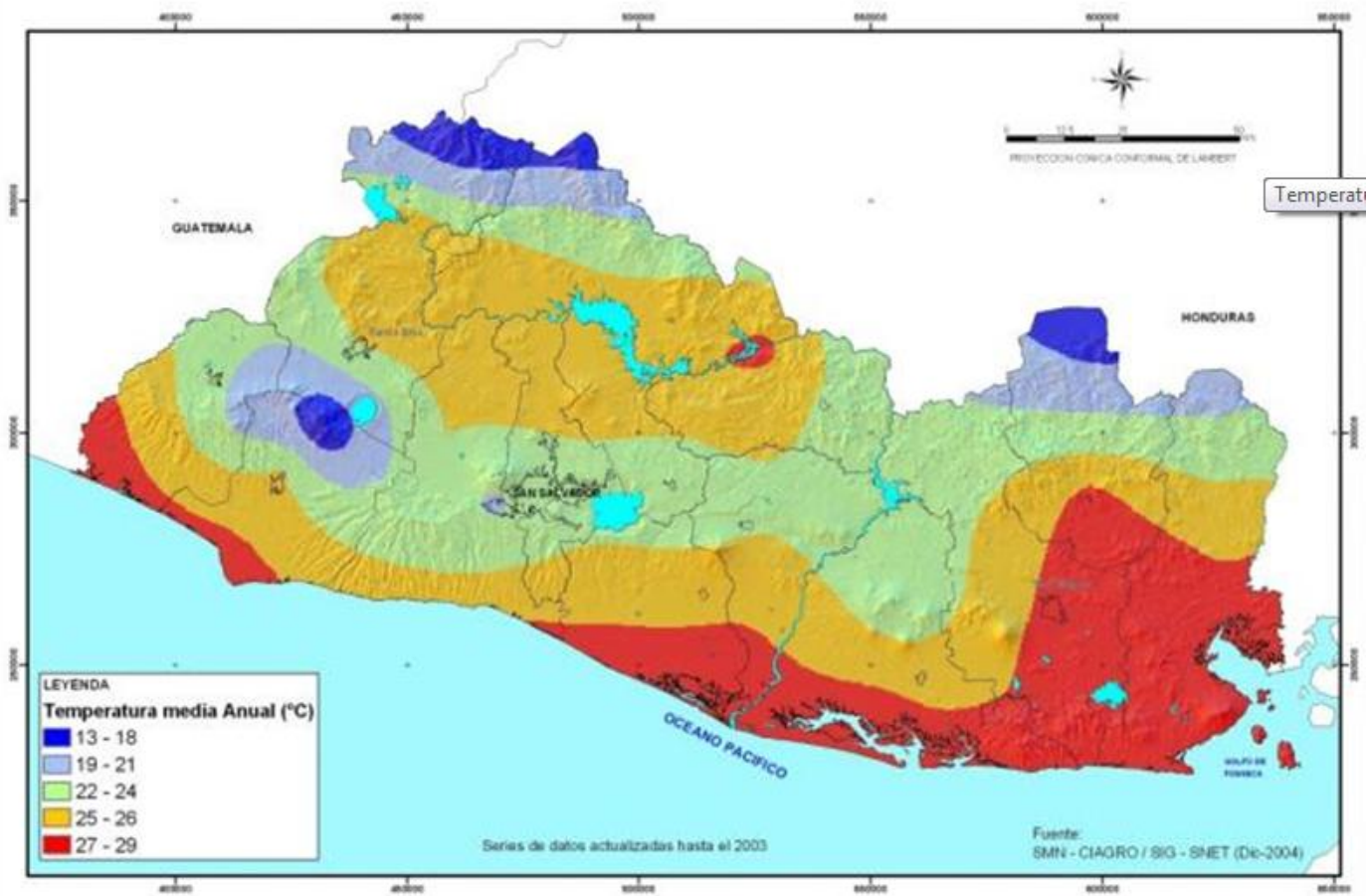


FIG.B-4 MAPA DE TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL DE EL SALVADOR (SNET,2009)

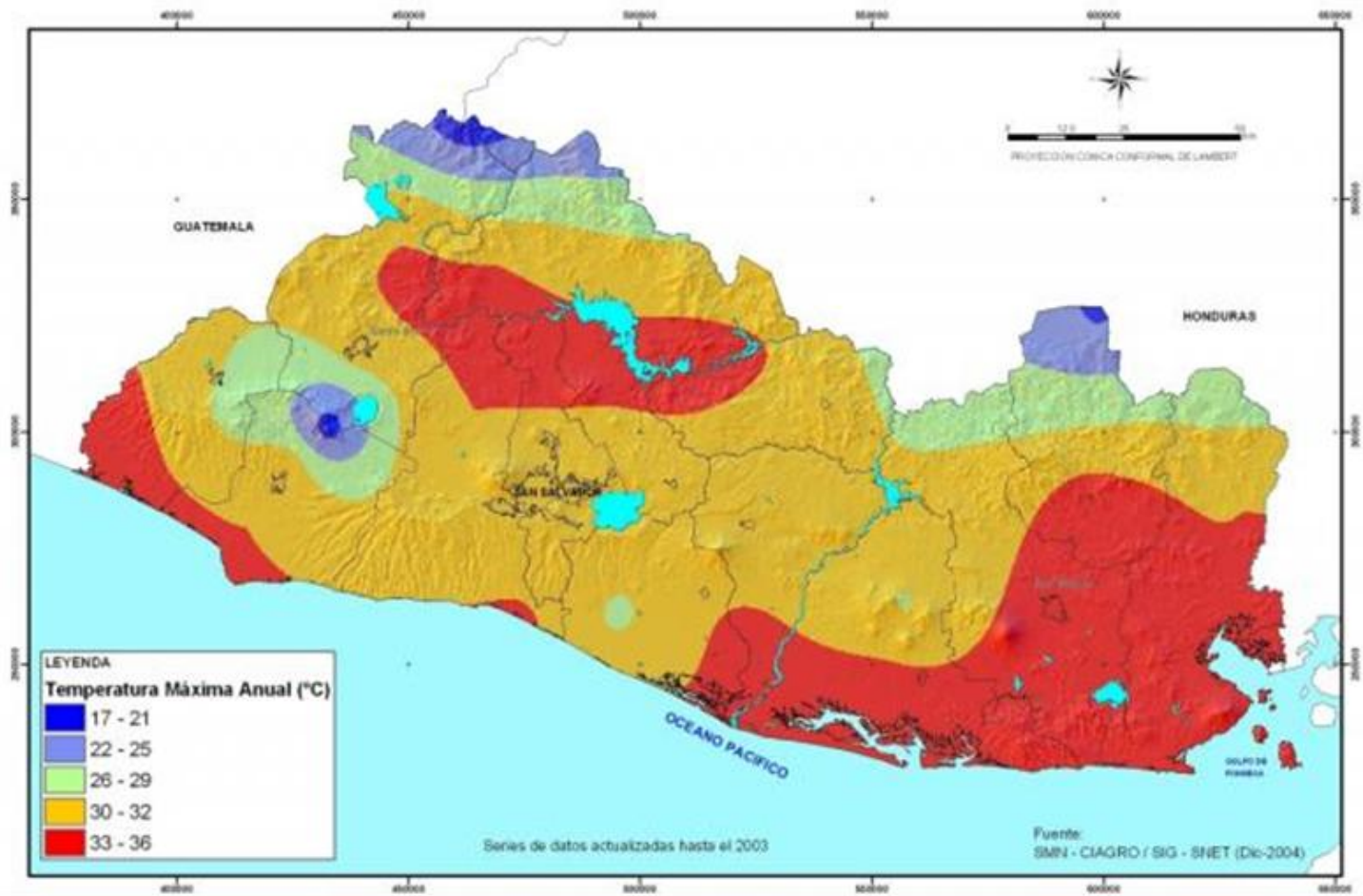


FIG. B-5. MAPA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS DE EL SALVADOR. MES DE JULIO. (SNET,2009)

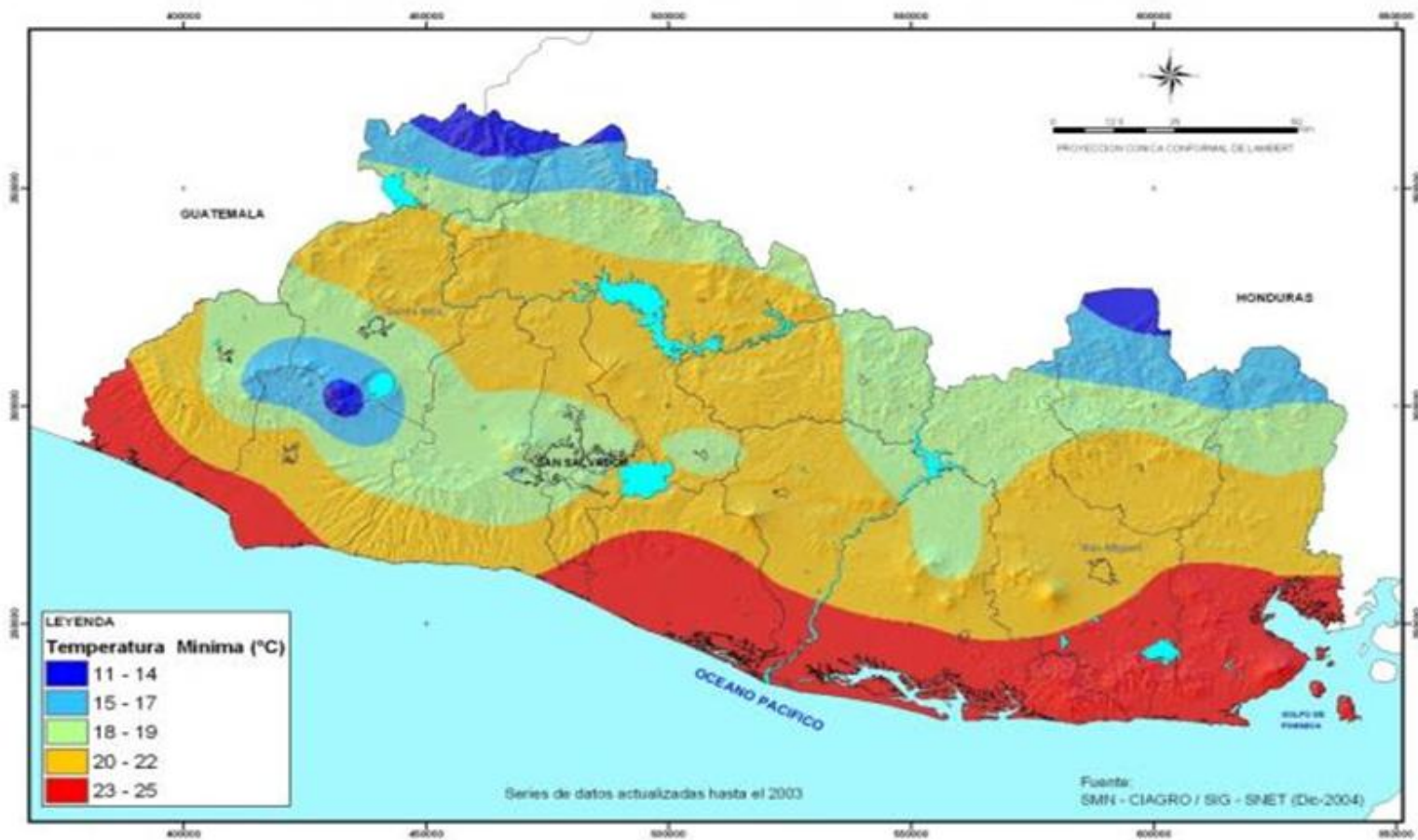


FIG. B-6. MAPA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS DE EL SALVADOR. MES DE JULIO (SNET,2009)

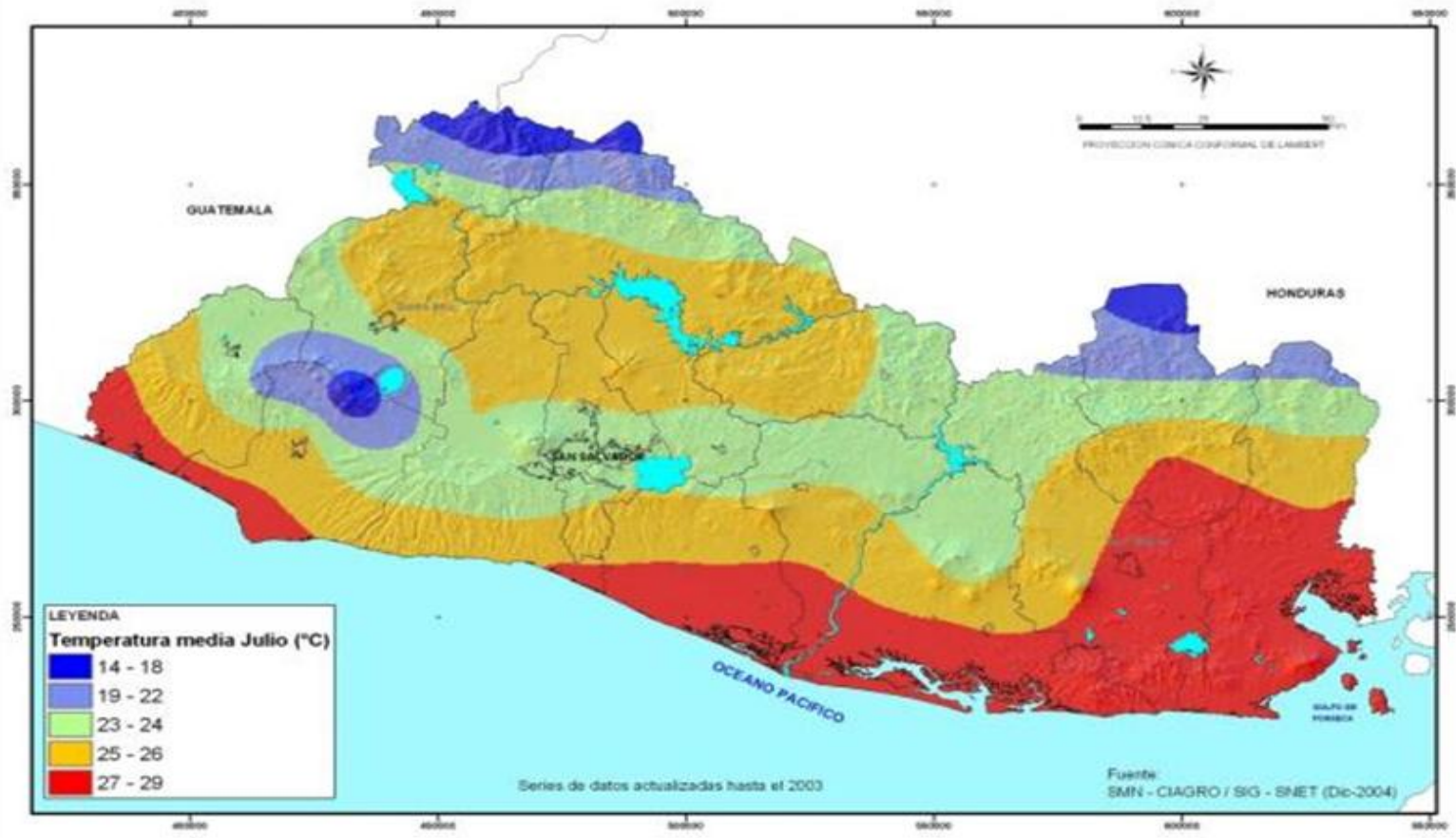


FIG. B-7. MAPA DE TEMPERATURA PROMEDIO DE EL SALVADOR. MES DE JULIO (SNET,2009)

ANEXO C

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA EL ANALISIS DE POLLINAZA PROVENIENTE DE GRANJAS DE ENGORDE AVICOLAS EN EL SALVADOR

SECCIÓN 1.0. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE POLLINAZA

Previo a la realización de la determinación del poder calorífico, las muestras deben de ser secadas, dado que la bomba calorimétrica opera a porcentajes de humedad inferiores al 20%.

Seguidamente las muestras, sufren una reducción de tamaño, hasta homogenizar a un diámetro de partícula de 1 mm, favoreciendo la mezcla de los componentes de la cama. La operación es llevada a cabo en un molino de cuchillas. La molienda incrementa la relación superficie-volumen propiciando un aumento de la velocidad de calentamiento del material



FIG. C-1. MOLINO DE CUCHILLAS PARA REDUCCION DE TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LAS MUESTRAS

SECCION 2.0. EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS FÍSICAS



FIG. C-2. MEDIDOR DE HUMEDAD (SARTORIUS, MODEL MA150)

Determinación de Humedad

Para establecer experimentalmente la humedad de la pollinaza, se realizarán mediciones con un analizador de humedad electrónico (Sartorius, MODEL MA 150), mediante un procedimiento de secado estándar, a temperatura de calentamiento de 105 °C.

Determinación de Cenizas, Calcinación (Método Oficial de la AOAC).

La muestra iniciará a calcinar a una temperatura entre 500 y 550°C para quemar todo el material orgánico. El Material orgánico que no se destruye a esta temperatura se le llama “ceniza”.

Equipo:

- Balanza analítica.
- Desecador de Gabinete.
- Horno o mufla.

Materiales:

- Crisoles de porcelana de 50 o 100 ml. Previamente identificados.
- Pinzas para crisol.
- Espátula de acero inoxidable.

Procedimiento:

- Colocar el crisol limpio en el horno a mufla a 550°C durante 1 hora.
- Trasladar el crisol del horno al desecador y enfriado a la temperatura de laboratorio, durante 20 minutos.
- Pesar el crisol vacío (anotar el peso tomando cuatro cifras decimales).

Nota: En todos esos pasos del análisis tener la precaución de usar pinzas de metal para manejar los crisoles después de que se secan o incineran. Objetivo evitar contaminación por mal manejo, se obtendrían datos erróneos

- Pesar aproximadamente 2 gramos de muestra directamente en el crisol de porcelana.
- Colocar el crisol en el horno o mufla y mantener a temperatura entre 550°.
- Retirar el crisol del horno o mufla cuando ésta se encuentra a una temperatura de 100° C, colocarlo en el desecador entre 20 minutos y pesar (anotar este peso).

SECCION 3. 0. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA, EQUIPOS UTILIZADOS Y PROCEDIMIENTOS, PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PRUEBAS FISICOQUÍMICAS

Manejo de la bomba calorimétrica

En operaciones requeridas para medir una muestra desconocida o estandarizada en el sencillo, proceda con pasos prudentes de la manera siguiente:



FIG. C-3. BOMBA CALORIMETRICA
Parr 1314 (VISTA EXTERNA)

1. Preparación de muestra y carga de bomba de oxígeno

a) *Muestra*

Nunca usar una muestra con masa mayor que 1.1 g, cuando se analiza una muestra desconocida (que no se conoce su poder calorífico), no trabajar con un peso de muestra mayor que 1.0 g.

Usar ml de agua en el fondo de la bomba, el cual sirve como absorbente. Debe ser tomado con cuidado para no molestar la muestra, cuando mueva la cabeza de la bomba del soporte al cilindro de la bomba. Observe el aro navegador para estar seguro que está en buena condición y humedecida con un poco de agua de tal manera que se deslice libremente en el cilindro, luego deslice la cabeza dentro del cilindro y empuje hasta donde llegue (tope).

El tamaño de las partículas cuando la muestra es sólida es de mesh, o más pequeña y comprimida dentro de un pellet con un prensador pellet Parr. Puede trabajarse con muestras toscas si hacen ignición y se queman completamente.



FIG.C-4. PRENSA PARA ELABORACIÓN DE LA PASTILLA.



FIG. C-5. ELABORACIÓN DE LA PASTILLA

La humedad en las muestras es tolerada hasta un 20 %. Si la muestra se encuentra en base seca y la humedad ha de ser adherida, gotee agua dentro de la muestra o dentro del pellet, después que

la muestra ha sido pesada y dejar por un rato para obtener distribución uniforme. La muestra puede tener 0.5 pulgadas de diámetro.

b) Llenado de la bomba

El oxígeno para la bomba puede ser llenado de un tanque comercial estándar, destornille la copa protectora del tanque e inspeccione las tuercas en la válvula para estar seguro que están limpias en buenas condiciones.

Abra la válvula de control de la conexión de llenado y observe como la bomba de presión se eleva a la presión deseable (usualmente 30 atm pero nunca más de 40 atm), luego cierre el control de la válvula. La perilla interior de la bomba verificadora se cerrará automáticamente cuando el flujo de oxígeno sea cortado, dejando la bomba llena a la presión más alta indicada 0-55 atm,, calibrada. Libere la presión residual en la manguera de llenado, empujando hacia abajo el sostenedor de nivel de la válvula.

2. Método de Operación de la Bomba Calorimétrica.

Calibrar la balanza.

Llenar el balde del calorímetro, pero primero tare el balde seco sobre una solución o sobre una balanza. Entonces agregar 2000 (± 0.5) gramos de agua. Es preferible agua destilada, pero agua desmineralizada o de grifo conteniendo cantidades menores a 250 ppm de sólidos disueltos es satisfactoria. La temperatura del agua debe estar aproximadamente a 1.5°C bajo el cuarto de temperatura, pero esta puede ser variada o acomodada a preferencia del operador. Si no es necesario usar exactamente 2000 gramos, pero la cantidad seleccionada debe ser duplicada dentro de ± 0.5 gramos por cada corrida. Otra consideración es llevar la cubeta de una forma pipeteada automáticamente o de algún otro mecanismo volumétrico si las repeticiones del sistema de llenado están dentro de un rango de ± 0.5 ml y la temperatura del agua se mantiene dentro del rango de 1°C.



FIG. C-6. BOMBA CALORIMÉTRICA (VISTA INTERNA)

Colocando la cubeta en el calorímetro, unir el asa a los dos hoyos en el sitio de la armella superior y bajar la bomba introduciéndola al agua, con estos pasos en el espacio patrón circular en el fondo de la cubeta. Manipule la bomba cuidadosamente durante esta operación así la muestra no será desarreglada. Remueva el asa, agite o tire unas gotas de agua dentro de la cubeta; entonces presione los dos alambres guías de ignición en el enchufe, terminar en la cabeza de la bomba, sea cuidadoso no remueva el agua de la cubeta con los dedos.

Colocar la cubierta sobre la chaqueta con el termómetro cara hacia el frente. Girar el agitador con la mano para estar seguro de que corre libremente; entonces deslice la cinta conductora sobre la polea y encienda el motor.

Permitir el agitador correr por cinco minutos para llegar a un equilibrio, antes de arrancar una corrida moderada o de medida. Al final de este período registra el tiempo o enciende un cronómetro y lee la temperatura a 1-10 de la escala de división pequeña. Siempre de unos golpecitos al termómetro con un lápiz o barilla para que vibre el mercurio antes de tomar una lectura.

Leer y registrar las temperaturas en un minuto de intervalo por cinco minutos. Entonces en el encendido del sexto minuto.

Colocarse tras el calorímetro y encender la bomba pero presionando el botón de ignición y retenerlo abajo hasta que la luz indicadora se apague. Normalmente la luz brilla solamente por medio segundo pero el botón puede soltarse en 5 segundos sin hacer caso de la luz. Precaución: No tenga la cabeza, manos o cualquier parte del cuerpo sobre el calorímetro, cuando la bomba encienda, y continúe situado libre por 30 segundos después del encendido.

La temperatura de la cubeta ascenderá o subirá dentro de 20 segundos después del encendido. Esta subida será rápida durante los primeros pocos minutos, entonces quedaría lenta así la temperatura se acercará a una máxima estabilidad. Esto no es necesario para crear una curva similar para cada medida, para cada medida, pero a cierto tiempo las observaciones de temperatura deben ser recordadas para identificar ciertos puntos necesarios para calcular el valor calorífico de la muestra.

Medir el tiempo requerido para alcanzar el 60% de subida total, pero estimando la temperatura en el 60% de los puntos y observando el tiempo cuando suba el mercurio y camine a tocar ese nivel. Si el 60% de los puntos no pueden ser estimados antes de la ignición, tome la temperatura leyendo en 45, 60, 75, 90 y 105 segundos después de encendido e interpole entre esas lecturas para identificar el 60% de los puntos, después el total de subida tuvo que ser medida. Estas lecturas pueden ser tomadas sin una exagerada estimación cercanos a 0.02 °C, son suficientes en estos puntos.

Después del período de subida rápida (cerca de 4 o 5 minutos después de la ignición), ajuste el lente de lectura y registre la temperatura en la escala de pequeña división de 1 a 10 en intervalos de un minutos hasta que la diferencia entre las lecturas sucesivas se haga constante por 5 minutos. Usualmente la temperatura alcanza un máximo; entonces cae muy lentamente. Pero esto no siempre es cierto, a bajas temperaturas de encendido puede resultar en una lenta continuación de subida sin alcanzar un máximo. Como el estado sobre las diferencias entre las lecturas sucesivas debe ser anotadas las lecturas continuarán en intervalos de un minuto hasta que la razón de cambio de temperatura sea constante sobre un período de 5 minutos.

Después de la última lectura de temperatura parar el motor, remueva la banda y levante la cubierta del calorímetro. Limpie el bulbo del termómetro, limpie con un paño limpio y coloque la cubierta sobre el soporte vertical A37A. Destape la bomba fuera de la cubeta, remueva las guías de ignición y limpie la bomba con una toalla limpia.

Abra la cabeza de la bomba, pase los terminales de conexión, pero descargue la presión del gas antes de intentar remover la tapadera. Esta descarga procederá lentamente por un período no menor de un minuto para evitar perder los residuos internos. Después que toda la presión es descargada, destornillar la tapadera; levantar la cabeza fuera del cilindro y colocarla en el lugar sobre el soporte. Examine el interior de la bomba por el hollín y otras evidencias de combustión incompletas. Si tales evidencias son encontradas la prueba tiene que ser descartada.

Lavar toda la superficie interior de la bomba con un chorro de agua destilada y coleccionar el lavado en un beaker.

Remueva todas las partes quemadas del alambre fusible de los electrodos de la bomba; arreglarlos y medir las longitudes combinadas en centímetros. Sustraiga esta longitud de la longitud original

de 10 centímetros y coloque esta cantidad sobre la hoja de datos como la suma neta del alambre quemado.

Titular el lavado de la bomba con una solución de carbonato de sodio estandarizado, usando naranja de metilo o rojo de metilo como indicador. Una solución 0.0709 N de carbonato de sodio es recomendable para la titulación y simplifica los cálculos. Esto es preparado disolviendo 3.76 gramos de carbonato de sodio (Na_2CO_3) en agua y diluyendo a un litro. Soluciones de Hidróxido de Sodio (NaOH) o Hidróxido de Potasio (KOH) pueden ser usadas normalmente.

Analice el lavado de la bomba para determinar el contenido de sulfuro de la muestra, si excede el 0.1%, utilice el procedimiento de la determinación de Azufre.

CORRECCIONES TERMOQUÍMICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO

a) Corrección del termómetro.

Los termómetros proporcionados con calorímetros Parr 1341, son medidos con precisión en intervalos de no menos de 1.5 °C sobre toda escala graduada. Las correcciones a ser aplicadas a cada uno de estos puntos de medición son reportados sobre un certificado y ploteados sobre una carta de corrección

b) Corrección del alambre fusible

El alambre usado para la ignición de la muestra es consumido parcialmente en la combustión. De esta manera, se considera la generación de calor por parte del fusible y la resistencia ofrecida a la corriente eléctrica de encendido y por el calor de combustión de esta porción de alambre que es quemado.



FIG. C-7. ALAMBRE FUSIBLE Y CILINDRO PARA LA ELABORACIÓN DE LA PASTILLA

c) Correcciones ácidas.

Mientras la combustión tiene lugar en la bomba en un atmosfera de casi oxígeno puro a alta presión y temperatura, algunas reacciones que no ocurrirían en quemados del mismo material bajo de las condiciones normales atmosféricas, tienen lugar. Estas reacciones son importantes porque generan una apreciable cantidad de calor que no puede ser acreditado a la muestra, y por la cual tiene que hacerse una corrección.

Por ejemplo en la combustión normal de carbón, todo el azufre es oxidado y liberado como SO_2 pero el nitrógeno en el material usualmente no es afectado.

Del mismo modo no ocurre cambio en el nitrógeno del aire para la combustión normal. Pero, cuando el mismo carbono es quemado en la bomba de oxígeno, la oxidación de azufre es convertida hasta una oxidación de SO_3 , la cual combinada con el vapor de agua forma H_2SO_4 , y alguna parte del nitrógeno es oxidado y combinado con vapor de agua forma HNO_3 . Estas dos reacciones se convierten en ácidos dentro de la bomba, y requiere una corrección por la cantidad de calor liberado en sus respectivas formaciones.

En el cálculo de esta corrección para la formación de ácido se asume que todo el ácido titulado es ácido nítrico (HNO_3) y que el calor para la formación de 0.1N de HNO_3 , bajo estas condiciones de la bomba es -14.1 kcal. Obviamente si el ácido sulfúrico está también presente, parte de la corrección para el ácido sulfúrico está también presente en la corrección del ácido nítrico. La corrección del azufre descrita toma la diferencia entre el valor de formación del ácido nítrico y sulfúrico.

d) Corrección de azufre.

Una corrección de 1.4 kcal debe ser aplicada por cada gramo de azufre convertido a ácido sulfúrico. Esto se basa sobre el calor de formación de 0.17 N de H₂SO₄ el cual es -72.2 kcal/mol, pero una corrección de 2 x 14.1 kcal/mol, es incluido en la corrección de ácido nítrico. Por tanto la corrección adicional que debe ser aplicada para el azufre $72.2 - (2 \times 14.1)$ o 44 kcal/mol, o 1.37 kcal/gramo de azufre.

Por conveniencia es expresado como 13.7 cal por punto por ciento de azufre por gramo de muestra.

En esto radica la importancia de cuantificar el porcentaje de azufre en las muestras analizadas, a fin de poder establecer un factor de corrección apropiado para cada uno de los estratos.

e) Corrección por radiación.

El método recomendado para el cálculo de la corrección por calor ganado o perdido de un calorímetro simple esta especificado por la Sociedad Americana para pruebas y materiales publicados bajo las designaciones D240 y D3286 ASTM. Se demostró que durante la prueba puede ser aproximado asumiendo que el calorímetro calentó los alrededores durante el primer 63% de la temperatura alcanzada y un rango igual a la medida durante los primeros 5 minutos de pre período, el método asume que el enfriamiento (o calentamiento) durante el restante 37% del alcance es el mismo que el rango observado durante los 5 minutos de post periodo. Para trabajos experimentales, el punto dividido entre estos dos periodos, esta tomado como punto en el tiempo b, cuando la temperatura ha alcanzado 0.6 del total alcanzado.

SECCION 4.0. MARCHAS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS

Determinación de Nitrógeno (Método Micro-Kjeldahl)

Fundamento:

Destrucción de la materia orgánica por acción por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente. Este actúa sobre la materia orgánica deshidratándola y carbonizándola. El carbón es oxidado y el nitrógeno reducido a amoníaco en presencia de reactivos específicos que actúan como catalizadores. El amoníaco desprendido queda fijado en el ácido sulfúrico como sulfato de amonio, que es estable en las condiciones de trabajo.

Liberación del amoníaco liberado, recogiéndolo en un volumen conocido del ácido bórico formándose borato de amonio.

El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico empleando como indicador una mezcla de azul de metileno y rojo de metilo.

Equipo:

Micro Kjeldahl de digestión y destilación

Material:

Balones de Micro Kjeldahl de 100 ml

Microburea de 10 ml.

Soporte para bureta completa

Probetas de 10 ml

Papel filtro

Erlenmeyer de 50 ml.

Reactivos:

Acido sulfúrico, libre de nitrógeno densidad 1.84

Oxido de mercurio, libre de nitrógeno

Sulfato de sodio o potasio (pulverizado)

Tiosulfato de Sodio

Solución de Tiosulfato de sodio al 8

Rojo de Metilo

Azul de Metilo

Solución de Acido Bórico al 4%

Solución de Hidróxido de Sodio al 50%

Alcohol Etilico al 95%

Procedimiento**Digestión:**

Pesar el papel filtro más o menos 0.1 g de muestra y colocarla en un balón para micro Kjeldahl de 100 ml, si la muestra es líquida medir con pipeta volumétrica 1 ml.

Agregar al balón, pesado y medido exactamente: 0.2 g de ácido salicílico, 1.5 g de sulfato de sodio o potasio, 0.1 g de oxido de mercurio, 0.5 g de tiosulfato de sodio, 6.0 ml de ácido sulfúrico.

Agitar durante 5 minutos esta mezcla y colocar los balones en el aparato, los 6 al mismo tiempo y conectar el sistema de extracción de vapores. Mover constantemente (por medio de rotación) los balones y esperar hasta que la solución esté clara.

Destilación:

Enfriar los balones, agregar agua destilada más o menos hasta la mitad del bulbo, esperar que se enfríen nuevamente.

Agregar 3.5 ml de solución tiosulfato de sodio al 8%, 6 perlas de vidrio y 15 ml de solución de hidróxido de sodio al 50%

Recibir el destilado en un erlenmeyer de 50 ml, el que debe contener 15 ml de solución de ácido bórico al 4% más dos gotas de indicador y colocarlos en el aparato.

Destilar aproximadamente 30 ml, dejar enfriar y titular con solución de ácido clorhídrico 0.1 o 0.025 N.

Cálculos

$\% \text{Nitrógeno} = ((\text{ml HCl muestra} - \text{ml HCl testigo}) * N * 14 * 100) / (\text{Peso de muestra} * 1000)$

SECCION 5.0. EJEMPLO DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

Para la evaluación del poder calorífico se utilizan una serie de ecuaciones que se complementan con los datos de temperatura versus tiempo obtenidos experimentalmente; con los cuales se genera una gráfica (T° vrs t) a partir de la cual se obtienen lecturas específicas de interés para los cálculos del poder calorífico superior.

A partir del gráfico elaborado con los resultados experimentales se pueden leer los siguientes valores:

- T0:** Temperatura en grados centígrados tomada en el minuto uno.
- T5:** Temperatura en grados centígrados tomada en el minuto cinco.
- Ta:** Temperatura en grados centígrados tomada en el sexto minuto, justo en el momento de ignición o tiempo de encendido.
- Tb:** Temperatura en grados centígrados que comprende el 60% de la temperatura de subida entre T_a y T_c (obtenido a partir de $[T_b = T_a + 0.6(T_c - T_a)]$ ó leído en el gráfico de tiempo vrs temperatura).
- Tc:** Temperatura en grados centígrados en la cual se inicia un período constante.
- Tf:** Temperatura en grados centígrados a los 18 minutos.
- A:** Tiempo de encendido.
- B:** Tiempo cuando la temperatura ha alcanzado un 60% de la temperatura de subida.
- C:** Tiempo en el cual el cambio de temperatura es constante.

También a partir de las pruebas realizadas se conocen los valores de las siguientes variables:

- % S:** Porcentaje de Azúfre presente en la muestra.
C1: Volumen en mililitros de Carbonato de Sodio gastado.
C3: Peso de alambre fusible de níquel y cromo no consumido en la combustión en miligramos.
W: Peso de la muestra en gramos.
tx: Tiempo en minutos desde Tc hasta Tf.

Conociendo éstos valores se hace uso de las ecuaciones:

1. Cálculo de la temperatura de subida

$$R1 = \frac{(T5 - T0)}{5} \quad \text{Ecuación C-1}$$

$$R2 = \frac{(Tf - Tc)}{tx} \quad \text{Ecuación C-2}$$

$$T = Tc - Ta - R1(B-A) - R2(C-B) \quad \text{Ecuación C-3}$$

2. Correcciones termoquímicas

- E1:** Corrección en BTU para el calor de formación de ácido nítrico (HNO₃) si un álcali de Carbonato de Sodio, fue usado en la titulación. C1 = mililitros de solución alcalina gastada.

$$E1 = 1.8 * C1 \quad \text{Ecuación C-4}$$

- E2:** Corrección en BTU para el calor de formación de Acido Sulfúrico (H₂SO₄)

$$E2 = 23.7 * \%S * W \quad \text{Ecuación C-5}$$

- E3:** Corrección en BTU para el calor de combustión del alambre fusible, cuando se usa alambre fusible de níquel y cromo.

$$E3 = 2.9 * C3 \quad \text{Ecuación C-6}$$

3. Cálculo del Calor Total de Combustión

$$VCt = \frac{tW * T - E1 - E2 - E3}{W} \quad \text{Ecuación C - 7}$$

Donde:

Vct: Calor Total de Combustión en BTU por Lb.

tW : Constante de la Bomba determinada en la estandarización

$$tW = 4,832.4 \frac{BTU}{^{\circ}C}$$

Para una mayor comprensión de las lecturas del gráfico (T° vrs t) y de la utilización de las ecuaciones C-1 a C-7 se presenta a continuación un ejemplo de cálculo detallado de la evaluación del poder calorífico superior de la muestra de pollinaza del estrato GPE-01.

En el Cuadro C-1 se presentan los valores medidos directamente u obtenidos a partir de la Figura C-8. correspondiente a esta muestra y construida a partir de los resultados experimentales.

Cuadro C-1. Valores de Tiempo y Temperatura obtenidos en la evaluación del Poder Calorífico de la muestra 1 de pollinaza del Estrato GPE-01

t (min)	Temp. (°C)
1	28.09
2	28.09
3	28.10
4	28.10
5	28.10
6	28.11
6.5	28.86
7	29.61
7.5	29.93
8	30.10
8.5	30.20
9	30.25
9.5	30.31
10	30.34
11	30.38
12	30.40
13	30.41
14	30.41
15	30.42
16	30.42
17	30.42
18	30.42

Cuadro C-2 Valores Obtenidos del Gráfico Tiempo vrs Temperatura (Figura C-8) para la muestra 1 de pollinaza del estrato GPE-01

Peso Muestra (g)	T0 (°C)	T5 (°C)	Ta (°C)	Tb (°C)	Tc (°C)	Tf (°C)	tx (min)	A (min)	B (min)	C (min)	F (min)
1.404	28.09	28.10	28.11	29.50	30.42	30.42	3	6	6.82	15	18

Tb se obtiene de la siguiente expresión:

$$T_b = T_a + 0.6(T_c - T_a) \quad \text{Ecuación C - 8}$$

$$T_b = 28.11 + 0.6(30.42 - 28.11) = 29.50 \text{ °C}$$

El tiempo cuando la temperatura ha alcanzado un 60% de la temperatura de subida (B) puede obtenerse interpolando entre los valores de Tiempo entre los que se encuentra Tb o leyendo directamente del gráfico.

tx corresponde al tiempo entre Tf y Tc, es decir:

$$t_x = F - C \quad \text{Ecuación C - 9}$$

$$t_x = F - C = 18 - 15 = 3$$

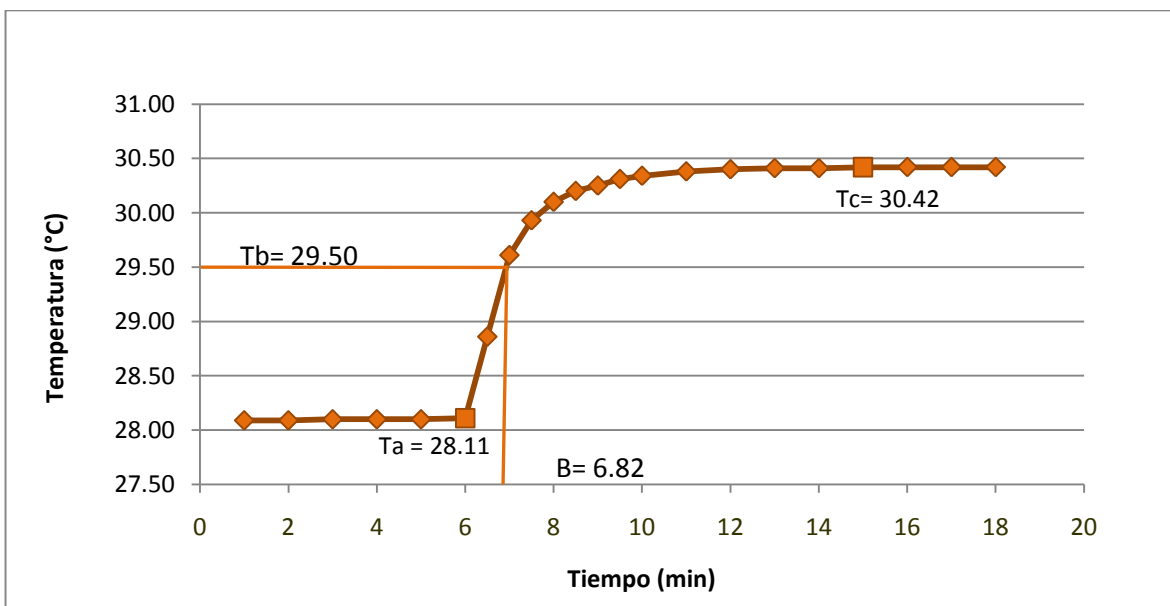


Figura C-8 Gráfica de Tiempo vrs Temperatura para la Muestra 1 de pollinaza del estrato GPE-01

Cuadro C-3 Variables a considerar para la evaluación del Poder Calorífico de la muestra 1 de pollinaza del estrato GPE-01

Peso de Muestra (g)	% S	Peso del Alambre (g)	Peso de residuos de alambre (g)	C3 = Peso de alambre gastado (mg)	C1 (ml)
1.404	0.29	0.005	0.004	0.001	1

Las correcciones de los valores de Ta y Tc se presentan en el cuadro C-4:

Cuadro C-4 Correcciones para la temperatura inicial (ta) y temperatura constante (tc)

Ecuación	Sustitución	Resultado
$T1 = \frac{T0 + Ta}{2}$	$T1 = \frac{28.09 + 28.11}{2}$	T1=28.10
$T2 = \frac{Tf + Tc}{2}$	$T2 = \frac{30.42 + 30.42}{2}$	T2= 30.42
$CorTa=(Tf-T0)*(Tf-T1)*(0.0016)$	$CorTa=(30.42-28.09)*(30.42-28.10)*(0.0016)$	CorTa=0.0086
$CorTc=(Tf-T0)*(Tf-T2)*(0.0016)$	$CorTc=(30.42-28.09)*(30.42-30.42)*(0.0016)$	CorTc=0.000
$TaCor = (ta+CorTa)$	$TaCor = (28.11+0.0086)$	TaCor=28.12
$TcCor = (tc+CorTc)$	$TcCor = (30.42+0.0000)$	TcCor=30.42

Al sustituir los valores en las ecuaciones correspondientes, se obtiene que:

1. Cálculo de la temperatura de subida

Cuadro C-5 Cálculo de la temperatura de subida de la muestra 1 de pollinaza del estrato GPE-01

Ecuación	Sustitución	Resultado
$R1 = \frac{(T5 - T0)}{5}$	$R1 = \frac{(28.10 - 28.09)}{5}$	R1=0.002
$R2 = \frac{(Tf - Tc)}{tx}$	$R2 = \frac{(30.42 - 30.42)}{3}$	R2=0
$T= Tc-Ta-R1(B-A)-R2(C-B)$	$T= 30.42-28.12-0.002(6.82-6)-0(15-6.82)$	T = 2.30

2. Correcciones Termoquímicas

Cuadro C-6 Cálculo de las correcciones termoquímicas para la muestra 1 de pollinaza del estrato GPE-01

Ecuación	Sustitución	Resultado
$E1 = 1.8 * C1$	$E1 = 1.8 * 1$	$E1 = 1.8$
$E2 = 23.7 * \%S * W$	$E2 = 23.7 * 0.29 * 1.404$	$E2 = 9.649692$
$E3 = 2.9 * C3$	$E3 = 2.9 * 0.001$	$E3 = 0.0029$

3. Cálculo del Calor Total de Combustión

$$VCt = \frac{tW * T - E1 - E2 - E3}{W} \quad \text{Ecuación 6.10}$$

$$\text{Donde: } tW = 4,832.4 \frac{\text{BTU}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$VCt = \frac{4832.4 * 2.30 - 1.8 - 9.65 - 0.0029}{1.404} = 7,905.1131 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}}$$

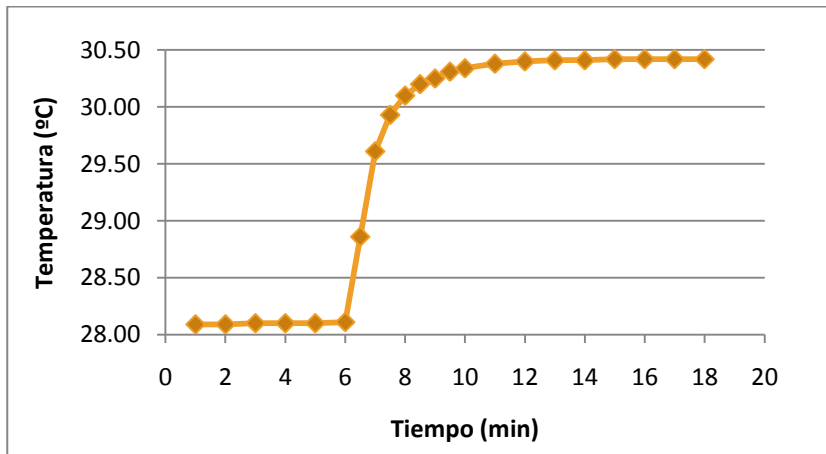
$$VCt = 4,391.7295 \frac{\text{Cal}}{\text{g}}$$

Cuadro C-7 Resumen de resultados para muestra 1 de pollinaza del Estrato GPE-01

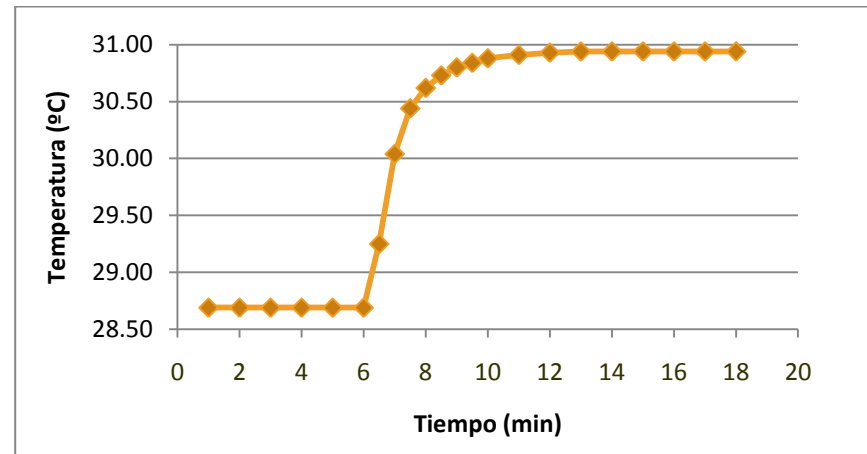
C1	%S	C3	E1	E2	E3	R1	R2	T	VCt
1	0.29	0.001	1.8	9.65	0.0029	0.002	0.000	2.30	4,391.73

SECCIÓN 6. CURVAS DE TEMPERATURA VRS TIEMPO PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE LAS MUESTRAS DE POLLINAZA DE LOS DISTINTOS ESTRATOS

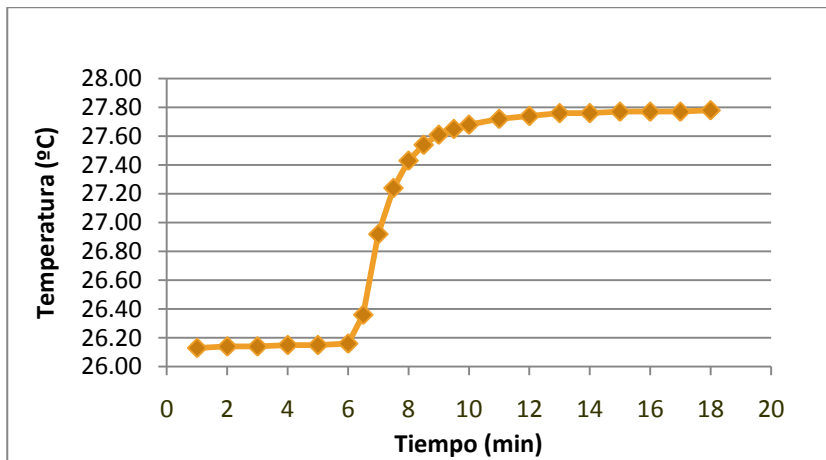
CURVA DE MUESTRA Nº 1 DE GPE-01



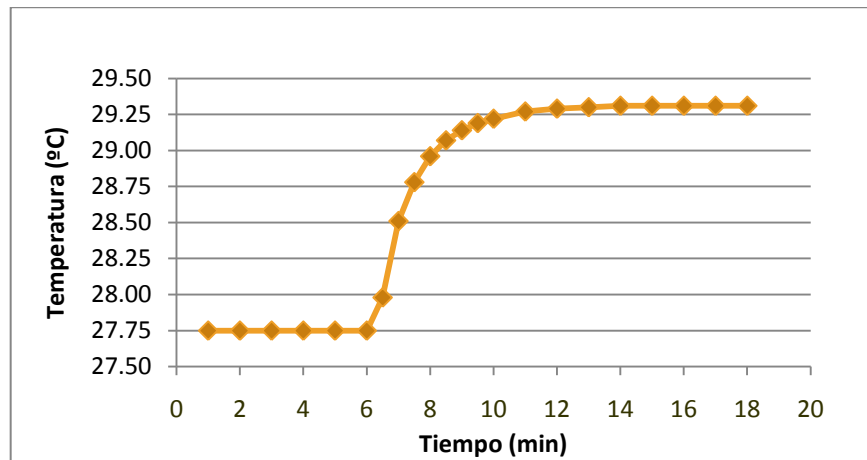
CURVA DE MUESTRA Nº 2 DE GPE-01



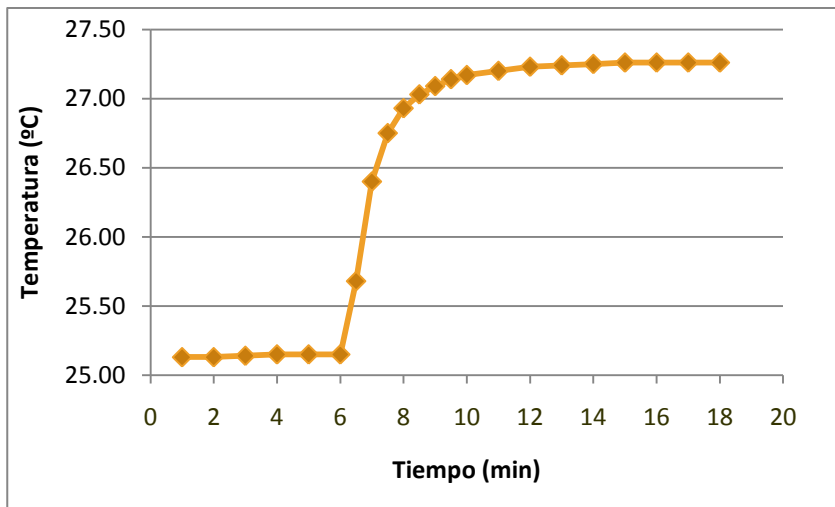
CURVA DE MUESTRA Nº 1 DE GPE-02



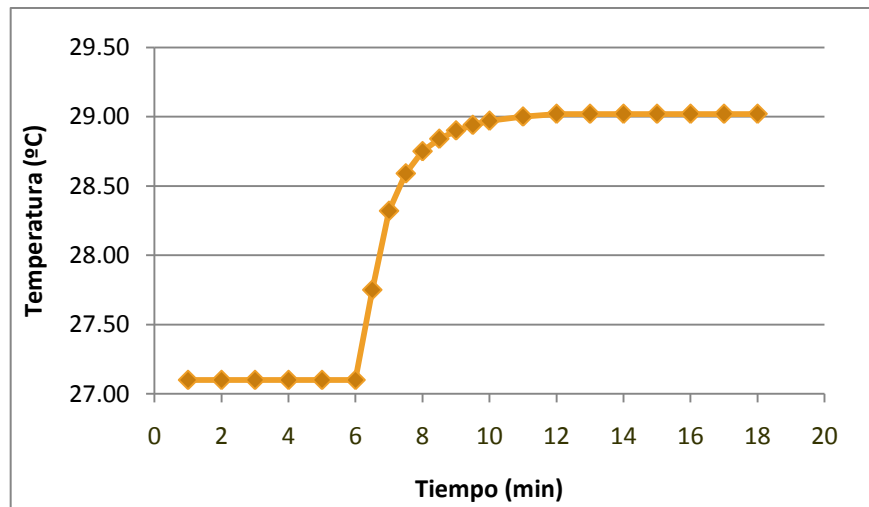
CURVA DE MUESTRA Nº 2 DE GPE-02



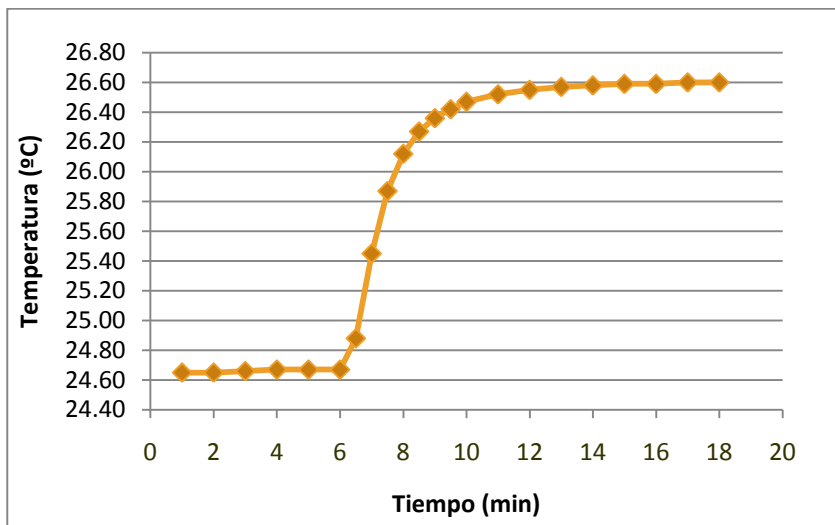
CURVA DE MUESTRA Nº 1 DE GPE-03



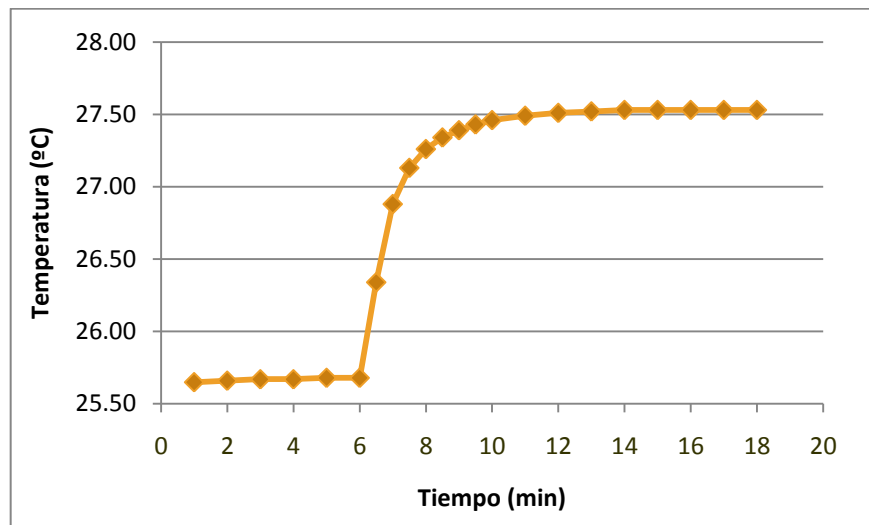
CURVA DE MUESTRA Nº 2 DE GPE-03



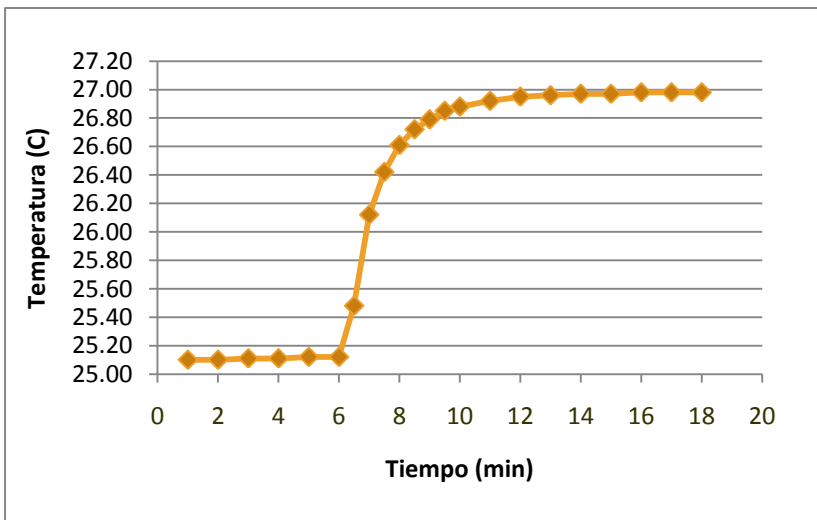
CURVA DE MUESTRA Nº 1 DE GPE-04



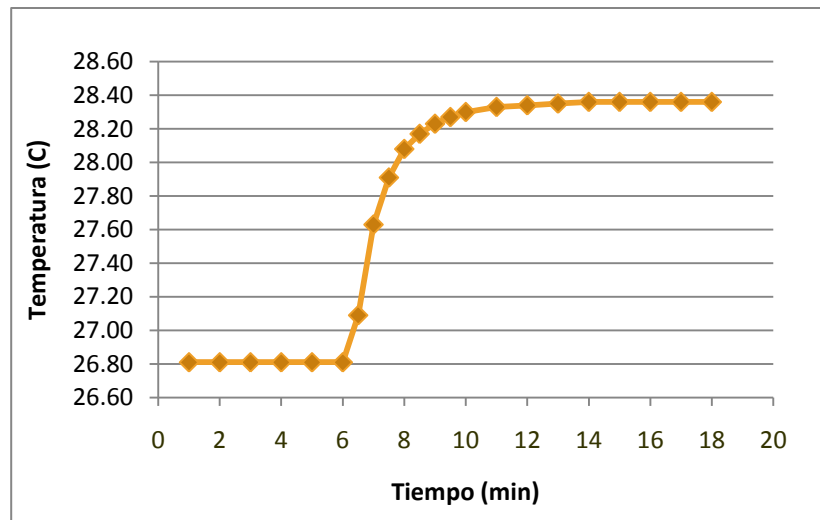
CURVA DE MUESTRA Nº 2 DE GPE-04



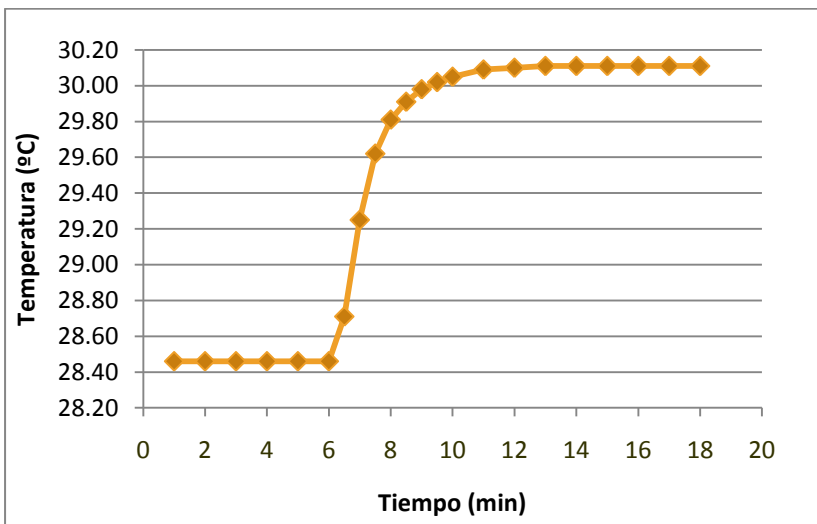
CURVA DE MUESTRA Nº 1 DE GPE-05



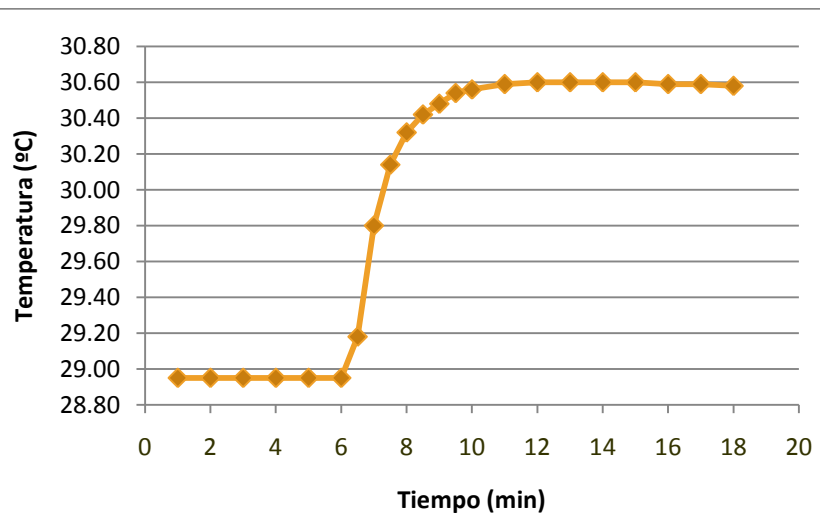
CURVA DE MUESTRA Nº 2 DE GPE-05



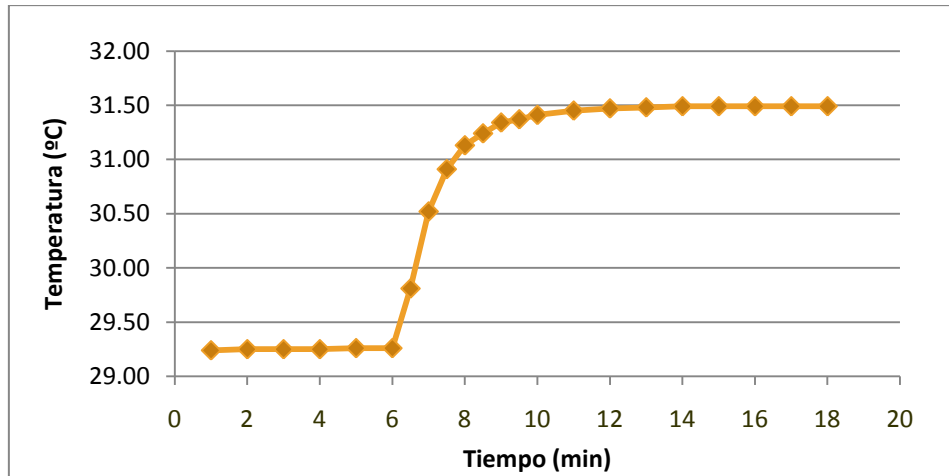
CURVA DE MUESTRA Nº 1 DE GPE-06



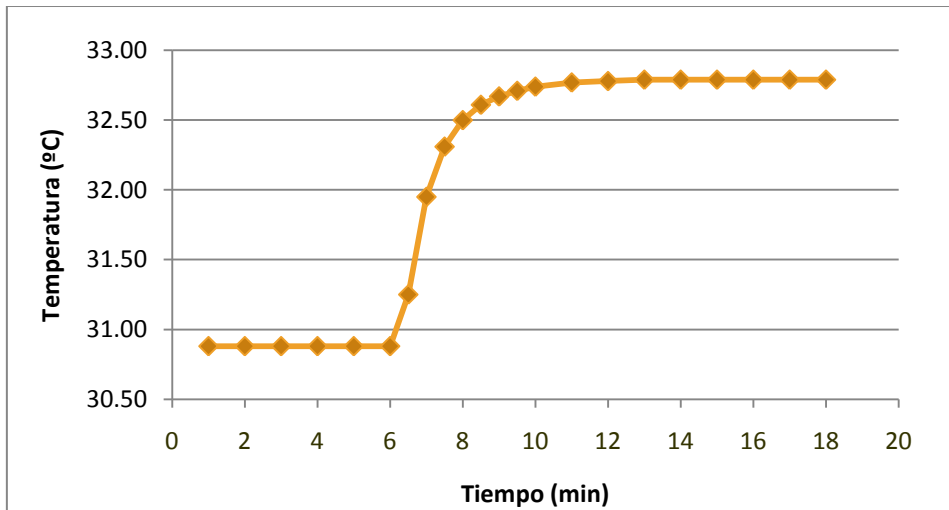
CURVA DE MUESTRA Nº 2 DE GPE-06



CURVA DE MUESTRA N° 1 DE GPE-07



CURVA DE MUESTRA N° 2 DE GPE-07



SECCIÓN 7. VARIABLES INFLUYENTES EN EL CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO PARA LAS MUESTRAS DE POLLINAZA DE LOS DISTINTOS ESTRATOS EN ESTUDIO

Todos los resultados del cálculo de poder calorífico para las muestras de pollinaza de granjas de engorde se realizaron como el ejemplo mostrado en la sección 5 y se presentan en los cuadros C-8 a C-11.

Cuadro C-8. Variables a considerar para la evaluación del Poder Calorífico de las muestras de pollinaza de los diferentes estratos.

Estrato	Muestra	Peso de Muestra (g)	% S	Peso del Alambre (g)	Peso de residuos de alambre (g)	C3 (g)	C1 (ml)
GPE-01	1	1.404	0.29	0.005	0.004	0.001	1
GPE-01	2	1.375	0.29	0.005	0.004	0.001	1.1
GPE-02	1	1.340	0.51	0.006	0.004	0.002	1
GPE-02	2	1.349	0.51	0.006	0.004	0.002	0.9
GPE-03	1	1.253	0.64	0.006	0.004	0.002	0.9
GPE-03	2	1.170	0.64	0.01	0	0	0.9
GPE-04	1	1.312	0.42	0.006	0.004	0.002	0.7
GPE-04	2	1.264	0.42	0.006	0.004	0.002	1.3
GPE-05	1	1.375	0.6	0.006	0.005	0.001	2
GPE-05	2	1.180	0.6	0.005	0.004	0.001	1.6
GPE-06	1	1.227	0.30	0.006	0.003	0.003	1.6
GPE-06	2	1.242	0.30	0.006	0.003	0.003	1.8
GPE-07	1	1.451	0.44	0.006	0.004	0.002	1.6
GPE-07	2	1.262	0.44	0.006	0.004	0.002	1.4

Cuadro C-9. Valores obtenidos del Gráfico de Tiempo vrs Temperatura para las muestras de pollinaza de los diferentes estratos.

Estrato	Mx	T0 (°C)	T5 (°C)	Ta (°C)	Tb (°C)	Tc (°C)	Tf (°C)	tx (min)	A (min)	B (min)	C (min)	F (min)
GPE-01	1	28.09	28.1	28.11	29.5	30.42	30.42	3	6	6.82	15	18
GPE-01	2	28.69	28.69	28.69	30.04	30.94	30.94	5	6	7	13	18
GPE-02	1	26.13	26.15	26.16	27.13	27.77	27.78	3	6	7.32	15	18
GPE-02	2	27.75	27.75	27.75	28.69	29.31	29.31	4	6	7.33	14	18
GPE-03	1	25.13	25.15	25.15	26.42	27.26	27.26	3	6	7.02	15	18
GPE-03	2	27.1	27.1	27.1	28.25	29.02	29.02	6	6	6.87	12	18
GPE-04	1	24.65	24.67	24.67	25.82	26.59	26.6	3	6	7.44	15	18
GPE-04	2	25.65	25.68	25.68	26.79	27.53	27.53	4	6	6.82	14	18
GPE-05	1	25.1	25.12	25.12	26.24	26.98	26.98	2	6	7.19	16	18
GPE-05	2	26.81	26.81	26.81	27.74	28.36	28.36	4	6	7.2	14	18
GPE-06	1	28.46	28.46	28.46	29.45	30.11	30.11	5	6	7.27	13	18
GPE-06	2	28.95	28.95	28.95	29.94	30.6	30.58	6	6	7.21	12	18
GPE-07	1	29.24	29.26	29.26	30.6	31.49	31.49	4	6	7.1	14	18
GPE-07	2	30.88	30.88	30.88	32.03	32.79	32.79	5	6	7.11	13	18

Cuadro C-10 Correcciones de los valores de Ta y Tc para las muestras de pollinaza de los diferentes estratos

Estrato	Muestra	T1	T2	CorTa	CorTc	TaCor	TcCor
GPE-01	1	28.1	30.42	0.0086	0.0	28.12	30.42
GPE-01	2	28.69	30.94	0.0081	0.0	28.70	30.95
GPE-02	1	26.145	27.775	0.0043	0.0	26.16	27.77
GPE-02	2	27.75	29.31	0.0039	0.0	27.75	29.32
GPE-03	1	25.14	27.26	0.0072	0.0	25.16	27.25
GPE-03	2	27.1	29.02	0.0059	0.0	27.11	29.03
GPE-04	1	24.66	26.595	0.0061	0.0	24.68	26.59
GPE-04	2	25.665	27.53	0.0056	0.0	25.69	27.53
GPE-05	1	25.11	26.98	0.0056	0.0	25.13	26.98
GPE-05	2	26.81	28.36	0.0038	0.0	26.81	28.36
GPE-06	1	28.46	30.11	0.0044	0.0	28.46	30.11
GPE-06	2	28.95	30.59	0.0043	0.0	28.95	30.60
GPE-07	1	29.25	31.49	0.0081	0.0	29.27	31.49
GPE-07	2	30.88	32.79	0.0058	0.1	30.89	32.89

Cuadro C-11 Resumen de resultados para pruebas realizadas en las muestras de pollinaza de los siete estratos evaluados

	Mx	C1	%S	C3	E1	E2	E3	R1	R2	T	VCt (Cal/g)
GPE-01	1	1	0.29	0.001	1.8	9.65	2.9	0.002	0.00	2.31	4,408.27
GPE-01	2	1.1	0.29	0.001	1.98	9.45	2.9	0	0.00	2.25	4,387.30
GPE-02	1	1	0.51	0.002	1.8	16.20	5.8	0.004	0.00	1.58	3,153.87
GPE-02	2	0.9	0.51	0.002	1.62	16.31	5.8	0	0.00	1.56	3,094.81
GPE-03	1	0.9	0.64	0.002	1.62	19.01	5.8	0.004	0.00	2.11	4,500.41
GPE-03	2	0.9	0.64	0	1.62	17.75	0	0	0.00	1.92	4,396.41
GPE-04	1	0.7	0.42	0.002	1.26	13.06	5.8	0.004	0.00	1.89	3,856.91
GPE-04	2	1.3	0.42	0.002	2.34	12.58	5.8	0.006	0.00	1.85	3,909.74
GPE-05	1	2	0.6	0.001	3.6	19.55	2.9	0.004	0.00	1.86	3,611.80
GPE-05	2	1.6	0.6	0.001	2.88	16.78	2.9	0	0.00	1.55	3,515.85
GPE-06	1	1.6	0.3	0.003	2.88	8.72	8.7	0	0.00	1.65	3,600.99
GPE-06	2	1.8	0.3	0.003	3.24	8.83	8.7	0	0.00	1.67	3,591.81
GPE-07	1	1.6	0.44	0.002	2.88	15.13	5.8	0.004	0.00	2.23	4,108.73
GPE-07	2	1.4	0.44	0.002	2.52	13.16	5.8	0	0.00	1.91	4,053.71

ANEXO D

ESQUEMA DE SISTEMA DE GASIFICACIÓN DE POLLINAZA

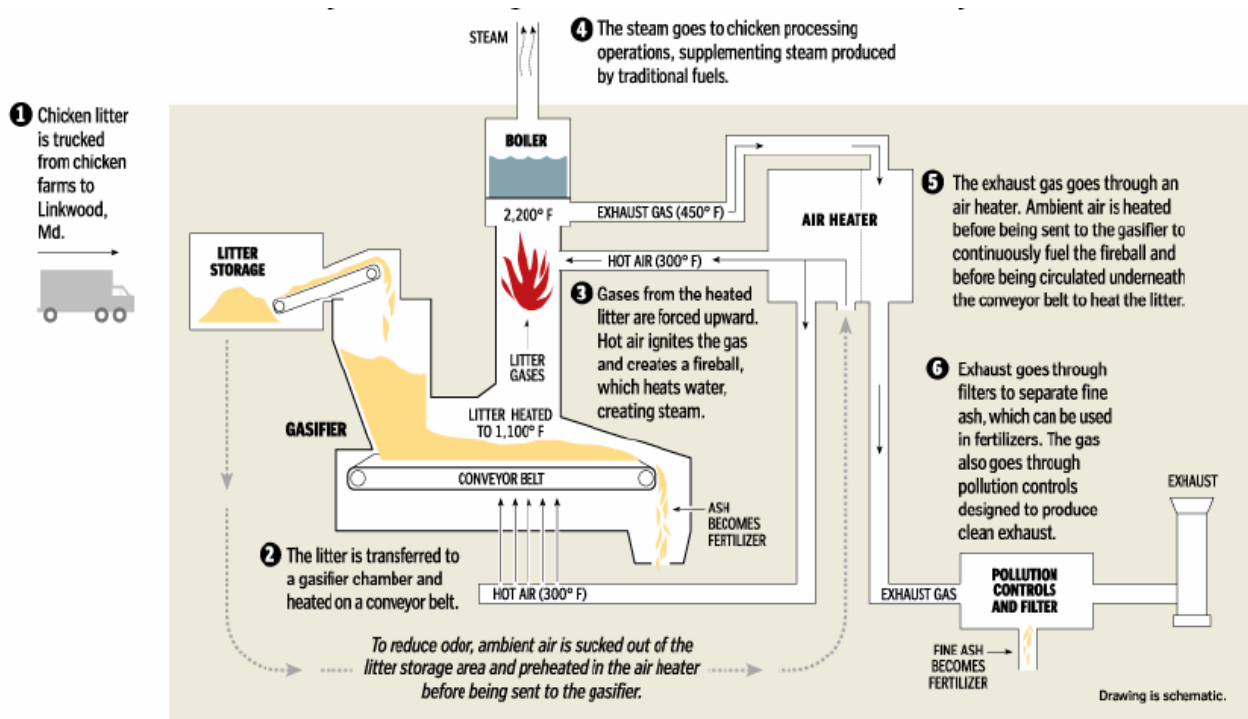


Figura D.1 Esquema de sistema de combustión de pollinaza

Fuente: (REM Engineering, 2010)

ANEXO E

FACTOR DE PROBABILIDAD Z PARA DISTRIBUCION NORMAL

Cuadro E.1: Factor de Probabilidad Z para Distribución Normal

Fuente: (Berríos y Castro (1997))

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0.1	0.3970	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0.2	0.3910	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876	0.3867	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0.3	0.3814	0.3802	0.3790	0.3778	0.3765	0.3752	0.3739	0.3725	0.3712	0.3697
0.4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3621	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0.5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448	0.3420	0.3410	0.3391	0.3372	0.3352
0.6	0.3332	0.3312	0.3295	0.3271	0.3251	0.3230	0.3209	0.3187	0.3166	0.3111
0.7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034	0.3011	0.2989	0.2966	0.2913	0.2920
0.8	0.2897	0.2874	0.2850	0.2827	0.2803	0.2780	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0.9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565	0.2541	0.2516	0.2492	0.2468	0.2411
1.0	0.2420	0.2396	0.2371	0.2347	0.2323	0.2299	0.2275	0.2251	0.2227	0.2203
1.1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1.2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1.3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1.4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1315
1.5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219	0.1200	0.1182	0.1163	0.1145	0.1127
1.6	0.1109	0.1092	0.1074	0.1057	0.1040	0.1023	0.1006	0.0989	0.0973	0.0957
1.7	0.0940	0.0925	0.0909	0.0893	0.0878	0.0863	0.0848	0.0833	0.0818	0.0801
1.8	0.0790	0.0775	0.0761	0.0748	0.0734	0.0721	0.0707	0.0694	0.0681	0.0669
1.9	0.0656	0.0644	0.0632	0.0620	0.0608	0.0596	0.0581	0.0573	0.0562	0.0551
2.0	0.0540	0.0529	0.0519	0.0508	0.0498	0.0488	0.0478	0.0468	0.0459	0.0449
2.1	0.0440	0.0431	0.0422	0.0413	0.0404	0.0396	0.0387	0.0379	0.0371	0.0363
2.2	0.0355	0.0347	0.0339	0.0332	0.0325	0.0317	0.0310	0.0303	0.0297	0.0290
2.3	0.0283	0.0277	0.0270	0.0261	0.0258	0.0252	0.0246	0.0241	0.0235	0.0229
2.4	0.0224	0.0219	0.0213	0.0208	0.0203	0.0198	0.0194	0.0189	0.0184	0.0180
2.5	0.0175	0.0171	0.0167	0.0163	0.0158	0.0154	0.0151	0.0147	0.0143	0.0139
2.6	0.0136	0.0132	0.0129	0.0126	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110	0.0107
2.7	0.0104	0.0101	0.0099	0.0096	0.0093	0.0091	0.0088	0.0086	0.0084	0.0081
2.8	0.0079	0.0077	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065	0.0063	0.0061
2.9	0.0060	0.0058	0.0056	0.0055	0.0053	0.0051	0.0050	0.0048	0.0047	0.0046
3.0	0.0044	0.0043	0.0042	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036	0.0035	0.0034
3.1	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026	0.0025	0.0025
3.2	0.0024	0.0023	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019	0.0018	0.0018
3.3	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014	0.0013	0.0013
3.4	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010	0.0010	0.0009	0.0009
3.5	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006
3.6	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004
3.7	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
3.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
3.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001