

ANÁLISIS SITUACIONAL PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL SUBSECTOR DE FRUTAS Y
VERDURAS EN COLOMBIA EN TORNO A LOS PRINCIPIOS DEL
DESARROLLO SOSTENIBLE

ING. DIANA ZULIMA PÁEZ ROJAS
INVESTIGADORA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES
BOGOTÁ
2017

ANÁLISIS SITUACIONAL PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL SUBSECTOR DE FRUTAS Y
VERDURAS EN COLOMBIA EN TORNO A LOS PRINCIPIOS DEL
DESARROLLO SOSTENIBLE

ING. DIANA ZULIMA PÁEZ ROJAS
INVESTIGADOR

Monografía para optar al título de Especialista en procesos de alimentos y
biomateriales

PhD. HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES
BOGOTÁ
2017

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, Octubre de 2017

La responsabilidad de los conceptos emitidos en este escrito es exclusivamente del autor.

Padre santo, gracias por permitirme culminar un logro más en mi vida, sin ti nada de esto sería posible, ofrezco a ti este logro y todo lo bueno que desencadene en mi vida. Aunque cruce por oscuras quebradas, no temeré ningún mal, porque tú estás conmigo. Salmo 23:4

Para ti querida hija por ser mi luz en este camino, por permitirme crecer como mujer, como madre y como profesional, por enseñarme un mundo nuevo y con solo una sonrisa mostrarme que con esfuerzo es posible alcanzar todas las metas, espero ser un ejemplo para ti y que cuando llegue tu momento vuelas cual mariposa para alcanzar tus sueños.

A ti madre hermosa gracias por tu ayuda y todo tu apoyo en este recorrido, sin ti nada de esto sería posible porque tú me diste las fuerzas para continuar y no desfallecer, tu fortaleza me ha ayudado a crecer y a mantenerme en pie.

Diana Zulima Páez Rojas

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PANORAMA MUNDIAL DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....	15
1.1 EL MERCADO BIOENERGÉTICO	16
1.2 LA BIOENERGÍA EN EL MUNDO	21
1.3 COLOMBIA, POLÍTICAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE	25
2. TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....	28
2.1 PROCESOS FÍSICOS.....	28
2.2 PROCESOS QUÍMICOS	29
2.3 PROCESOS BIOLÓGICOS.....	32
2.4 PROCESOS TERMOQUÍMICOS	39
3. DIAGNÓSTICO DEL SUBSECTOR DE FRUTAS Y VERDURAS EN COLOMBIA.....	53
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS	69
4. METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS	72
5. ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS...79	
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS	95

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. <i>Capacidad mundial de Energía Eléctrica renovable, Top Regiones / Países, 2015</i>	17
Tabla 2. <i>Generación de bioenergía para el 2015 y matriz energética del 2013</i>	19
Tabla 3. <i>Ventajas y desventajas de los catalizadores en la Transesterificación</i> ...	30
Tabla 4. <i>Comparación entre las tecnologías de gasificación de biomasa lecho fijo vs. lecho fluidizado</i>	44
Tabla 5. <i>Cuadro comparativo tecnologías de aprovechamiento energético</i>	47
Tabla 6. <i>Principales líneas productivas en 2013*</i>	53
Tabla 7. <i>Principales departamentos productores de frutas y hortalizas en 2013*</i>	54
Tabla 8. <i>Toneladas perdidas de alimentos en Colombia, año 2015</i>	55
Tabla 9. <i>Porcentajes de pérdida para Colombia cálculo DNP</i>	56
Tabla 10. <i>Producción y pérdida del cultivo de plátano según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores</i>	57
Tabla 11. <i>Producción y pérdida del cultivo zanahoria según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores</i>	57
Tabla 12. <i>Producción y pérdida del cultivo papa según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores</i>	57
Tabla 13. <i>Producción y pérdida del cultivo tomate según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores</i>	58
Tabla 14. <i>Producción y pérdida del cultivo piña según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores</i>	58
Tabla 15. <i>Producción y pérdida del cultivo mango según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores</i>	58

Tabla 16. <i>Producción y pérdida del cultivo aguacate según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores.....</i>	59
Tabla 17. <i>Producción y pérdida del cultivo naranja según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores.....</i>	59
Tabla 18. <i>Caracterización de residuos.....</i>	70
Tabla 19. <i>Caracterización de residuos de la plaza de mercado de Manizales</i>	71
Tabla 20. <i>Escala de importancia.....</i>	76
Tabla 21. <i>Matriz de evaluación de criterios.....</i>	79
Tabla 22. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cb</i>	80
Tabla 23. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cg</i>	80
Tabla 24. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cd</i>	80
Tabla 25. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ce</i>	81
Tabla 26. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cf</i>	81
Tabla 27. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ch</i>	81
Tabla 28. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de plátano</i>	82
Tabla 29. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de plátano</i>	82
Tabla 30. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de papa.....</i>	82
Tabla 31. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de papa.....</i>	83
Tabla 32. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de mango.....</i>	83
Tabla 33. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de mango.....</i>	83
Tabla 34. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de naranja.....</i>	84

Tabla 35. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de naranja</i>	84
Tabla 36. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de mezcla</i>	84
Tabla 37. <i>Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de mezcla</i>	85
Tabla 38. <i>Matriz de decisión para residuos de plátano</i>	86
Tabla 39. <i>Matriz de decisión para residuos de papa</i>	86
Tabla 40. <i>Matriz de decisión para residuos de mango</i>	87
Tabla 41. <i>Matriz de decisión para residuos de naranja</i>	87
Tabla 42. <i>Matriz de decisión para residuos de mezcla</i>	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<i>Figura 1.</i> Participación de la biomasa en el consumo total final de energía y en el consumo final de energía por sector de uso final, 2014.....	18
<i>Figura 2.</i> Generación mundial de bio-energía, por país y región, 2005–2015.	18
<i>Figura 3.</i> Matriz Energética para el suministro de energía primaria en 2013.....	20
<i>Figura 4.</i> Síntesis de Fischer-Tropsch para biomasa.....	32
<i>Figura 5.</i> Biodigestor anaeróbico para producción de biofertilizantes y biogas	33
<i>Figura 6.</i> Biodigestor tubular en geomembrana	34
<i>Figura 7.</i> Biodigestor vertical Rotoplast	35
<i>Figura 8.</i> Biodigestor horizontal Rotoplast	35
<i>Figura 9.</i> Biorreactor para fermentación alcohólica.....	37
<i>Figura 10.</i> Diagrama de flujo del proceso de producción de hidrógeno mediante la técnica de fermentación oscura	39
<i>Figura 11.</i> Proceso de combustión con cogeneración	40
<i>Figura 12.</i> Caldera de lecho fluidizado.....	41
<i>Figura 13.</i> Esquema del reactor de pirólisis a escala planta piloto del IRENA.....	42
<i>Figura 14.</i> Reactor de lecho fijo a. Equicorriente; b. Contracorriente.....	43
<i>Figura 15.</i> Reactores de lecho fluidizado	44
<i>Figura 16.</i> Ciclo Superior con Máquina Diesel	51
<i>Figura 17.</i> Ciclo Inferior con Turbina de Vapor	52
<i>Figura 18.</i> Distribución de pérdida por etapa de la cadena productiva para frutas y verduras en Colombia	55

Figura 19. Matriz de pares para criterios 76

Figura 20. Matriz de pares para tecnologías..... 77

Figura 21. Matriz de decisión 78

ÍNDICE DE MAPAS

Pag.

<i>Mapa 1.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de aguacate en los principales departamentos productores.....	61
<i>Mapa 2.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de mango en los principales departamentos productores	62
<i>Mapa 3.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de naranja en los principales departamentos productores.....	63
<i>Mapa 4.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de papa en los principales departamentos productores	64
<i>Mapa 5.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de piña en los principales departamentos productores.....	65
<i>Mapa 6.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de plátano en los principales departamentos productores.....	66
<i>Mapa 7.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de tomate en los principales departamentos productores	67
<i>Mapa 8.</i> Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de zanahoria en los principales departamentos productores.....	68

RESUMEN

El sector agroindustrial en Colombia ha presentado un amplio crecimiento en los últimos años contribuyendo al desarrollo económico del país, sin embargo es necesario que en el sector se fomente una producción integral en la cual se promuevan practicas que permitan proteger el medio ambiente, teniendo en cuenta este contexto la presente investigación muestra un diagnóstico para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales en las medianas y pequeñas empresas del subsector de frutas y verduras en Colombia partiendo de la compatibilidad de las tecnologías con los principios del desarrollo sostenible. Para el análisis y selección de las alternativas más adecuadas se empleo el método de análisis multicriterio Scoring con el cual se evaluaron ocho (8) tecnologías para el tratamiento de la biomasa resultante de las actividades agrícolas (Plátano, papa, naranja, mango, Mezcla de residuos),obteniendo como principal resultado que las alternativas con los máximos puntajes corresponden a procesos biológicos (biometanización, fermentación y gasificación) debido a que los procesos son más amigables con el ambiente y a que la composición físico-química de la biomasa se ajusta a la requerida por este tipo de tratamientos los cuales resultan fáciles de comprender y de operar convirtiéndolos en procesos llamativos para los medianos y pequeños agricultores o empresarios.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se están dando importantes cambios en la industria por el aumento en los requerimientos de productos agrícolas, lo que ha llevado a un acelerado proceso de agroindustrialización, sin embargo, pese a su importante contribución al desarrollo económico existen efectos colaterales perjudiciales, puesto que sin un adecuado control dicho crecimiento favorece el aumento de la contaminación ambiental (CONPES, 2008).

Colombia cuenta con una gran variedad de productos que favorecen la diversidad de la agroindustria, lo cual sumado a las nuevas tendencias alimenticias ha favorecido el crecimiento de este sector. Entre el año 2000 y 2006, la producción de frutas y verduras presentó una tasa de crecimiento promedio anual de 2,3%, pasando de 3,97 a 4,64 millones de toneladas en el año (FAO, 1997), este incremento no solo representa la mayor demanda de productos agrícolas, sino que también implica un aumento de sus impactos ambientales, los cuales son tratados de diversas formas dependiendo del tipo de empresa que las genere. Las grandes empresas suelen contar con planes de desarrollo sostenibles en los cuales se busca producción más limpia y se estipula el tipo de tratamiento que deben tener dichos residuos y las tecnologías que se emplearán sin que el factor económico se convierta en un obstáculo. Las medianas y pequeñas empresas, en su mayoría no disponen de manera apropiada los residuos generados, enviando gran parte de estos a los rellenos sanitarios, pagando por la recolección de los mismos y hasta desechándolos en vertederos o zonas no urbanas (Yepes, Montoya, & Orozco, 2008)

Según la Guía de Buenas Prácticas para el Sector Alimentos, Subsector Frutas y Verduras, las actividades de distribución a mayoristas, el desempaque de insumos, el lavado de frutas y verduras y el despulpe, presentan un impacto ambiental alto y negativo mediante la generación de residuos sólidos, de acuerdo a la empresa Inter Aseo S.A. se recolectaban para el 2008, 136 ton/día de dichos residuos tan solo en Medellín, estos datos brindan un panorama en el cual es evidente la necesidad que tiene el sector de iniciar una intervención ambiental, en especial para las pequeñas y medianas empresas, dicha intervención debe realizarse desde el enfoque del Desarrollo Sostenible en búsqueda de un incremento de la productividad y la competitividad en donde los productores puedan evidenciar el beneficio de trabajar producciones integradas como por ejemplo la adopción de tecnologías que les permitan obtener un aprovechamiento energético de los residuos generados (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA, 2004).

1. PANORAMA MUNDIAL DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Entre el 2010 y el 2014 la densidad de población mundial pasó de 53,4 a 56 hab/km² (Banco Mundial, s.f.a), este acelerado crecimiento ha estimulado un aumento en la demanda alimentaria que se evidencia en el incremento del índice para la producción de alimentos (2004-2006 = 100)¹ en el mundo, el cual en 2013 fue de 123 mientras que para el 2010 fue de 114,3 (Banco Mundial, s.f.b) . Según la FAO (2013), se estima que la demanda de alimentos se duplique en los próximos 25 años lo que traerá para la industria agroalimentaria cambios significativos como alimentos más sanos y naturales, tecnificación de procesos y el adecuado manejo de residuos que aumentará consecuentemente la demanda, este último punto representa una oportunidad sin precedentes que puede favorecer no solo a grandes sino también a pequeños empresarios y agricultores.

Teniendo en cuenta los alcances del crecimiento político y económico global que vienen acompañados del aumento de la población mundial y con el objetivo de formar una alianza mediante la cooperación mutua entre Estados, se realizó en Rio de Janeiro en Junio de 1992 la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, también conocida como La Cumbre de la Tierra, en donde se buscó "alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos y se proteja la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial" (ONU, 1992, párr. 5). Durante el evento, 172 gobiernos aprobaron el "*Programa 21*" mediante el cual se pretendía asegurar el futuro del planeta con la puesta en marcha de un plan de acción sobre Desarrollo Sostenible en el cual se establecieron pautas que facilitan abandonar el modelo de crecimiento económico insostenible y así proteger y renovar los recursos ambientales (ONU, 2002a).

Diez años después, en septiembre de 2002 se llevó a cabo la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, la Cumbre de Johannesburgo se desarrolló con el fin de adoptar medidas concretas en tiempos delimitados que permitieran alcanzar los objetivos fijados en el "*Programa 21*", ya que hasta esa fecha los avances se consideraron decepcionantes evidenciándose el aumento en la pobreza y en la degradación del medioambiente (ONU, s.f). Al finalizar la cumbre, los representantes de los pueblos del mundo firmaron una declaración de 37 puntos en donde quedaron plasmados los grandes problemas a resolver, su compromiso con el desarrollo sostenible y la manera establecida para lograrlo, reconociendo que "desde el continente africano, cuna de la humanidad, nos comprometemos solemnemente, ante los pueblos del mundo y las generaciones que heredarán la

¹ Representa el índice de producción de alimentos normalizados al período base 2004-2006 al cual se asigna el valor 100 a fin de indicar que los datos siguientes corresponden a porcentajes de cada valor con respecto al de la referencia. (Universidad de Valencia, s.f.)

tierra, a actuar para que se haga realidad el desarrollo sostenible, que es nuestra aspiración común” (ONU, 2002b).

Si bien se lograron grandes avances en cuanto al “*Programa 21*” y a los Objetivos de Desarrollo del Milenio, tras realizar un balance para el 2015 se evidenció que aún quedaba bastante por hacer y que era necesario actualizar dichos objetivos y traerlos a tiempo real y por lo tanto en septiembre de ese mismo año se convocó a la Cumbre de Desarrollo Sostenible que se desarrolló en las oficinas de la ONU en Nueva York en donde se dio a conocer la nueva agenda “*Transformando nuestro Mundo: la Agenda de Desarrollo Sostenible de 2030*” con este documento 193 líderes mundiales se comprometieron con los 17 Objetivos y las 169 metas impuestas declarando que “reafirmamos nuestro inquebrantable compromiso de cumplir esta Agenda y utilizarla al máximo para transformar nuestro mundo en un lugar mejor para 2030 ” (ONU, 2015a, p. 1).

Esta nueva agenda entró en vigencia oficialmente a partir del 01 de enero de 2016 y supone grandes cambios para los gobiernos, la sociedad en general y las industrias alrededor del mundo. Puntualmente la industria agroalimentaria se ve afectada por dos objetivos que comienzan a marcar el rumbo por el cual deben transitar para poder alcanzar los estándares del desarrollo sostenible al transformarse en una industria autosuficiente, amigable con el ambiente y capaz de alcanzar un crecimiento económico que beneficiará no solo a la industria agroalimentaria sino al mundo entero.

- *Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*

Con este punto se espera reducir la huella ecológica de las industrias incentivando el crecimiento económico y el desarrollo sostenible mediante el uso eficiente de recursos y la reducción de las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción; igualmente está orientado a la reducción del desperdicio mundial de alimentos y a mejorar la gestión de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida de manera que se pueda disminuir sustancialmente la generación de desechos para el año 2030 (ONU, 2015b).

- *Objetivo 7: Energía asequible y sostenible*

Este objetivo busca impulsar el uso de fuentes de energía alternativas que sean renovables y menos contaminantes, estimulando el desarrollo sostenible de las regiones y asegurando el acceso a la energía para todos (ONU, 2015b).

1.1 EL MERCADO BIOENERGÉTICO

Las energías renovables han venido tomando fuerza desde hace varios años y en estos momentos se han establecido como fuentes importantes de energía

alrededor del mundo, en 2015 por ejemplo se evidenció un incremento en las incorporaciones a la capacidad mundial experimentando el máximo crecimiento visto hasta la fecha. Con respecto a la bioenergía (Energía renovable producida por la transformación de biomasa) se evidenció un incremento entre 2014 y 2015 de 5000 MW alcanzando los 1'064.000 MW en donde el ranking de países líderes en la capacidad total de bioenergía son China, Estados Unidos, Alemania, Japón, India, Italia y España; también es considerada la importante contribución de la Unión Europea y de las economías emergentes conformadas en el BRICS por Brasil, la Federación de Rusia, India, China y Sudáfrica (Ver Tabla 1) (Zervos, 2016).

Tabla 1. *Capacidad mundial de Energía Eléctrica renovable, Top Regiones / Países, 2015*

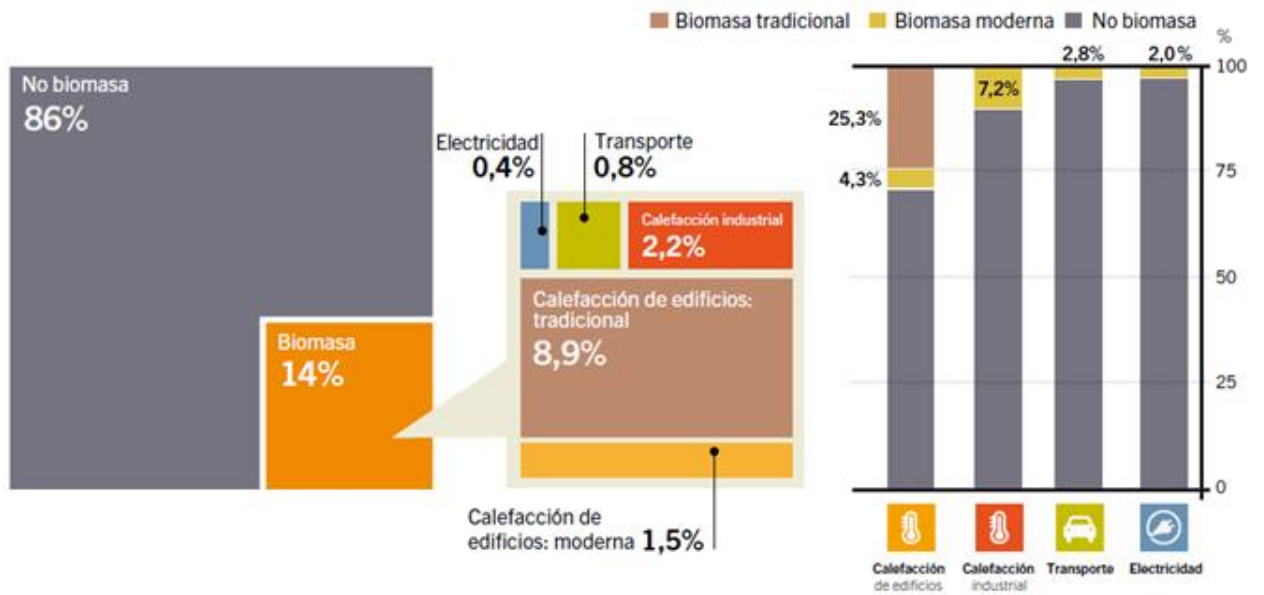
	Global	EU-28	BRICS	China	EEUU	Alemania	Japón	India	Italia	España
Tecnología	MW			MW						
 Bio-power	1'064.000	36.000	31.000	103.000	167.000	71.000	48.000	56.000	41.000	1000

Nota: Para tener en cuenta incertidumbres e inconsistencias en los datos disponibles, los números se redondean con una precisión de 1000 MW, con la excepción de los siguientes: los totales de capacidad inferior a 20000 MW y los totales per cápita se redondean al punto decimal más cercano.

Fuente: Adaptado de (Zervos, 2016).

La bioenergía tiene un importante aporte al suministro de energía primaria siendo el mayor participante en la oferta mundial con respecto a los demás renovables, para el 2014 la biomasa aportaba el 14% en el consumo final de energía, evidenciando desde el año 2010 un crecimiento del 2% anual en la generación eléctrica pese a los grandes retos impuestos por el mercado debido a las deficientes políticas en algunos campos de la industria y por los bajos precios del petróleo. Como se observa en la Figura 1, la biomasa no solo tiene participación en el sector eléctrico, prosperando en otras áreas al satisfacer también la demanda energética del sector transporte y en la producción de biocalor para edificios y para la industria (Zervos, 2016).

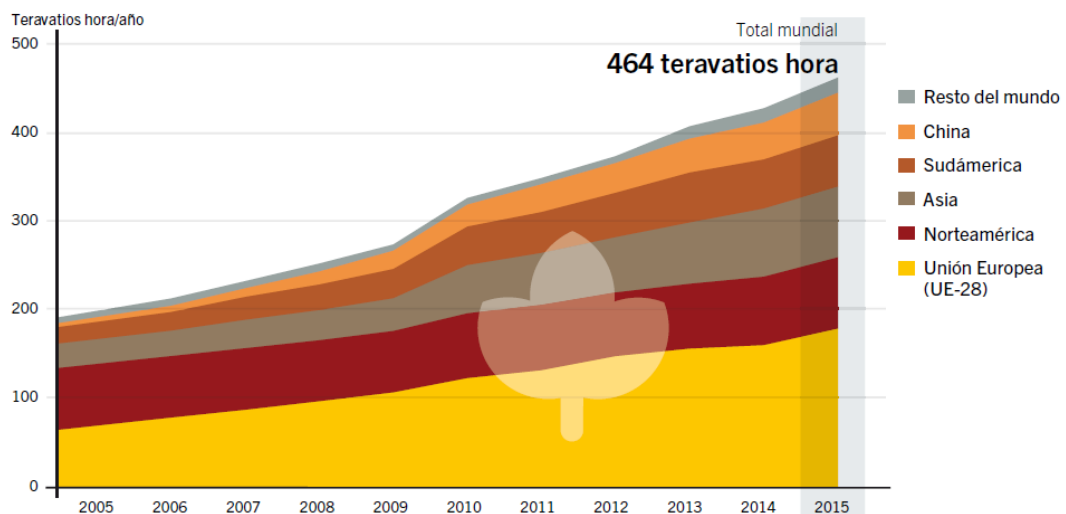
Figura 1. Participación de la biomasa en el consumo total final de energía y en el consumo final de energía por sector de uso final, 2014



Fuente: (Zervos, 2016)

Gracias al mayor uso que se dio a la capacidad bioenergética mundial en el 2015 se presentó un alza en la generación eléctrica logrando un incremento del 8 % con respecto al año anterior dando como resultado la producción de 464'000.000MWh a partir de biomasa en el mundo como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Generación mundial de bio-energía, por país y región, 2005–2015.



Fuente: (Zervos, 2016)

Para alcanzar dicha cifra se requirió del principal aporte de cinco países que encabezan la producción de electricidad a partir de biomasa en el mundo (Zervos, 2016):

- Estados Unidos: es considerado el mayor productor de bioenergía en el mundo.
- Alemania: es el productor más grande de Europa y es reconocido por la mayor capacidad de generación de energía eléctrica a partir de biogás en Europa.
- China: la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma de China a creado incentivos para las inversiones en proyectos de biomasa a fin de impulsar su uso en la producción energética (U.S. Energy Information Administration, 2015).
- Brasil: su producción se basa especialmente en los residuos de caña de azúcar, como el bagazo (Zervos, 2016).
- Japón: se convirtió en uno de los principales productores de Asia, ya que después del desastre nuclear de Fukushima se iniciaron grandes esfuerzos para estimular el crecimiento de las energías renovables.
- En la Tabla 2 se presenta un consolidado de los países líderes en el que se incluye la generación de bioenergía para el 2015 junto con su porcentaje de participación en la matriz energética para el 2013, se incluye también los datos recopilados para Colombia en donde se puede evidenciar que la cantidad producida no es representativa junto a los líderes del sector.

Tabla 2. *Generación de bioenergía para el 2015 y matriz energética del 2013*

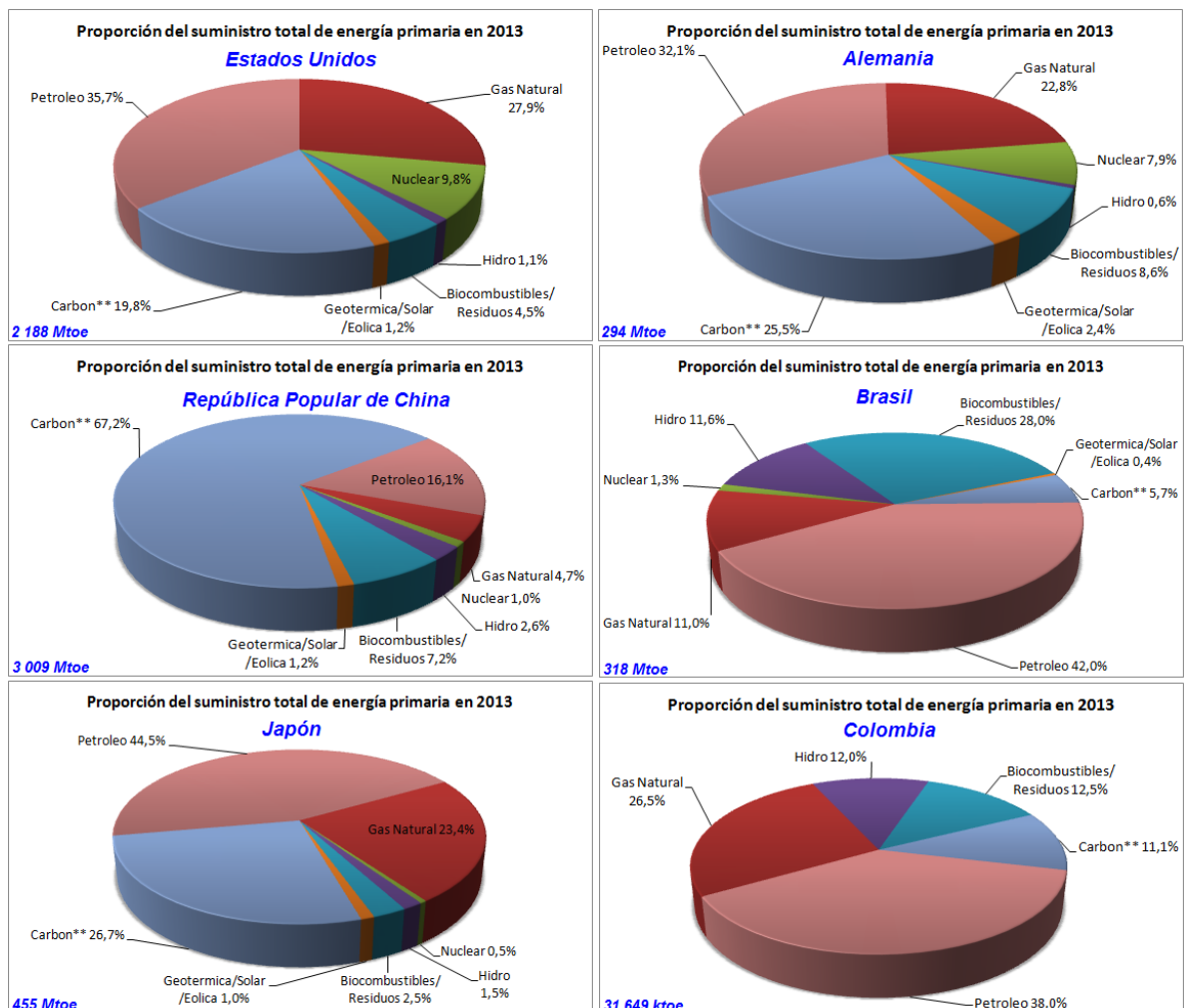
País	Generación en 2015 (MWh)	Matriz energética 2013 *	Tecnología	Sub Tecnología	Fuente	
Estados Unidos	69'000.000	4,5 %	Bioenergía		REN21 / IEA	
Alemania	50'000.000	8,6 %		Biomasa Solida	/	REN21 / IEA
China	48'000.000	7,2 %		Biomasa Liquida	/	REN21 / IEA
Brasil	40'000.000	28,0 %		Biogás		REN21 / IEA
Japón	36'000.000	2,5 %				REN21 / IEA
Colombia	1'979.000	12,5 %				REN21 / IEA

* La participación en la matriz energética de cada país corresponde a el suministro de energía primaria (antes de ser transformada) que puede ser usada en biocombustibles y en la obtención de la energía procedente de los residuos en el año 2013

Fuente: (International Energy Agency , 2013; U.S. Energy Information Administration, 2015; International Energy Agency , s.f.; Zervos, 2016)

En la Figura 3 se puede observar la proporción del suministro total de energía primaria de los países líderes en la producción de electricidad a partir de biomasa e igualmente se encuentra de manera comparativa la matriz para Colombia. De la figura se puede percibir que Colombia ocupa el segundo puesto en suministro primario de energía a partir de biocombustibles y biomasa (12,5%) luego de Brasil que tiene el 28% (entre los países evaluados en la figura), sin embargo es evidente que en Colombia no se está realizando un adecuado aprovechamiento de la biomasa desechándose esta en su gran mayoría ya que la generación de energía es mucho menor comparada con países como Estados Unidos en donde con tan solo 4,5 % de energía primaria producen 69'000.000 MWh (Zervos, 2016; International Energy Agency , 2013).

Figura 3. Matriz Energética para el suministro de energía primaria en 2013



* La participación de TPES excluye el comercio de electricidad. ** En este gráfico, la turba y el petróleo se agregan con carbón, cuando es relevante. Nota: Para fines de presentación, las acciones de menos del 0,1% no están incluidas y, en

consecuencia, el total puede no llegar al 100%. Para obtener datos más detallados, consulte nuestro servicio de datos en línea en QS <http://data.iea.org>.
Fuente: Adaptado de (International Energy Agency , s.f.)

1.2 LA BIOENERGÍA EN EL MUNDO

En los últimos años se ha presentado un creciente interés de científicos por estudiar el potencial energético de los residuos agroindustriales, argumentando la necesidad de sus investigaciones en los aumentos de la demanda energética alrededor del mundo y en la búsqueda del autosostenimiento de las empresas mediante la integración de tecnologías limpias a sus procesos. Entre los productos pertenecientes a la matriz energética se encuentra el biogás, que se obtiene mediante un proceso de digestión anaeróbica en el cual se puede emplear una diversidad de residuos agroindustriales lo que lo hace una de las tecnologías más estudiada alrededor del mundo, en Tanzania se ha determinado que los residuos agroindustriales poseen un gran potencial para la conversión anaeróbica en biogás y electricidad generando un estimado anual de 1'135.000 de MWh en relación con los 468.100 toneladas de materia orgánica del café, el sisal, el azúcar y los residuos de cereales que se producen (Kivaisi & Rubindamayugi, 1996). El potencial en España se estima en 11630 mil MWh de energía primaria a partir de residuos procedentes de industrias como almazaras, molinos de arroz, bodegas, plantas de productos lácteos, cervecerías, madera y carne (Gómez, Zubizarreta, Dopazo, & Fueyo, 2010).

Dinuccio, Balsari, Gioelli y Menardo (2010) plantearon en sus estudios el potencial energético que tendrían residuos como el suero de leche y el maíz seco, estimando un valor cercano a 21900 TJ /año. Sin embargo este potencial depende de la zona en la que se vaya a aplicar dicho proceso debido a la disponibilidad y variedad de residuos; en el caso de Italia el estiércol de cerdo siempre se incluye como un sustrato básico junto con otros residuos en las mezclas de alimentación, dado que muchas de las plantas de biogás italianas están conectados a las granjas (Schievano, D'Imporzano, & Adani, 2009), en Finlandia se han realizado investigaciones al respecto, en donde se propone el uso de papas y sus respectivos residuos como parte de una mezcla con estiércol de cerdo para realizar un proceso de digestión anaerobia, en donde se obtienen abonos para granja y biogás con rendimientos adecuados dependiendo de la proporción de la mezcla (Kaparaju & Rintala, 2005).

Tras numerosos estudios e investigaciones y como respuesta a los desafíos presentados en las últimas décadas es evidente un incremento en la cantidad de empresas que dejando de lado la teoría y pasando a la práctica expresan su preocupación por el deterioro del medio ambiente y el agotamiento de recursos no renovables generados por sus actividades productivas, empresas como Gills

Onions, compañía californiana dedicada al procesamiento de cebollas, en búsqueda de una política de cero residuos ha implementado un sistema de recuperación energética partiendo de los residuos de su proceso, esta implementación surgió como respuesta a las presiones regulatorias, a los incentivos económicos y a la necesidad de ser responsables con sus residuos. Actualmente son capaces de generar 600 kilovatios que son utilizados en los procesos de almacenamiento y otros procesos de la planta, esto les permite un ahorro de 400 mil dólares anuales por el manejo de residuos y 700 mil dólares anuales correspondientes a cuentas de energía (French, Hamman, Katz, & Kozaki, 2008).

En definitiva la adopción de nuevas tecnologías para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales no solo depende del factor económico, está también estrechamente ligado al factor cultural y político, no solo de agricultores y empresarios, sino también del gobierno que es el encargado de formular la normativa y asegurar su ejecución, por ejemplo en la Unión Europea se ha promovido la idea del papel dual que tiene la agricultura dentro de la sociedad, ya que se considera no solo usuario sino también proveedor de energía mostrando al agricultor que las prácticas de producción de Bioenergía traen consigo beneficios como la diversificación de la economía, el desarrollo de zonas rurales, la sostenibilidad energética, la seguridad energética y sobre todo la mitigación de los impactos negativos sobre el medio ambiente (Frantál & Prousek, 2016).

Frantál y Prousek (2016) aseguraron en su estudio que debido a las políticas en Republica Checa y pese a que el 60% de los agricultores considera que solo se deben dedicar a la producción de alimentos, muchos otros han optado por nuevos modelos de negocio entre los que está la agricultura ecológica, la energía renovable y el Agro-Turismo, todo gracias al apoyo legislativo y las subvenciones del gobierno lo que les ha permitido diversificar su economía y estabilizar las granjas (Ministerio de Minas y Energía, Upme, Ideam, Colciencias y UIS. , 2010) . Para el 2012 Republica Checa logró tener una capacidad instalada de 363,24 MW procedentes de las 481 plantas de biogás que producían 1406 MWh de electricidad y para mediados del 2013 el número de plantas aumento a 487 lo que se consideró un gran logro en ese entonces (Prostredi, 2013).

Otra de las maneras en que los industriales y agricultores inician su incursión en el mundo de las energías renovables y el aprovechamiento de residuos es debido al apoyo que reciben de sus socios estratégicos, un claro ejemplo de esto lo podemos ver en la isla de Sicilia, donde la Fundación Coca-Cola junto con la Universidad de Catania instalaron en 2015 una planta piloto a través del programa "La energía de los Cítricos" ya que estos frutos son uno de los cultivos principales de la isla y los residuos procedentes de su procesamiento terminaron por convertirse en un gran y costoso problema, llegando costar 30 Euros por tonelada para poder deshacerse de ella. La planta está formada por una plataforma que facilita su traslado lo que permite instalarlo en diferentes lugares y está

El sistema está conformado por 1 tanque de almacenamiento y 4 digestores, todos en acero inoxidable y funciona con los residuos de los cítricos y otro tipo de residuos como orujo y hojas de higos, el objetivo del proyecto es poder probar las diferentes condiciones y mezclas de la biomasa y mostrar a las empresas el potencial que tiene este tipo de tecnología con el fin de poder expandir el proyecto y montar otros 20 equipos de digestores con los cuales sería más que suficiente para toda la región (Quale Energía.it, 2015).

Según Henning Steinfeld (Jefe de la Subdirección de Información Ganadera y de Análisis y Política del Sector de la FAO) los graves problemas medioambientales que se presentan actualmente son en gran parte responsabilidad del ganado, la FAO indica que para el 2050 la producción mundial de carne se duplicará al igual que la producción lechera (FAO, 2006) y por lo tanto se hace necesario empezar a tomar medidas para disminuir sus efectos ambientales, igualmente ocurre con el sector avícola aunque; esta tiene un impacto menor sobre el medio ambiente.

Para mediados del 2015 el Grupo Coren, que es una de las cooperativas agroalimentarias más importantes de España, publicó en su revista institucional una iniciativa mediante la cual pretendían instalar una caldera en una de las plantas de procesamiento Avícola de Galicia; la idea del proyecto era obtener energía térmica a partir de combustible formado por los residuos generados durante la producción y de esta manera lograr cubrir el 70% de los requerimientos energéticos de la planta, todo esto con la colaboración del Instituto Energético de Galicia (Inega) y Energylab. Finalmente, en Abril de 2016 se inauguró en el centro de procesado de Santa Cruz de Arrabaldo (Ourense) una caldera de vapor capaz de generar 2,8 MW y suplir el 60% de la demanda de la planta, a diferencia de otras calderas que tiene el Grupo las cuales operan exclusivamente con astillas y huesos de aceituna, esta funciona con residuos avícolas como deyecciones, cáscaras de arroz y paja proveniente de las camas de las aves (Rico, 2016; Coren, s.f.)

Costa Rica es uno de los países que ha hecho frente al impacto ambiental generado por este tipo de industria, desde hace 12 años han estado impulsando las fuentes renovables no convencionales de energía a través del "Programa de Biogás" del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), hasta ahora son 47 las empresas que se han acogido al plan y que mediante la utilización de residuos vegetales y animales autoabastecen su demanda eléctrica minimizando su impacto social y ambiental. Según indica Carolina Hernández, Coordinadora del programa, la capacidad instalada para el 2016 está en casi 3,7 MW gracias a la labor del ICE que mediante la aplicación de diversas estrategias logró generar todo un cambio cultural, lo que permitió generar conciencia ambiental en el sector (Morales, 2016), la última adicionada al proyecto es la planta de Biogás "*Sustratos de la Riviera*" que es una alianza de los mataderos El Arreo y Del Valle, esta planta comenzó a operar en el mes de abril del 2016 y consta de un biodigestor que emplea como sustrato estiércol, sangre, y demás restos orgánicos generados

durante el proceso, el equipo es de alta tecnología y cuenta con un sistema que indica al operario qué sustrato y en qué cantidad necesitan las bacterias para continuar operando. Se estima que una vez se encuentre trabajando a la totalidad de su capacidad la planta será capaz de cubrir del 70% al 80% de las necesidades energéticas de los mataderos y adicionalmente les permitirá reducir su impacto ambiental.

En África por otro lado, se inició a trabajar con biodigestores no tanto por los residuos agrícolas sino por la crisis energética que sufre la mayoría del continente, en tanto que aproximadamente unos 600 millones de personas no tienen acceso a la red eléctrica y se espera que este número aumente a 700 millones para el año 2030, por esta razón las Naciones Unidas puso en marcha junto con el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) un programa de cogeneración mediante el cual se pueda obtener calor y electricidad a base de biomasa residual de la producción de azúcar, madera, café, maíz, arroz, sisal, etc., para esto realizaron una fuerte inversión con la que se ha logrado influir en la política de energías renovables, en investigación y formación técnica (Costa, 2016). Este tipo de intervenciones promueven la colaboración de otros países y de organizaciones no gubernamentales; HIVOS (Instituto Humanista para la Cooperación en Países en Desarrollo) es una organización holandesa que trabaja de la mano con los gobiernos africanos para mejorar la calidad de vida de los habitantes del continente, desde 2009 promueven junto con el apoyo financiero de la Dirección General de Cooperación Internacional del Ministerio de Asuntos Exteriores de Holanda el programa ABPP (Programa Alianza Africana de Biodigestores) mediante el cual familiarizan a los campesinos con la idea de los biodigestores enseñándoles sus beneficios, promueven la creación de microempresas al capacitar a los albañiles sobre la construcción de biodigestores y finalmente llegan a la instalación final en los terrenos de las familias campesinas, para el 2011 se logró la instalación en África de 42000 digestores capaces de producir unos 5 m³ de biogás cada uno, que logran cubrir las necesidades más básicas de los hogares campesinos y ayudándoles a manejar los residuos generados durante sus prácticas agrícolas (Oppenoorth, 2014). Un gran ejemplo del trabajo realizado en África son Kenia y Uganda:

- Kenia: se ven dos tipos de proyectos, unos destinados para las empresas grandes y otros enfocados a los pequeños agricultores; para los primeros se instaló una planta de biogás capaz de funcionar con el estiércol y sangre animal proveniente de los mataderos los cuales están en capacidad de producir 600 kg de biogás por día y como beneficio adicional se utiliza los residuos de la producción de gas como fertilizante para los pastos del ganado. La energía generada permite no solo abastecer las necesidades de la planta, sino que también permite suministrar biogás a los hoteles cercanos; otro gran proyecto que se tiene es la construcción de una planta que trabajará con los residuos de maíz capaz de generar 2,2 MW de energía para la red eléctrica del país. Para los pequeños agricultores el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola desarrollo el sistema

*Flexibio*gás que consta de un biodigestor pequeño que puede procesar aproximadamente 20 kg de estiércol para transformarlos en 1000 L de gas (RWL Water, 2015).

- Uganda: dado el potencial del país y viendo que el lago Victoria estaba siendo impactado negativamente por los residuos de mataderos que llegaban a la bahía de Murchison, la Agencia Sueca Internacional de Cooperación y Desarrollo decidió financiar un gran proyecto mediante el cual se logró aprovechar los desechos generados por el procesamiento de unos 300 pollos , 700 bovinos y 200 ovinos, tras el procesamiento se logran obtener de 10 a 15 m³ de biogás al día que permiten a la industria generar su propia energía y minimizar el impacto ambiental (RWL Water, 2015).

1.3 COLOMBIA, POLÍTICAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Colombia no es ajena a la problemática mundial en donde los desechos procedentes de la agroindustria representan un peligro para el medio ambiente, en el país la industria de los alimentos genera una gran cantidad de desechos, los cuales en su mayoría no cuentan con una disposición adecuada, por lo que terminan su ciclo en vertederos o rellenos sanitarios, sin embargo, la capacidad de estos rellenos ha disminuido convirtiéndose en un problema para la sociedad obligando al cierre de estos como fue el caso del relleno de la Curva de Rodas en Medellín, ocurrido el 31 de agosto de 2002 (Yepes et al., 2008), esta situación permite considerar los residuos agroindustriales como materia prima para la incorporación de nuevas tecnologías facilitando la reducción de su impacto ambiental, y abriendo la posibilidad a las medianas y pequeñas empresas de iniciar planes de desarrollo sostenible, en donde mediante la integración de procesos por la autogeneración de energía se conviertan en empresas más competitivas, incrementando sus posibilidades de crecimiento y adoptando nuevas mentalidades ante lo que implica una conciencia ambiental desde el inicio hasta el final de sus procesos. Para esto el gobierno ha desarrollado una serie de políticas ambientales gubernamentales que pretenden prevenir y controlar la contaminación generada por la industria de alimentos, obligándoles a tomar medidas en donde se incorporen mejores prácticas de producción que les permitan garantizar su proceso de inicio a fin.

La Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible expedida en junio de 2010, está integrada por la Política Nacional de Producción más Limpia y el Plan Nacional de Mercados Verdes como estrategias del Estado colombiano para promover y enlazar el mejoramiento ambiental y la búsqueda de la transformación productiva a la competitividad empresarial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Desarrollo Sostenible y Producción Integrada: según el Informe Brundtland elaborado en 1987 para la ONU “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, este concepto se materializa a través de tres pilares interrelacionados e interdependientes (ONU, 1987).

- Sistema Ambiental
- Sistema Social
- Sistema Económico

En este caso al considerarse como un sistema Integrado es posible decir que cualquier variación en la producción va a afectar directamente el consumo y por lo tanto el balance económico de la industria y viceversa (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El desarrollo sostenible ha ido tomando más fuerza con el transcurrir de los años, convirtiéndose el día de hoy en una premisa para la industria, en donde es vital contar con políticas que evidencien el compromiso y avances en cuanto a un proceso sustentable, permitiéndoles ser cada vez más competitivos y convirtiéndose en líderes del sector. Una de las maneras en que le es posible a las empresas asegurar el cumplimiento de estas políticas es mediante la producción integrada de alimentos en donde se busca emplear diferentes tecnologías amigables con el ambiente, mediante la maximización de recursos y disminución de desperdicios como la Biomasa residual.

Colombia cuenta con dos grandes empresas líderes del sector de alimentos procesados que en búsqueda de un desarrollo sostenible han alcanzado grandes logros que les permiten beneficiarse y favorecer el medio ambiente. Alpina fue ganador en el año 2012 de los premios Portafolio en medio ambiente debido a sus políticas de gestión ambiental que se han convertido en parte de la estrategia que le permiten garantizar la sostenibilidad de la compañía y de su entorno, en el campo energético está incursionando en proyectos de autogeneración de energía renovable mediante la cual ha dejado de consumir unos 64104 galones de ACPM al año contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y convirtiéndola en una empresa amigable con el ambiente (Portafolio, 2012).

En el informe anual y de sostenibilidad del 2013 para Colombia, el grupo Nutresa indicó que al integrar el desarrollo sostenible a sus actividades, se ha transformado en una organización que da prioridad a la interacción corporativa con el medio ambiente buscando que dicha interacción se realice de manera responsable, contribuyendo a su equilibrio, al uso eficiente de los recursos naturales y al relacionamiento armónico con el planeta, para lograr esto ha implementado diferentes estrategias entre las cuales está el uso de un

subproducto industrial originado en las plantas de café soluble que es procesado como biomasa y utilizado como combustible en los procesos de la compañía, representando 16,3% de la canasta energética del Grupo (Nutresa, 2013).

Buscando incentivar a las demás empresas, el Ministerio de minas y energía dio a conocer la Ley 1715 de 2014, "por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional" (p. 1), estimulando su investigación, inversión, producción y utilización mediante la implementación de incentivos tributarios, arancelarios y/o contables (Ministerio de Minas y Energías, s.f.). El 9 de noviembre de 2015 el Ministro de Minas y Energía Tomás González Estrada dio a conocer el Decreto 2143 de 2015 en el cual se definieron los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014, a fin de asegurar a largo plazo una matriz energética diversa y amigable con el medio ambiente, por esta razón desde febrero de 2016 todos los proyectos de generación de energía eléctrica a partir de FNCE (Fuentes No Convencionales de Energía) podrán acceder a los beneficios (Ministerio de Minas y Energías, 2015):

- Deducción en el pago del impuesto de renta del 50% de las inversiones en un período de 5 años.
- Depreciación acelerada de los activos
- Exclusión de IVA de los bienes asociados al proyecto
- Exención del gravamen arancelario

Con esto se puede evidenciar el interés del gobierno colombiano así como de los demás países por incentivar el uso y desarrollo de energías renovables no convencionales como la generada a partir de biomasa, a fin de diversificar la matriz energética mundial y atacar simultáneamente otros problemas como el generado por los desechos de la industria agroalimentaria, no obstante, es relevante realizar más divulgación tanto de las normas e incentivos como de la información técnica disponible para campesinos, agricultores y pequeños industriales.

2. TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

La bioenergía es energía de tipo renovable que se obtiene a partir de la biomasa, la cual, según las directivas de la Unión Europea (UE) "es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales" (Cerdá, 2012, p. 117); para obtener dicha energía la biomasa debe ser procesada dependiendo de su origen, su humedad y de su destino final: generación eléctrica, uso térmico, sector transporte (Cerdá, Caparrós, & Ovando, 2008).

Una manera sencilla de determinar el proceso de generación energética es mediante su contenido de humedad. Cuando el material posee un porcentaje menor al 60% se considera como biomasa seca la cual idealmente se transforma a través de procesos termoquímicos y físicos, mientras que la biomasa húmeda corresponde a porcentajes mayores al 60% y se opta por procesos físicos, químicos y biológicos para su transformación (Secretaría de Energía de la República Argentina, 2008).

2.1 PROCESOS FÍSICOS

Estos procesos se aplican para materiales que poseen altos contenidos de humedad, una baja densidad y carecen de uniformidad en su tamaño (Forero, Camargo, & Sierra, 2014), lo que se busca mediante esta técnica es modificar sus propiedades físicas sin alterar su composición ni sus propiedades.

- Compactación: también conocido como densificación, este proceso busca la reducción de volumen mediante compresión mecánica, permitiendo que las altas presiones estabilicen la densidad y forma del material, aumentando su eficiencia para uso directo como combustible (Cukierman, 2016).

Las aplicaciones más conocidas son el peletizado y briqueteado, las cuales utilizan básicamente el mismo proceso y la diferencia radica en las características del producto final, pues el pellet es de un tamaño menor al de las briquetas que suelen ser mucho más grandes debido a que son para uso doméstico, como por ejemplo chimeneas; mientras que los pellets suelen emplearse en calderas de tipo industrial. En cuanto a su densidad se puede decir que ambos son más densos que la biomasa sin procesar (astillas, paja, etc.) lo que permite una mejor manipulación, transporte y almacenaje (Martín, 1994).

- **Secado:** para la producción de energía se cuenta con una gran cantidad de biomásas disponibles en el mercado, algunas de ellas con un contenido de humedad muy alto que dificulta su manejo (transporte, almacenaje y proceso), lo que hace necesaria la implementación de procesos previos que permitan mejorar sus características haciéndolas más favorables para la obtención de energía. El secado permite extraer agua del material disminuyendo el contenido de humedad, lo que beneficia los procesos de molienda y termoquímicos a los que se deba someter la biomasa; este proceso se puede dar de dos maneras.

El *Secado Natural*, que se realiza mediante el aprovechamiento de recursos naturales como lo son el sol y el viento, pero suele ser un proceso muy demorado dado que la biomasa generalmente se apila para optimizar el espacio lo que impide que el aire circule por toda la superficie del material; estas condiciones hacen importante tener en cuenta el tamaño del material, las características de la pila, el nivel de compactación, y los tiempos de volteo y aireación con el fin de asegurar un buen proceso. Por su parte, en el *Secado Forzado* se emplea un equipo que permite no solo alcanzar la humedad de equilibrio sino que en caso de ser necesario, se puede disminuir el contenido de humedad a la cantidad deseada lográndose en tiempos más cortos (Nogués, Garcia, & Rezeau, 2010a).

2.2 PROCESOS QUÍMICOS

- **Transesterificación:** es un proceso mediante el cual se obtiene biodiesel por la reacción entre triglicéridos con un alcohol de cadena corta (metanol o etanol), en donde adicionalmente se obtiene glicerina (Reategui & Salas, 2013), los triglicéridos pueden provenir de aceites vegetales extraídos de semillas como girasol y soja o de grasas animales. Este proceso por lo general se lleva a cabo a temperaturas que varían entre los 50°C y los 60°C (Cukierman, 2016), en presencia de un catalizador que suele ser básico (NaOH o KOH), lo que implica que el aceite y el alcohol deben ser anhidros para impedir que se formen jabones por reacciones de saponificación (Reategui & Salas, 2013). Este proceso se puede realizar con catalizadores homogéneos, heterogéneos o enzimáticos (ver Tabla 3). Su elección, aparte del tipo de reactor y del proceso, también depende del contenido de ácidos grasos libres de la materia prima, por ejemplo, se emplean catalizadores homogéneos cuando el aceite presenta baja acidez y heterogéneos cuando es alta (González et al., 2015).

Tabla 3. *Ventajas y desventajas de los catalizadores en la Transesterificación*

Catalizador	Ventajas	Desventajas
Homogéneos	<ul style="list-style-type: none"> • Pureza elevada. • Rendimientos moderados. • Económicos. • Fácil transporte y manipulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saponificación. • Disolución de metilésteres en glicerina. • Etapas de aislamiento y purificación costosas.
Heterogéneos	<ul style="list-style-type: none"> -Condiciones extremas de operación (T> 200°C, P=68 atm). -Biodiesel de elevada pureza. -Amigables con el medio ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Velocidad de reacción limitada. -Elevado costo.
Enzimáticos	<ul style="list-style-type: none"> -Reutilizables y de fácil regeneración. 	<ul style="list-style-type: none"> -Condiciones de proceso moderada. -Bajos porcentajes de conversión. -Elevado costo. -Rápida desactivación enzimática.

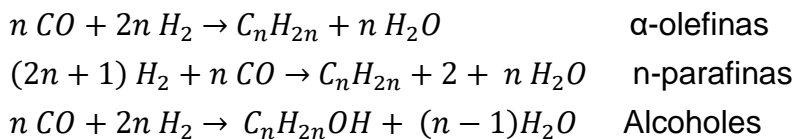
Fuente: elaboración propia con base en González, et al. (2015)

La transesterificación homogénea puede ser acida o básica, a nivel industrial suele emplearse el proceso con catalizadores básicos que por lo general son hidróxidos o metóxidos de sodio y de potasio; para iniciar el proceso el catalizador seleccionado, se introduce al reactor luego de ser mezclado con metanol, el cual debe ir en exceso para asegurar el desplazamiento del equilibrio y es sometido a una fuerte agitación para asegurar la transferencia de masa y una adecuada velocidad de reacción (González et al., 2015). Por otro lado, la transesterificación homogénea ácida que se lleva a cabo normalmente con ácidos sulfúrico y sulfónico; es menos utilizada a nivel industrial debido principalmente a que la reacción es más lenta que la básica y esto hace necesario trabajar a temperaturas superiores de 100°C y tiempos más largos de proceso, con el propósito de poder alcanzar la conversión total de los triglicéridos. Entre sus principales ventajas se evidencia la no formación de jabones por saponificación y que son ideales para trabajar con grasas animales, así como los aceites usados que contienen altos niveles de ácidos grasos libres (Dinis & Pardal, 2012).

En el proceso heterogéneo también se presenta la posibilidad de trabajar con catalizadores ácidos o básicos (CaO, zeolitas, hidrocalcitas, etc) prefiriéndose los básicos debido a que poseen actividades catalíticas altas, son anticorrosivos, amigables con el ambiente y de fácil separación de los efluentes líquidos. Por otro lado los ácidos (óxidos de metal sulfatado, carbón amorfo sulfonatado y resinas ácidas de intercambio iónico, etc.), pese a ofrecer grandes rendimientos al ser capaces de esterificar los ácidos grasos óptimamente, requieren de tiempos elevados de proceso y de altas temperaturas de reacción, lo que demuestra que su actividad catalítica es débil. Cabe señalar que el proceso heterogéneo presenta grandes ventajas sobre el homogéneo al ofrecer rendimientos cercanos al 100% y glicerina con una pureza superior al 98%, sin embargo, es mucho más costosa en cuestión de equipos y operación (González, et al., 2015 ; Dinis & Pardal, 2012).

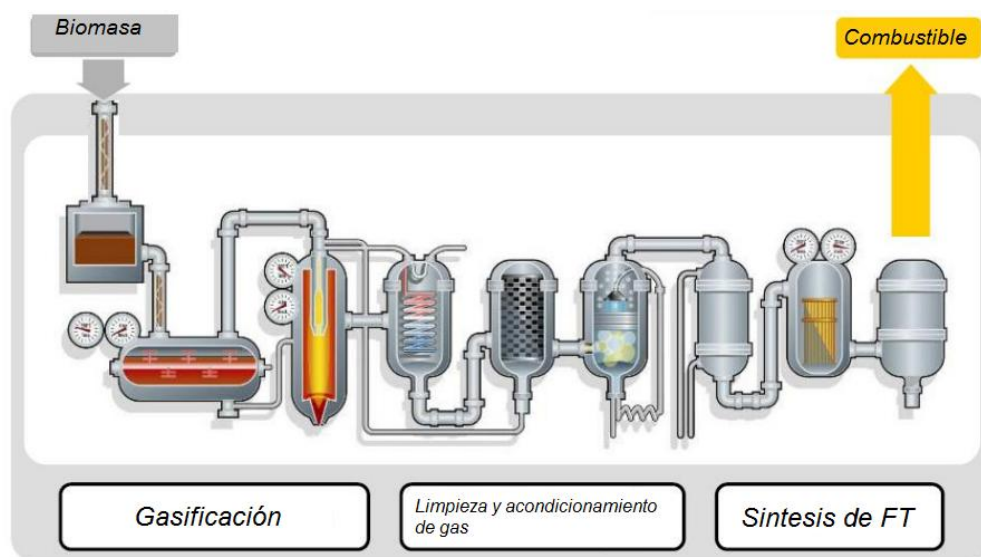
La transesterificación enzimática es poco empleada por el momento, dado que este tipo de catalizadores son muy costosos y presentan problemas al momento de su separación y su rápida desactivación enzimática, sin embargo, al ser catalizadores selectivos son una buena alternativa que está siendo estudiada a fin de poder avanzar en su aplicación a este tipo de procesos (Dinis & Pardal, 2012).

- La síntesis Fischer-Tropsch: con la aplicación de este proceso se obtienen hidrocarburos de cadenas largas como diésel, gasolinas, queroseno, crudo sintético, entre otros. El proceso se lleva a cabo en un reactor de lecho fijo o fluidizado a partir de gas de síntesis (H_2 y CO), generalmente bajo condiciones de alta temperatura y presión, y la acción de catalizadores de níquel (hidrogenación de grasas y productos químicos), cobre (síntesis de alcoholes), hierro o cobalto (Obtención de hidrocarburos) (Araujo, De Almeida, Zabala, & Granados, 2013). En el caso de las energías renovables se emplea Bio-gas de síntesis que es un gas rico en CO y H_2 obtenido por gasificación de la biomasa, dicho gas es sometido a síntesis de Fischer-Tropsch en donde se transforma en parafinas y α -olefinas por un mecanismo en cadena (ver Figura 4). Las ecuaciones que describen la reacción se presentan a continuación, donde n es la longitud media de la cadena de hidrocarburo (García, 2014):



Las condiciones de operación recurrentes para la síntesis son un intervalo de temperatura de 475 a 625 K y presiones de 15 a 40 bar; durante el proceso se presentan reacciones exotérmicas y se obtiene una mezcla de varios hidrocarburos en donde priman la parafina y las olefinas. Con respecto a los catalizadores, el cobalto (Co) presenta la ventaja de una mayor tasa de conversión, es más reactivo para la hidrogenación y por ende produce menos hidrocarburos insaturados y alcoholes que los catalizadores de hierro, los cuales tienen una mayor tolerancia para el azufre y son más baratos aunque su vida útil es corta y producen más productos de olefinas y alcoholes (Demirbas, 2007).

Figura 4. Síntesis de Fischer-Tropsch para biomasa



Fuente: (Prostredi, 2013)

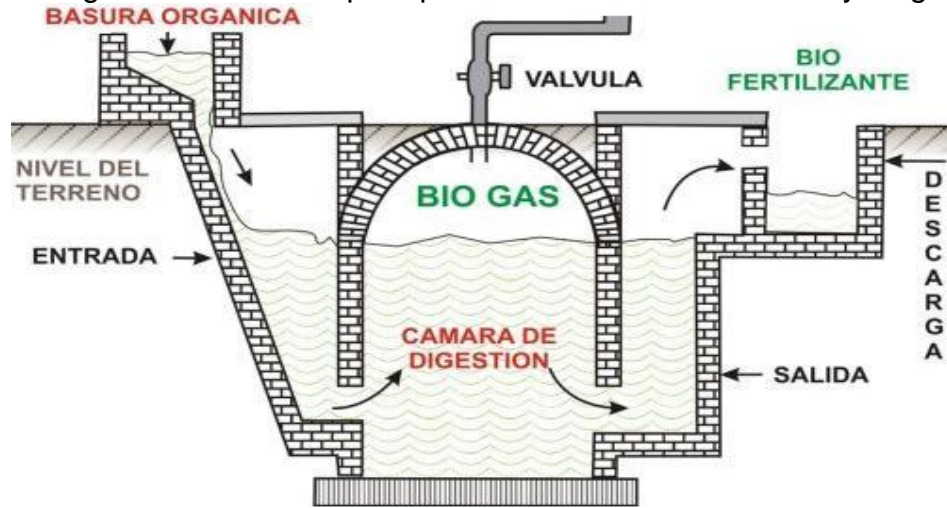
En general el proceso de biomasa es idéntico al tradicional, sin embargo es más complejo y es rentable solo en grandes instalaciones. Adicionalmente la etapa de refinado posterior al proceso se encuentra en etapa experimental para los productos de biomasa y por ahora solo es posible realizarlo con hidrocarburos fósiles a escala industrial (Damien, 2010).

2.3 PROCESOS BIOLÓGICOS

- **Biometanización:** este proceso también conocido como digestión anaerobia permite la conversión de la biomasa que ocurre en ausencia de oxígeno; en biogás, el cual está conformado principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) y por otros gases en pequeñas cantidades (MAPAMA, s.f.), durante la Biometanización la materia orgánica se descompone debido a la acción de microorganismos con metabolismos diferentes lo que le confiere a este proceso cuatro etapas. La *hidrólisis* se da al inicio del proceso y la llevan a cabo enzimas provenientes de bacterias fermentativas, las cuales se encargan de descomponer las macromoléculas presentes en el sustrato (hidratos de carbono, proteínas, lípidos y material lignocelulósico). La siguiente etapa es la de *fermentación*, en donde los microorganismos proceden a transformar las moléculas orgánicas solubles formando compuesto de peso molecular más bajo como ácido acético e H_2 . El tercer paso toma los productos obtenidos en la fermentación y por medio de *deshidrogenación acetogénica e hidrogenación acetogénica* se obtiene acetato gracias a la acción de las bacterias acetogénicas sintróficas que además del

acetato también permiten la obtención de dióxido de carbono e hidrógeno; productos indispensables para la cuarta etapa que es la *metanogénesis*, en donde las arqueas metanógenas se encargan mediante su proceso metabólico de obtener energía en forma de ATP y de la producción del metano (Solera, 2014). La Biometanización se produce a nivel industrial en reactores anaeróbicos conocidos como biodigestores, los cuales pueden estar conformados por recintos, tanques o dispositivos completamente cerrados que cuentan normalmente con una entrada de materia prima y las salidas de Biogás, abono orgánico y un efluente líquido (Damien, 2010). En la Figura 5 se puede observar una planta de cúpula o campana fija que está conformada por un biodigestor subterráneo elaborado en concreto con domo inmóvil en el cual se necesario liberar el gas continuamente para reducir la presión interna, esta construcción es no es costosa y puede tener una vida útil de 20 años (Triyanond, 2015).

Figura 5. Biodigestor anaeróbico para producción de biofertilizantes y biogás

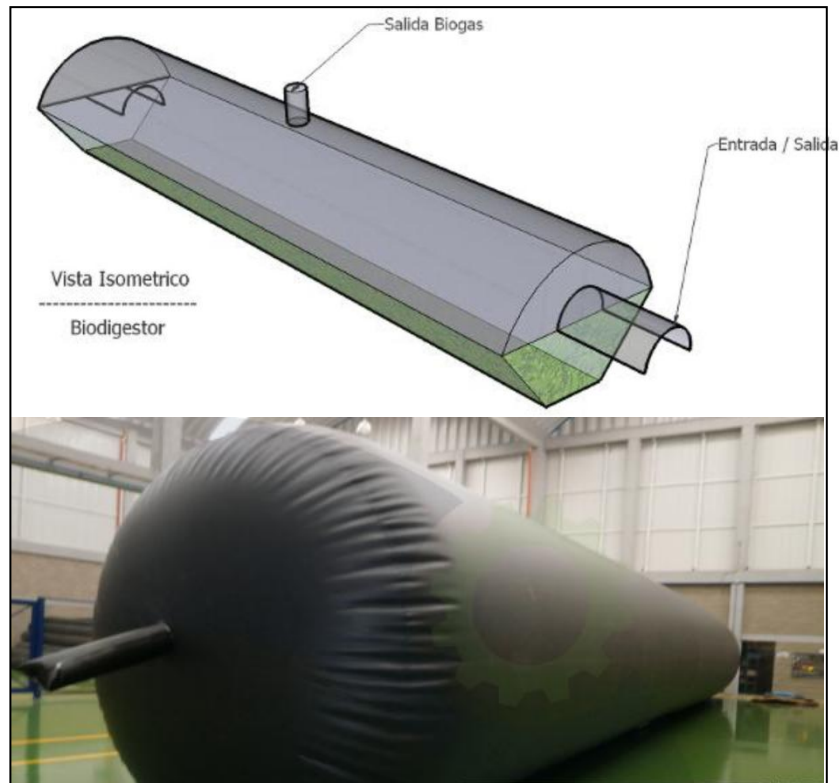


Fuente: Biodisol (s.f., párr. 1)

Las plantas de tubulares o también conocidas como plantas de balón son desarrolladas en materiales como el PVC, polietileno y plastilona; su construcción es horizontal y su instalación y adecuación resulta sencilla y económica, sin embargo su vida útil se encuentra entre 3 y 8 años según el material y cuidado que se le proporcione (Triyanond, 2015). En Colombia es posible encontrar diferentes proveedores para este tipo de biodigestores, tales como la empresa GeoSoluciones que ofrece equipos elaborados en una geomembrana en cloruro de polivinilo flexible fabricados mediante el proceso de calandrado (ver Figura 6), presentan “resistencia a la acción de químicos producidos en las reacciones provocadas por las bacterias anaerobias” (GEO Soluciones, 2016, párr. 8) y

permite obtener 3 subproductos que son el Biogás, abono orgánico y aguas empleadas para riego (GEO Soluciones, 2016).

Figura 6. Biodigestor tubular en geomembrana



Fuente: (GEO Soluciones, 2016)

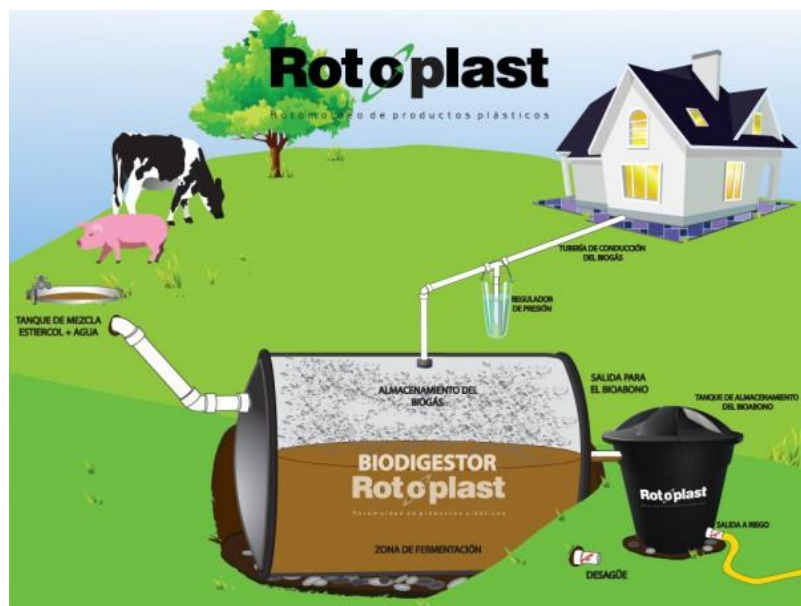
Por otro lado el proveedor Rotoplast ofrece tanques rígidos de polietileno horizontales o verticales con capacidades de 2000 a 20000 litros según la configuración seleccionada, entre sus principales beneficios se encuentra su fácil transporte y manipulación, debido a que son livianos, son resistentes a la intemperie y a la corrosión, y son de fácil instalación, operación y mantenimiento; en la Figura 7 y 8 se puede observar el esquema de instalación para estos biodigestores (Rotoplast, s.f.).

Figura 7. Biodigestor vertical Rotoplast



Fuente: (Rotoplast, s.f., párr. 7)

Figura 8. Biodigestor horizontal Rotoplast



Fuente: (Rotoplast, s.f., párr. 8)

De esta manera se evidencia que el mercado puede proporcionar diferentes opciones para implementar la biometanización; su elección y uso depende de las necesidades del cliente y por supuesto de sus condiciones de proceso.

- Fermentación alcohólica: es un proceso mediante el cual se transforman hidratos de carbono simples en etanol y CO_2 por la acción enzimática de microorganismos; para los procesos realizados con biomasa residual como sustrato el producto principal de la reacción se conoce como bioetanol de 2da generación. La biomasa residual contiene moléculas de polisacáridos de cadenas largas lo que hace más compleja la fermentación de la biomasa lignocelulósica y por lo tanto se hace necesario llevar a cabo una hidrólisis para liberar los azúcares simples (Cukierman, 2016).

Para la obtención de bioetanol se llevan a cabo dos fases; una *aerobia* en la cual se requiere presencia de oxígeno para asegurar el crecimiento de los microorganismos y una *anaerobia* en el cual la glucosa se transforma en etanol y dióxido de carbono por la acción de los microorganismos presentes. La *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura más empleada a nivel industrial, sin embargo existen otros microorganismos que pueden ser utilizados en este proceso, a saber: *Saccharomyces anamensis*, *Saccharomyces carlsbergensis*, *Candida seudotropicalis* y bacterias como la *Zymomonas mobilis* (Agrowaste, 2013a).

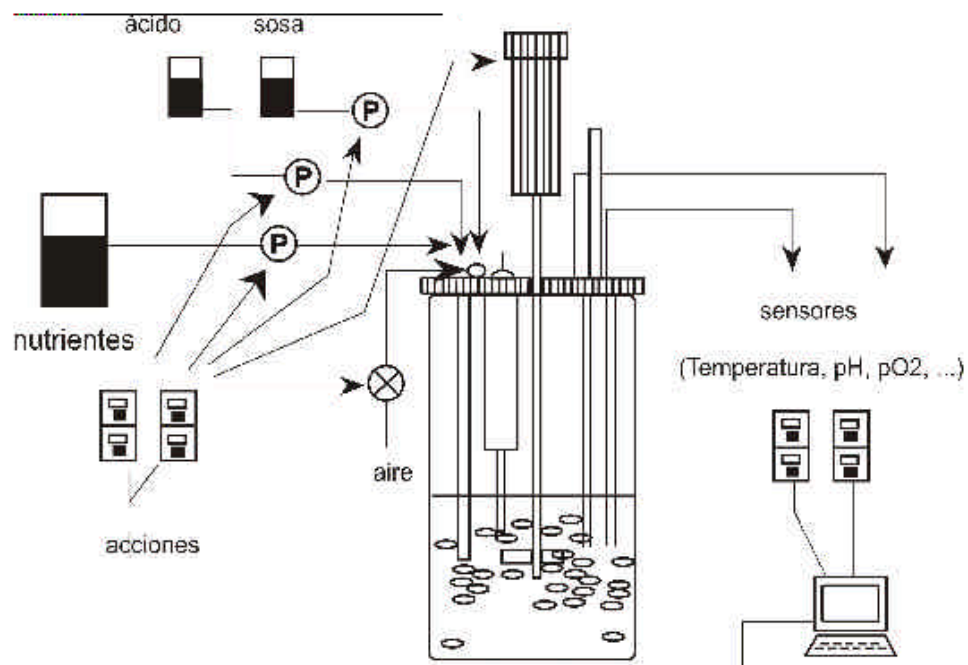
La fermentación alcohólica se considera como una transformación compleja, puesto que aparte de la reducción de la glucosa para obtener los principales productos (alcohol y dióxido de carbono), el microorganismo también debe utilizar la glucosa y los nutrientes para asegurar su crecimiento y reproducción, por lo tanto, para evaluar el rendimiento de la operación se deben considerar ambas actividades realizadas por el microorganismo. Para valorar el proceso se tienen en cuenta tres parámetros fundamentales según Vázquez & Dacosta (2007):

- Rendimiento biomasa/sustrato (Y_x/s): Representa a la cantidad de microorganismos producidos por cantidad de sustrato consumido.
- Rendimiento sustrato/producto (Y_p/s): Constituye la “cantidad de producto obtenido por cantidad de sustrato consumido”.
- Productividad (g/h/l): “Corresponde a la cantidad de etanol producido por unidad de tiempo y de volumen”. (Vázquez & Dacosta, 2007, p. 252)

Los rendimientos y la productividad obtenida dependen directamente del tipo de biorreactor seleccionado, de su funcionamiento así como de la tecnología que este emplea. El reactor que comúnmente se emplea consta de un tanque de doble pared fabricado en acero inoxidable, con un sistema de agitación que es controlado según los parámetros establecidos para el proceso, los cuales

dependen tanto del sustrato como del microorganismo que se decida emplear (Agrowaste, 2013a); este sistema de agitación es vital para asegurar la homogeneidad de la mezcla así como de conservar la transferencia de oxígeno y nutrientes, suele estar acoplado a una platina de acero inoxidable que cuenta con entradas y salidas para facilitar la alimentación de sustratos, nutrientes, catalizadores, ácidos o bases, la extracción de productos y la toma de datos (ver Figura 9).

Figura 9. Biorreactor para fermentación alcohólica



Fuente: (Vázquez & Dacosta, 2007, p. 253)

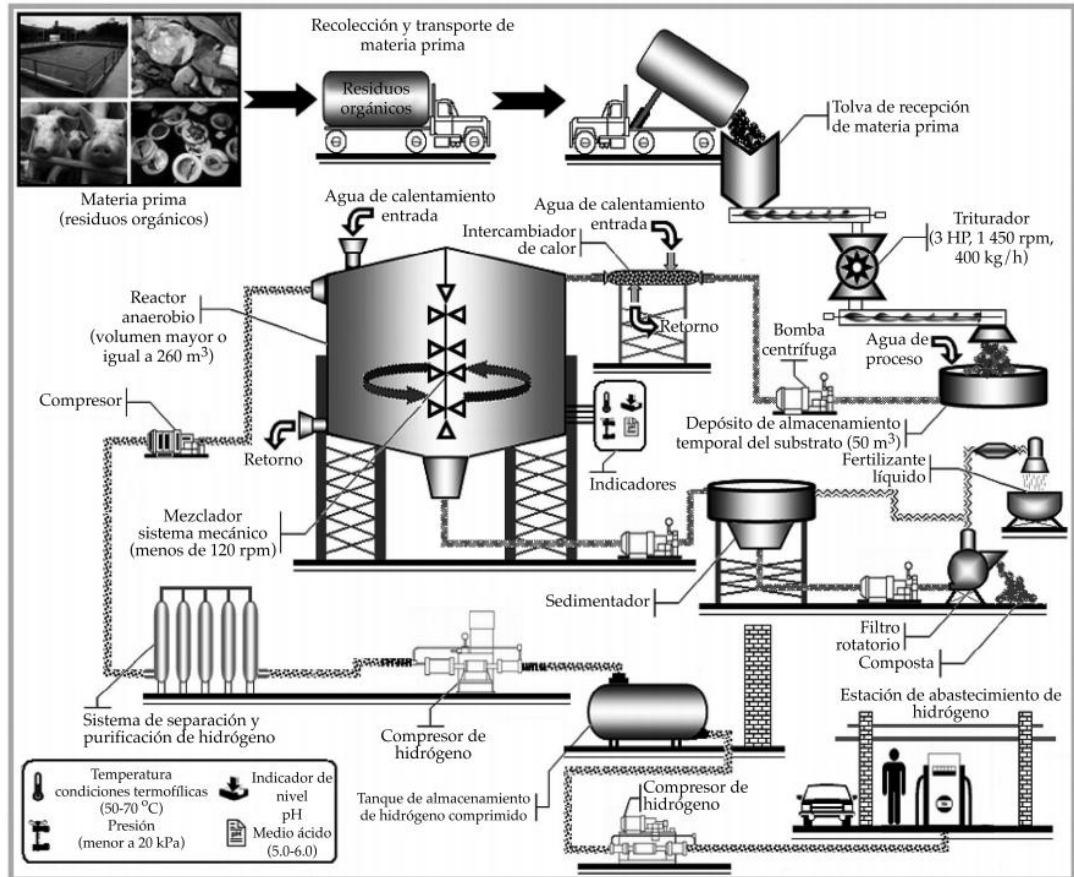
- Fermentación oscura: el interés por el hidrógeno como alternativa energética ha ido aumentando debido a que es renovable y limpio, posee un alto contenido energético y su combustión es amigable con el ambiente (Blanco & Rodríguez, 2012). Su proceso de obtención se puede llevar a cabo por medio de la fermentación oscura, por la acción de bacterias anaerobias (*Clostridium*) o anaerobias facultativas (*Enterobacter* y *Bacillus*) capaces de degradar sustratos orgánicos ricos en carbohidratos sin presencia de luz (Agrowaste, 2013b). El proceso da inicio con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos, los cuales permiten obtener compuestos más simples como la glucosa a partir del cual se obtiene ácido acético, H_2 y CO_2 (Blanco & Rodríguez, 2012); luego de esto se dan otras dos rutas metabólicas: la fermentación acidogénica (se transforma la materia orgánica en ácidos grasos volátiles) y la acetogénesis (se obtiene H_2 , CO_2

y ácidos grasos volátiles), una vez alcanzada esta etapa es necesario separar y purificar el gas hidrógeno, lo que normalmente se hace mediante membranas por permeabilidad y selectividad de gases (Agrowaste, 2013b).

La producción de biohidrógeno se puede ver afectada por factores asociados al ambiente, las condiciones de proceso, o razones químicas, a continuación se presentan los principales puntos a considerar según Blanco & Rodríguez (2012):

- Inoculo: en diversos estudios se ha evaluado la obtención de hidrógeno empleando cultivos puros (Solo bacterias productoras de H₂ como *Clostridium* y *Enterobacter*) y cultivos mixtos (bacterias de lodos anaerobios, lodos de plantas de tratamiento, compost y el suelo) evidenciándose que al momento de trabajar con cultivos mixtos se corre el riesgo de que el H₂ producido sea consumido, en estos casos se hace necesario realizar pretratamientos al inoculo para inactivar a las bacterias consumidoras de H₂.
- pH del cultivo: el pH adecuado para alcanzar la máxima conversión a H₂ se encuentra entre el rango de 4,5 a 6,0, optimizando la actividad de la hidrogenasa y las rutas metabólicas.
- Sustrato: actualmente existen muy pocos estudios en los que se haya empleado biomasa como sustrato para la fermentación oscura, sin embargo, para la selección de este sustrato se ha identificado que los mejores sustratos son ricos en glucosa, sacarosa y el almidón, siendo los alimentos con estructuras moleculares complejas los menos recomendados dado que dificultan su asimilación por parte de los microorganismos, requiriéndose en este caso pretratamiento como la ultrasonificación.
- Temperatura: este factor depende totalmente del microorganismo a emplear, por lo tanto es vital conocer sus especificaciones y clasificación. El rango puede variar entre los 15°C hasta los 60°C dependiendo si es un microorganismo mesofílico (25-30 °C) o termofílico (40-60 °C).
- En la Figura 10 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de fermentación oscura para la producción de hidrógeno a partir de residuos orgánicos incluyendo un sistema de separación y purificación PSA, ya que el producto obtenido es biogás compuesto por H₂, CO₂, CO, H₂S y en algunas oportunidades CH₄; dado esto se requiere de la separación del hidrógeno con el propósito de que sea apto para ser utilizado directamente.

Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de producción de hidrógeno mediante la técnica de fermentación oscura



Fuente: Blanco & Rodríguez (2012)

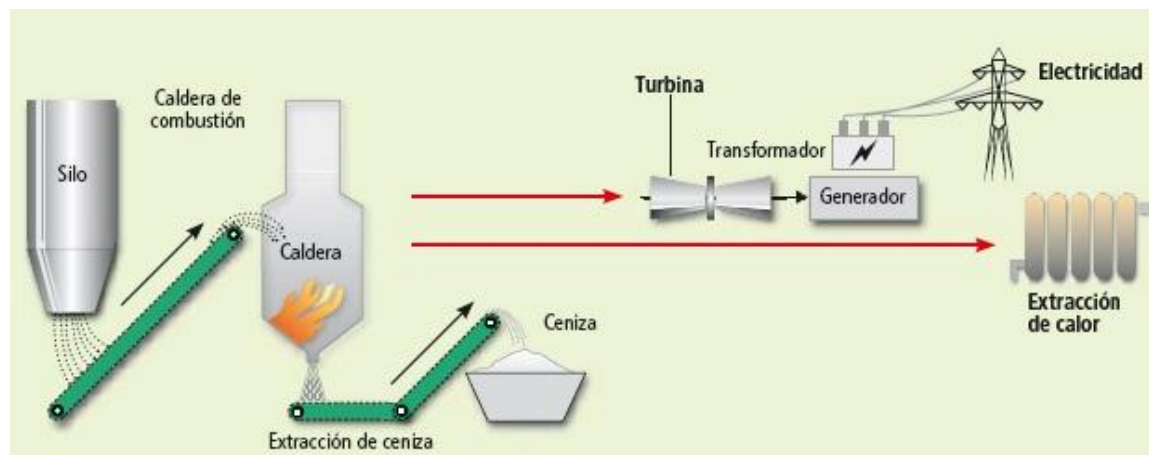
2.4 PROCESOS TERMOQUÍMICOS

Mediante la implementación de procesos termoquímicos es posible lograr mayores eficiencias que con los procesos químicos y biológicos, dado que se necesitan tiempos de reacción más cortos y presentan una alta capacidad de degradación con respecto a la mayoría de los compuestos orgánicos considerados como biomasa (Cukierman, 2016).

- La combustión: es un proceso en el cual se presenta una reacción de oxidación entre el carbono y el hidrógeno contenidos en la biomasa con el fin de obtener energía, CO_2 y Agua; el proceso se lleva a cabo a altas temperaturas (750 - 1400 °C) y con aire en exceso para asegurar la oxidación total del combustible

(Cukierman, 2016). La combustión se realiza tradicionalmente de manera doméstica para la cocción de alimentos y en la calefacción de los hogares, a nivel industrial se emplea para suministrar calor y adicionalmente si se requiere se puede proveer de vapor a los diferentes procesos mediante la transformación del calor generado en energía mecánica o eléctrica con la ayuda de equipos como las turbinas de vapor (Cukierman, 2016); esto se conoce como procesos de cogeneración en los que es posible aprovechar el calor y la energía de manera simultánea (ver Figura 11).

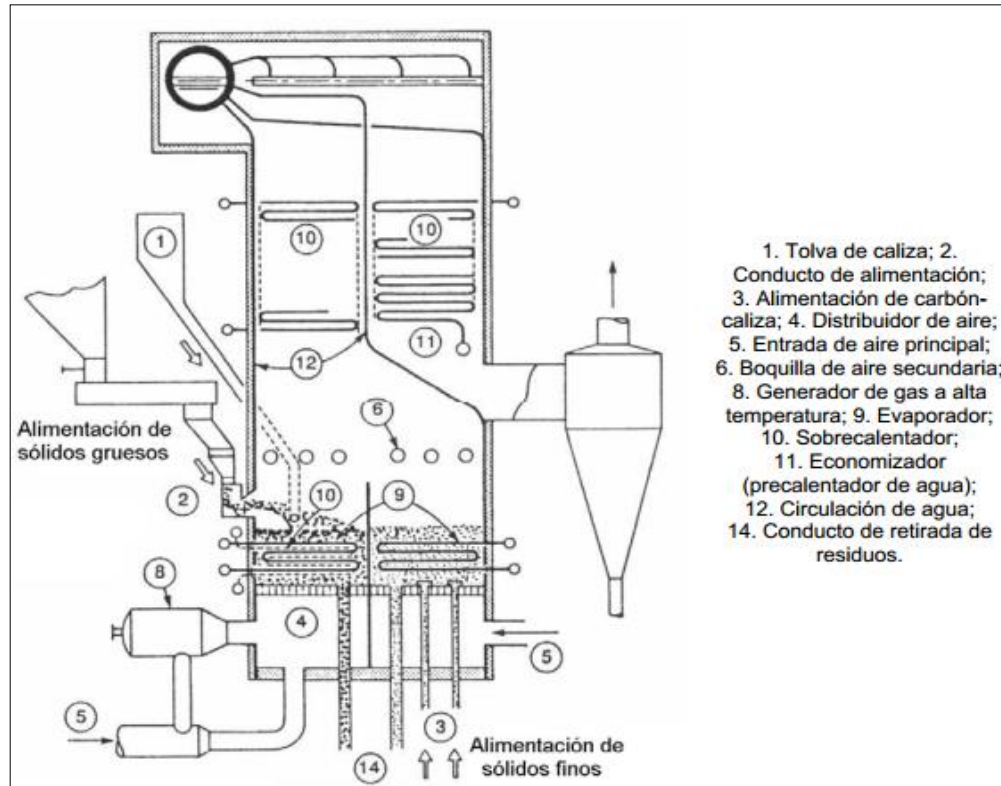
Figura 11. Proceso de combustión con cogeneración



Fuente: (Incomimex, 2014, párr. 4)

Entre las tecnologías empleadas para la combustión se encuentran las tradicionales calderas de lecho fijo o parrilla, que consta de unas placas inclinadas que pueden ser vibratorias para facilitar la circulación de la biomasa a medida que esta se va quemando, de forma tal que los residuos se logren depositar en el colector de cenizas. A su vez está un segundo equipo que presenta rendimientos más altos y tiene mayor facilidad de operación, control y mantenimiento, este es la caldera de lecho fluidizado (ver Figura 12) con la cual se mantiene en suspensión las partículas de combustible junto con las cenizas y un material inerte (arena) que permite mitigar los cambios de temperatura que se pueden dar a causa de las variaciones de humedad y/o contenido de la biomasa (Romero, s.f.), resultando más eficientes y adecuados para operaciones de carácter industrial.

Figura 12. Caldera de lecho fluidizado



Fuente: (Atmosferis.com, 2012, párr. 4)

Para la combustión en lecho fluidizado se presentan dos tipos de tecnologías: la primera desarrollada a presión atmosférica para la cual se emplea el lecho burbujeante o el lecho fluido circulante, y la segunda se da a presiones por encima de la atmosférica y se realiza en lechos de fluido presurizado.

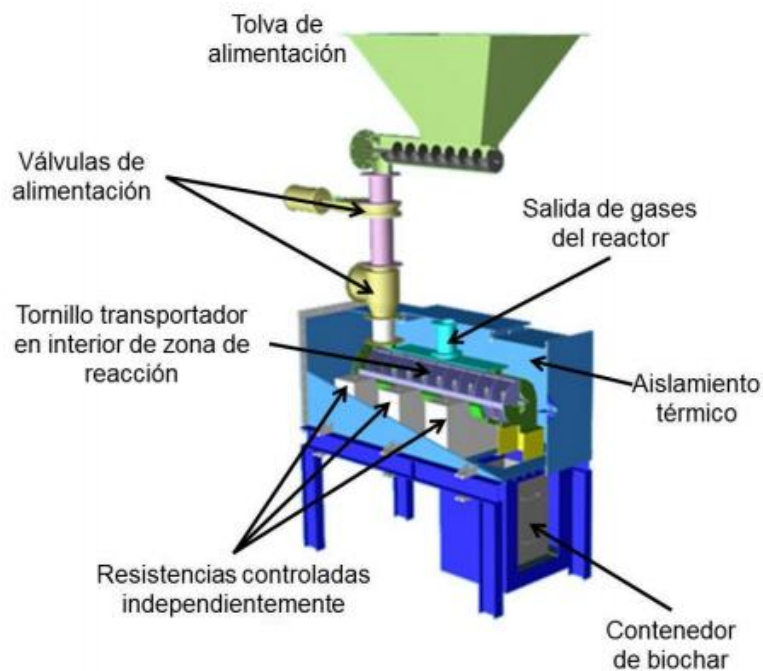
- Pirólisis: es un proceso endotérmico mediante el cual se realiza degradación de la biomasa en una atmósfera con ausencia de oxígeno o con un suministro muy reducido y bajo acción de la temperatura la cual puede ser baja (< 550°C), media (550 °C - 800°C) o alta (800 °C - 1000°C) según los requerimientos del producto a obtener (Agrowaste, 2013c).

Durante la pirolisis se obtienen tres productos cuya cantidad y proporción dependen de las condiciones que se lleven en el proceso, en especial de la temperatura final y la velocidad de calentamiento, estos tres productos corresponden a un sólido, un líquido y un gas. El sólido carbonoso también conocido como char o bio-charal se obtiene en mayor proporción cuando se opera

a bajas velocidades de calentamiento con temperaturas medias y tiempos de residencia altos; por otro lado, cuando el proceso se lleva a cabo a altas velocidades de calentamiento, a temperaturas bajas y tiempos de residencia de 2s se favorece la obtención de líquido hidrocarbonado (bio-oils) (Maldonado, 2014). El tercer producto son gases combustibles que se obtienen mediante pirólisis súbita la cual se da a altas temperaturas y tiempos cortos de residencia y con lo que es posible obtener un 60% de gas rico en hidrógeno.

En la Figura 13 se observa la planta de pirólisis del Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad (IRENA) ubicado en la ciudad de León en España, el reactor está conformado por un horno tubular horizontal para el tratamiento de residuos con bajo contenido en humedad, el cual se calienta gracias a la acción de tres resistencias de 0,0028 MW cada una, las que a su vez disponen de un contador para variar la temperatura y contabilizar la energía acumulada que se proporciona al reactor; todo con el fin de evitar la entrada de aire. La alimentación se realiza de forma semi-continua a través de una tolva y de 2 válvulas que se abren de forma secuencial y que permiten el paso del alimento hacia el reactor mediante un tornillo sinfín (Rosas, 2015).

Figura 13. Esquema del reactor de pirólisis a escala planta piloto del IRENA

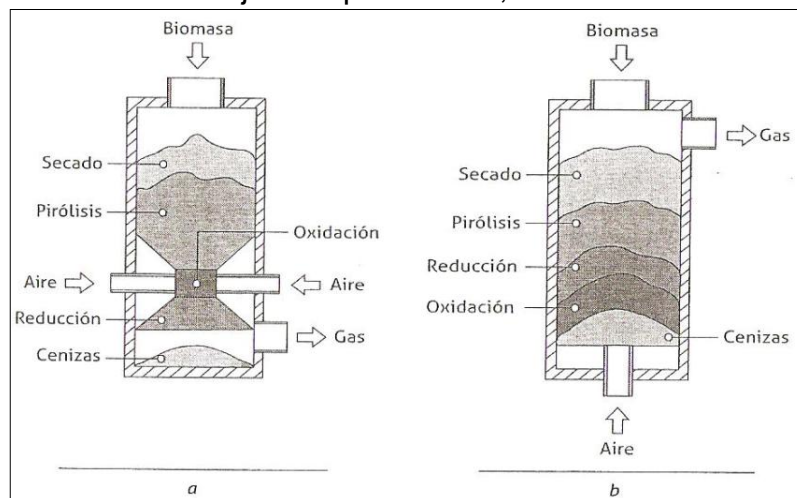


Fuente: (Rosas, 2015, p. 74)

- **Gasificación:** durante este proceso se obtiene un gas de síntesis conocido como “syngas” el cual puede ser utilizado en calderas, turbinas, motores, etc., para la generación de calor y energía. Para iniciar la gasificación se parte del char obtenido en la pirólisis, el cual se debe mantener a temperaturas entre los 800°C y 1400 °C en presencia de un agente gasificante (Aire, O₂, H₂); bajo estas condiciones se da inicio a reacciones homogéneas y heterogéneas produciéndose la oxidación parcial del char y alcanzando la obtención de la mezcla final de gases (Maldonado, 2014).

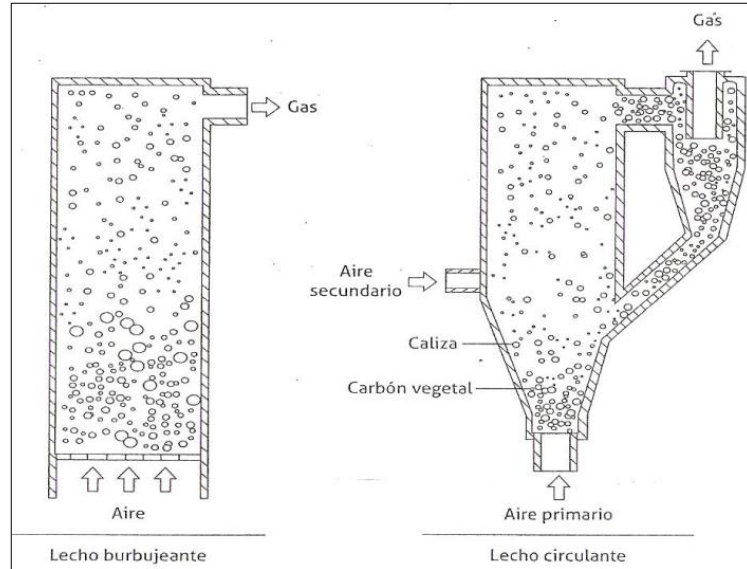
En la gasificación el tipo de reactor que se utiliza define en gran parte la composición y calidad del gas, asimismo el tipo de reactor seleccionado depende del tipo de biomasa que se va a trabajar (Maldonado, 2014), los reactores más utilizados a pequeña escala son los updraft y los downdraft, y a nivel industrial los de lecho fluidizado. Los reactores updraft pueden ser de lecho fijo (ver Figura 14) o móvil y funcionan con circulación en contracorriente, pese a que se logran altas eficiencias también se evidencian elevados contenidos de alquitrán en el gas resultante; este inconveniente no se ve reflejado en los reactores downdraft, los cuales, a pesar de trabajar con una configuración similar, funcionan con la circulación del combustible y el agente gasificante en el mismo sentido. Finalmente están los reactores de lecho fluidizado (ver Figura 15), en este tipo de reactor la biomasa que funciona como combustible se encuentra en suspensión junto con un inerte permitiendo que ocurra la gasificación hasta que las partículas se reducen a cenizas volátiles, este sistema de gasificación es más versátil que los anteriores al no depender de las características del combustible a excepción del tamaño de la partícula, por demás, permiten una correcta transferencia de masa y energía lo que les permite altos niveles de reacción y temperaturas más constantes (Pérez & Osorio, 2014).

Figura 14. Reactor de lecho fijo a. Equicorriente; b. Contracorriente



Fuente: (Pérez & Osorio, 2014, p.36)

Figura 15. Reactores de lecho fluidizado



Fuente: (Pérez & Osorio, 2014, p.37)

En la Tabla 4 se presenta un comparativo para las tecnologías de gasificación de biomasa de lecho fijo y de lecho fluidizado, puesto que son los reactores más utilizados para procesos de generación de energía eléctrica en condiciones de operación autotérmicas entre bajas y medias potencias (Pérez & Osorio, 2014).

Tabla 4. Comparación entre las tecnologías de gasificación de biomasa lecho fijo vs. Lecho fluidizado

Característica o función	Gasificador de lecho fijo	Gasificador de lecho fluidizado
Número de fases involucradas	1 gas + 1 sólido correspondiente a cada combustible involucrado.	2 gases (emulsión de gas y burbujas) + 1 sólido correspondiente a cada combustible involucrado.
Velocidad superficial del gas	Relativamente baja o por debajo de la mínima de fluidización.	Por encima del mínimo de fluidización y por debajo del límite de transporte neumático
Pérdidas de presión en el lecho	Aumenta cuando incrementa la velocidad superficial.	Permanece constante dentro del rango de fluidización.
Temperatura promedio en el equipo	Varía significativamente y pasa por picos extremos.	Casi constante y el promedio es más bajo que los picos observados en lecho móvil.
Concentración de alquitranes en la corriente de gas producido	Alta para equipos en contracorriente porque la devolatilización se da en cercanías a la salida del gas. Baja para equipos equicorriente, porque la devolatilización ocurre antes de que los gases pasen a través de la zona de combustión.	Muy baja, debido a que la devolatilización sucede dentro del lecho. Esto también asegura la destrucción de los alquitranes mediante craqueo.

Tabla 4. (Continuación)

Característica o función	Gasificador de lecho fijo	Gasificador de lecho fluidizado
Flexibilidad en cuanto a calidad de materia prima	De moderada a baja. Las limitaciones halladas son debido a las mínimas concentraciones de carbón necesarias en la zona de combustión. Esto es más crítico para equipos atmosféricos operados con aire.	Alta. El lecho opera a temperaturas relativamente bajas, las cuales se pueden lograr usando materias primas de bajas concentraciones de carbón. De hecho, las concentraciones promedio de carbón en el lecho son de 2 a 5 %.
Control	De moderado a bajo. Los contracorrientes tienen buen nivel de control, pero alto tiempo de respuesta. Gasificadores piloto tardan alrededor de 1 hora para estabilizar; a escala industrial, 8 horas. Los equicorrientes tienen grandes dificultades para mantener un perfil de temperatura uniforme en la zona de combustión.	Alto. Los lechos operan a temperaturas bajas y uniformes. Además, el tiempo de respuesta es bajo para una amplia variedad de tamaños. La razón básica de esto es la amplia tasa de mezclado entre los sólidos y los gases dentro del lecho.
Riesgos de operación	Moderado, principalmente por la posibilidad de interrupciones causadas por bloqueos debidos a las altas temperaturas en la zona de combustión, las cuales pueden superar los niveles de fusión de la ceniza. Los bloqueos también pueden ser causados por los alquitranes actuando como delimitadores entre las partículas en la región de devolatilización.	Moderado a bajo. Debido a que problemas de colapso del lecho pueden ocurrir por temperaturas altas localizadas. Tales temperaturas pueden superar la temperatura de fusión de la ceniza.
Eficiencia en frío	Relativamente alta. Si los alquitranes no se consideran como combustible útil, la eficiencia disminuye. Rendimientos del 70% son comunes para gasificadores atmosféricos que usan aire.	Moderado para gasificadores atmosféricos que usan aire como agente oxidante. Valores de aproximadamente 60% son más comunes para equipos atmosféricos con aire. Para equipos presurizados que usen oxígeno, es posible alcanzar valores del 70%.
Eficiencia en caliente	Alta (alrededor del 80%).	Moderada (60%) a alta (85%), este último valor para gasificadores presurizados.
Potencia de salida máxima/mínima	Moderada, o alrededor de 2/1.	Alta, o alrededor de 4/1.
Costo del capital	Moderado. Algunos cuidados deben ser tomados con el dispositivo de remoción de ceniza y del material cercano a la zona de combustión.	Bajo para altas potencias (>10 MWe), debido a la temperatura relativamente baja y uniforme dentro del lecho.

Fuente: elaboración propia con base en (Pérez & Osorio, 2014)

- **Torrefacción:** suele llevarse a cabo antes de iniciar otros procesos de transformación de la biomasa en los que se requieran bajas humedades, todo el proceso se lleva a cabo en un ambiente anóxico, a presión atmosférica y temperaturas que oscilan entre los 200°C y los 300°C con el objetivo de obtener biomasa con una relación O/C (relación entre el contenido de oxígeno y el contenido de carbono) menor que la inicial, lo cual le permite generar un aumento del poder calorífico, así como también se disminuye el contenido de humedad y de elementos volátiles que puedan estar presentes en la biomasa, confiriéndole una mayor densidad, estructura menos fibrosa y un comportamiento hidrofóbico que facilita los posteriores trabajos de transporte, almacenamiento y procesamiento (Cukierman, 2016).

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre las tecnologías estudiadas en el cual se presentan diferentes parámetros de relevancia para la aplicación de cada proceso, durante la preparación de la Tabla 5 se pudo observar que las alternativas de Compactación, Secado y Torrefacción aplican más como pretratamiento que como tratamiento en sí, dado que son procesos mediante los cuales se acondiciona la biomasa mejorando sus características para luego ser sometidas a procesos más tecnificados.

Tabla 5. Cuadro comparativo tecnologías de aprovechamiento energético

Tecnología	Características biomasa	Inversión	Infraestructura	Tratamientos preliminares	% Humedad requerida	P	T (°C)	Tiempo de residencia	Rendimiento	Otros Fact.	Madurez Tec.	Des. Sostenible	Referencias
Compactación	De preferencia se emplea biomasa forestal para asegurar la homogeneidad del pélet.	Media	Media	Triturado Homogenizado secado	5 - 20 %	1973,85 atm	100-150	-	-	-	TRL 8	No genera residuos ni emisiones a la atmósfera.	(López, Pérez, Cuadros, & Ruiz, 2010), (García, 2016), (Lippel, s.f.)
Secado	Todo tipo de biomasa sin precisar su origen.	Media	Media	Homogenización	Alta y baja humedad	P. atm	70 - 150	-	-	Según el tipo de secado se requiere gran tamaño de las instalaciones de tratamiento de olores.	TRL 8	Dependiendo del tipo de secado genera olores molestos.	(Agrowaste, 2013e)
Transesterificación	Plantas oleaginosas, biomasa con alto contenido de aceites (lípidos o triglicéridos).	Medio - alto	Media - Compleja	Extracción de aceites, Refinado de aceites	Baja humedad	P. atm	50 - 100	0.5 - 2 h	70 %	-	TRL 7	No genera residuos ni emisiones a la atmósfera.	(SafeCreative, 2012) (Nogués, García, & Rezeau, 2010b), (Benjumea, Agudelo, & Cano, 2004), (Evangelista, et al., 2014)
Síntesis Fischer-Tropsch	Biomasa con relación C:N elevada, y un contenido en humedad inferior al 40%.	Alta	Compleja	Triturado Homogenizado Secado	Baja humedad	14,8 a 39,5 atm	200 - 352	17 H	75 - 80 %	-	TRL 6	No genera residuos ni emisiones a la atmósfera.	(Teribia, 2016), (Sánchez, N., 2014), (García J., s.f.), (Díaz, 2014), (Hernández & Rodulfo, 2013), (Damien, 2010)

Tabla 5. (Continuación)

Tecnología	Características biomasa	Inversión	Infra-estructura	Tratamientos preliminares	% Humedad requerida	P	T (°C)	Tiempo de residencia	Rendimiento	Otros Fact.	Madurez Tec.	Des. Sostenible	Referencias
Biometanización	Residuos de alto contenido en humedad, pH 6,6 - 7,6, con relación C:N elevada, Biomasa azucarada, celulósica.	Bajo - Medio	Simple-Media	Adecuación tamaño de partícula	Alta humedad	P. atm	15 -60	20-30 DIAS	70 - 99 %	Difícil mantener la estabilidad del proceso.	TRL 8	Reduce los problemas de olores. Disminución de la emisión evitando el deterioro de la capa de ozono.	(SafeCreative, 2012), (Alkalay, s.f.), (Nogués, et al., 2010b), (Vamero, 2011), (Agrowaste, 2013f), (Lietti, s.f.), (Arribas, Rodríguez, & Vázquez, 2005)
Fermentación alcohólica	Biomasa azucarada, amilácea, celulósica.	Regular	Media	Triturado Homogenizado Secado	Alta humedad	P. atm	20 - 40	8 - 45 H	50 - 97 %	-	TRL 7	Bajo nivel de emisiones.	(Agrowaste, 2013a), (SafeCreative, 2012), (Alkalay, s.f.), (Unad, s.f.), (Padín & Díaz, 2009), (Abril & Navarro, 2012), (Vázquez & Dacosta, 2007).
Fermentación oscura	Compuestos orgánicos ricos en carbohidratos, máximo con pH 5 - 6.	Regular	Media	Secado, trituración, ultrasonificación, acidificación, la congelación y descongelación, esterilización y las microondas.	Alta humedad	P. atm	15 -60 (Según el microorganismo)	3 DIAS	60 - 80 %	Es un proceso complejo principalmente por la termodinámica de las reacciones.	TRL 6	No genera residuos ni emisiones a la atmósfera.	(Agrowaste, 2013b), (Juárez & Castro, 2013), (Bedoya, Castrillón, Ramírez, Vázquez, & Arias, 2008), (Morales, Rizo, Hernández, & Dávila, 2015), (Escapa, 2011)

Tabla 5. (Continuación)

Tecnología	Características biomasa	Inversión	Infra-estructura	Tratamientos preliminares	% Humedad requerida	P	T (°C)	Tiempo de residencia	Rendimiento	Otros Fact.	Madurez Tec.	Des. Sostenible	Referencias
Combustión	<p>Biomasa de baja humedad, densidad y tamaño.</p> <p>La biomasa lignocelulósica (residuos agrícolas y forestales) es la más apropiada.</p>	Medio - alto	Media	Triturado Homogenizado Secado.	Baja humedad (SafeCreative, 2012).	P. atm	750 - 1400	3.14 - 6.66 SEG	20 - 95 %	<p>Demanda de mantenimientos frecuentes para realizar limpieza.</p> <p>Requiere un flujo constante de alimentación.</p>	TLR 9	<p>Se vierten gases CO₂ y ceniza de combustión a la atmósfera aunque son tratados generan molestias en la comunidad.</p>	(SafeCreative, 2012), (Plantasdebiomasa, s.f.), (Carrasco, 2007), (Sánchez, l. 2014), (González, et al., 2015), (Agrowaste, 2013g), (Morales & Barriga, 2009), (FAO, s.f.) (IDAE, 2008)
Pirólisis	<p>Biomasa de baja humedad, densidad y tamaño</p> <p>La biomasa lignocelulósica (residuos agrícolas y forestales) es la más apropiada</p>	Medio - alto Requiere una alta inversión para la instalación.	Media	Triturado Homogenizado Secado	Baja humedad (SafeCreative, 2012).	P. atm	baja (< 550°C), media (550 °C - 800°C) o alta (800 °C - 1000°C)	<10 s - días	75 %	<p>Se requiere de un proceso de refinado.</p> <p>Requiere operaciones de mantenimiento para las cenizas.</p>	TRL 7	<p>Disminución de emisiones a la atmósfera por ser un proceso cerrado</p> <p>No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, los que se producen en la combustión.</p>	(Agrowaste, 2013c), (SafeCreative, 2012), (Giraldo & Montoya, 2015), (Alkalay, s.f.), (Machado, 2010)

Tabla 5. (Continuación)

Tecnología	Características biomasa	Inversión	Infra-estructura	Tratamientos preliminares	% Humedad requerida	P	T (°C)	Tiempo de residencia	Rendimiento	Otros Fact.	Madurez Tec.	Des. Sostenible	Referencias
Gasificación	Biomasa con relación C:N elevada y un contenido en humedad inferior al 40%.	Regular	Media	Triturado Homogenizado Secado	Baja humedad	P. atm / > 40 bar	(400 - 500 °C) - (800 - 1400 °C)	Aprox 4 h	70 - 90 %	Existe riesgo de explosión-	TRL 7	No existe descarga de gases a la atmósfera No hay emisiones contaminantes nitrogenados, sulfurados o partículas sólidas	(SafeCreative, 2012), (Teribia, 2016), (Alkalay, s.f.), (Sánchez, l. 2014), (Damien, 2010), (Agrowaste, 2013d), (Maya, 2012)
Torrefacción	Se puede torrefactar todo tipo de biomasa sin precisar su origen.	Regular	Media	Homogenizar	-	P. atm	200 - 300	-	-	-	TRL 7	No genera residuos ni emisiones a la atmósfera.	(Damien, 2010), (López, et al., 2010), (Trasobares, 2011), (Arteaga, Segura, & Diéguez, 2016)

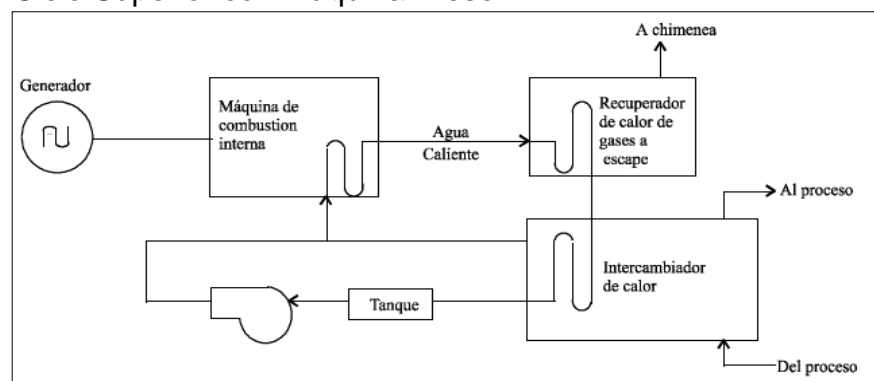
Fuente: elaboración propia con base en (Damien, 2010; Agrowaste, 2013a; Agrowaste, 2013c; Agrowaste, 2013d; López, et al., 2010; Escapa, 2011)

Una de las disyuntivas a la hora de trabajar con las diferentes alternativas para la obtención de bioenergía es decidir si se procede a generar vapor para los procesos o si se produce energía. En estos casos se puede decidir trabajar un proceso de cogeneración mediante el cual se genere de manera simultánea energía eléctrica y energía térmica a fin de suministrar calor a los procesos y reducir el consumo de proveniente de la red local (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, s.f.).

Dependiendo del origen de la fuente de energía primaria se pueden dar dos configuraciones mediante las cuales es posible realizar la cogeneración (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, s.f.):

- Ciclo Superior: en este sistema la fuente de energía primaria se emplea para producir inicialmente energía eléctrica, y la energía térmica restante es suministrada como calor a la planta industrial (ver Figura 16) (Grupo de Gestión Eficiente de Energía, KAI; Grupo de Investigación en Energías, GIEN, s.f.).

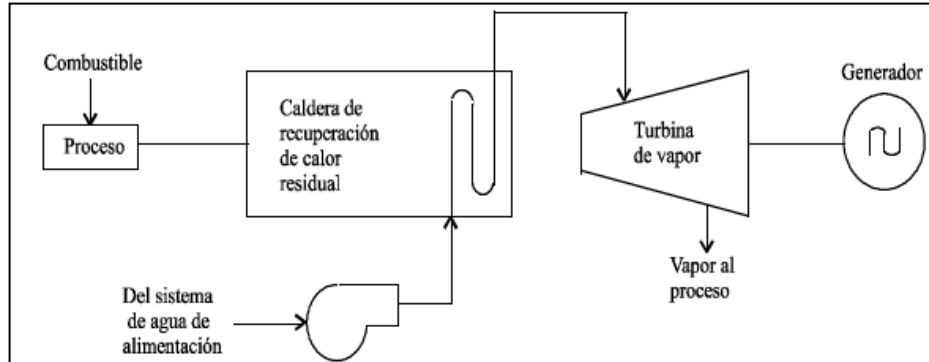
Figura 16. Ciclo Superior con Máquina Diesel



Fuente: (Grupo de Gestión Eficiente de Energía, KAI; Grupo de Investigación en Energías, GIEN, s.f., p. 3).

- Ciclo Inferior: como primera etapa del proceso se utiliza la energía primaria para la producción de energía térmica, y el residual de esta se emplea en la generación de energía eléctrica como se evidencia en la Figura 17 (Grupo de Gestión Eficiente de Energía, KAI; Grupo de Investigación en Energías, GIEN, s.f.).

Figura 17. Ciclo Inferior con Turbina de Vapor



Fuente: (Grupo de Gestión Eficiente de Energía, KAI; Grupo de Investigación en Energías, GIEN, s.f., p. 3).

El aprovechamiento de calor y electricidad que se producen de manera simultánea en la cogeneración posibilita el aprovechamiento eficiente de la energía permitiendo que sus inversionistas sean más competitivos en el mercado y adicionalmente practiquen el uso racional y limpio de energía (Grupo de Gestión Eficiente de Energía, KAI; Grupo de Investigación en Energías, GIEN, s.f.); garantizando la disminución de las emisiones contaminantes, reduciendo costos debido al aprovechamiento de sus propios residuos y minimizando la compra de combustibles y energía.

Un gran ejemplo de sus beneficios se puede observar en Colombia a través del sector azucarero, en donde los ingenios desde hace años emplean turbogeneradores generando su propia electricidad a partir del bagazo de la caña de azúcar, logrando una eficiencia energética de la mano de nuevas tecnologías y alcanzando una producción superior a los requerimientos del proceso lo que abrió la posibilidad de la venta de sus excedentes a la red nacional (Asocaña, 2015). Este tipo de procesos no están diseñados exclusivamente para grandes empresas dado que pese a las inversiones que se requieren le es factible a los pequeños agricultores acceder a estos mediante la cooperación entre ellos.

En el mismo sector azucarero se encuentra el caso de los pequeños cañicultores vallecaucanos, quienes para el 2015 iniciaron un proyecto mediante el cual exploraron la cogeneración por medio de la adquisición de pequeñas plantas móviles cuya inversión se realizó en grupo, dado que de esta manera podían asegurar no solo el dinero requerido para la compra de la planta sino también la cantidad de residuos necesarios para operarla y generar hasta 5 megas (Redacción El Tiempo, 2015); esto evidencia que la producción de energía mediante residuos orgánicos procedentes de la agroindustria es viable tanto para los grandes industriales como para los pequeños productores. Se podría decir que los únicos requisitos son asesorarse correctamente, conocer la clase y cantidad de los residuos generados, y tener muchas ganas de incursionar en un nuevo campo que beneficiará al planeta, a la industria y a ellos mismos.

3. DIAGNÓSTICO DEL SUBSECTOR DE FRUTAS Y VERDURAS EN COLOMBIA

Colombia es uno de los países que tiene la fortuna de estar ubicado en zona tropical, lo que le confiere una variedad de pisos térmicos apropiados para garantizar una vasta producción agrícola y pecuaria siendo uno de los sectores de la industria que más aporta a la economía nacional; en el país se siembran alrededor de 95 tipos de frutas y 42 clases de hortalizas brindando una gran contribución al sector agroindustrial el cual para el 2011 generó un aporte del 9% del PIB nacional (Sociedad de Agricultores de Colombia, 2012).

Según el reporte de ASOHOFRUCOL (Asociación Hortofrutícola de Colombia) entregado en enero de 2014, tras realizar un balance económico del sector entre el 2008 y el 2013 se evidenció que el área sembrada con frutas y verduras presentó un incremento anual del 2,5 %, una tasa muy similar a la presentada por los balances de producción en donde la tasa de crecimiento fue del 2,9%; lo que resulta bastante alentador para este subsector que en el 2013 alcanzó una participación del 46,2% en el sector agrícola (Asohofrucol, 2014).

Como se observa en la Tabla 6, entre los cultivos más representativos se encuentran el plátano, la papa, el tomate, los cítricos, y la piña; de los cuales, los dos primeros tienen una participación del 51 % de la producción nacional, principalmente porque son cultivos que se producen durante todo el año a diferencia de los demás (Asohofrucol, 2014).

Tabla 6. *Principales líneas productivas en 2013**

Producto	Producción (miles ton)	Participación (%)
Plátano	3.127	25,70%
Papa	3.093	25,50%
Tomate	709	5,80%
Piña	510	4,20%
Mango	280	2,30%
Aguacate	275	2,30%
Zanahoria	244	2,00%
Naranja	244	2,00%

*2013 proyectado (excluyendo banano).

Fuente: (Asohofrucol, 2014)

Cundinamarca, Boyacá y Antioquia son los departamentos que mas producción de frutas y verduras presentan, jugando un papel muy importante en el abastecimiento de las diferentes regiones del país, este hecho se presenta debido

a que son zonas con amplios territorios y con una cultura agrícola definida; como se indica en la tabla 7, les sigue el departamento de Nariño debido al impacto que han tenido los cultivos de papa y plátano en este territorio (Asohfrucol, 2014).

Tabla 7. Principales departamentos productores de frutas y hortalizas en 2013*

Departamento	Producción (miles ton)	Participación (%)
Cundinamarca	2.013	16,6%
Boyacá	1.362	11,2%
Antioquia	1.174	9,7%
Nariño	1.086	8,9%
Santander	841	6,9%
Valle del Cauca	721	5,9%
Meta	502	4,1%
Tolima	454	3,7%
Demás	3.997	32,9%
TOTAL	12.151	

*2013 proyectado.

Fuente: (Asohfrucol, 2014)

Si bien este subsector ha sufrido de un impulso que ha favorecido su crecimiento, también es cierto que hay bastantes factores que disminuyen las ganancias de los productores en especial a los de pequeña escala. Las pérdidas de alimentos que se generan durante las diferentes etapas de la cadena agroindustrial son responsables en gran medida del desbalance económico que aqueja este subsector, obedeciendo a diversas razones como el clima, plagas, malas prácticas productivas, déficit en tecnología, entre otros (DNP, 2016).

Según la FAO, a nivel mundial no se llegan a consumir la totalidad de alimentos producidos y procesados por dos motivos: los desperdicios y las pérdidas; para efectos de este estudio se centra la atención en el balance de pérdidas debido a que los desperdicios son generados en las etapas de distribución, retail, y consumo, mientras que las pérdidas se generan por ineficiencias en la cadena productiva en las etapas de producción, poscosecha, almacenamiento y procesamiento industrial (FAO, 2017). Según el último estudio del Departamento Nacional de Planeación (DNP) para el 2015 en Colombia los productos que representan mayor porcentaje de pérdida fueron las frutas y verduras con un total de 4'381.224 toneladas equivalentes al 70,4 % del total de pérdidas del grupo de alimentos, como se evidencia en la Tabla 8, para realizar dichas estimaciones el DNP realizó un trabajo de campo con los gremios y representantes del sector como Asohfrucol, Corabastos, Fedearroz, Induarroz y Fedepapa: igualmente emplearon las definiciones que dicta la FAO en cuanto a las pérdidas en cada una de las etapas productivas (FAO, 2017) .

Tabla 8. Toneladas perdidas de alimentos en Colombia, año 2015

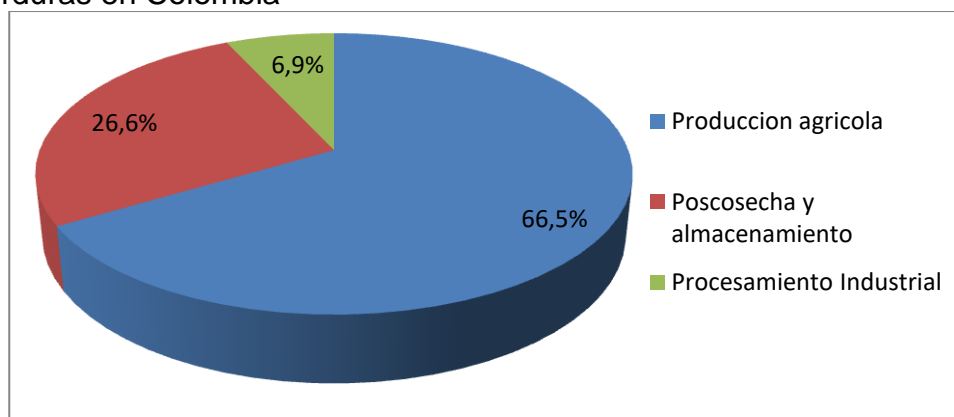
Producto/cadena	Pérdidas (Ton)			
	Producción agrícola	Poscosecha y almacenamiento	Procesamiento Industrial	% de participación
Lácteos	4.365	4.814	1.155	0,2%
Frutas y vegetales	2.913.048	1.165.219	302.957	70,4%
Cárnicos	128.318	25.221	10.318	2,6%
Raíces y tubérculos	780.149	670.928	11.490	23,5%
Oleaginosos y legumbres	5.119	2.406	N.D	0,1%
Pescados	9.006	7.450	N.D	0,3%
Cereales	111.861	51.456	16.444	2,9%

Fuente: Adaptado de (DANE, 2015)

La FAO (2011) define las pérdidas durante la producción agrícola como aquellas generadas por daños mecánicos, por factores climáticos y/o derrames que se dan durante las operaciones de cosecha, en cuanto a la poscosecha y almacenamiento se consideró que las pérdidas se dan debido a derrames o degradación en las etapas de manipulación, acopio y transporte, finalmente definen las pérdidas durante el procesamiento industrial como aquellas generadas por derrame o degradación durante el procesamiento como por ejemplo durante las producciones de jugos (DNP, 2016).

Basados en los datos proporcionados por el DNP se logró determinar que del total de pérdidas que se presenta en el subsector de frutas y verduras en Colombia, el 66,5 % se presenta durante la etapa de producción agrícola, el 26,6% en la etapa de poscosecha y almacenamiento y el 6,9% se da durante el procesamiento industrial (ver Figura 18).

Figura 18. Distribución de pérdida por etapa de la cadena productiva para frutas y verduras en Colombia



Fuente: Adaptado de (DANE, 2015)

Buscando determinar de manera más objetiva las pérdidas en las principales líneas productivas, se trabajó con los resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria para el 2015 emitidos por el DANE para los cultivos de plátano, papa, tomate, limón, piña, mango, aguacate, zanahoria y naranja en los 8 principales departamentos productores; para efectos del cálculo de las pérdidas presentadas en las tablas de la 10 a la 17 se trabajó con la metodología utilizada por el DNP (DANE, 2015), en la cual se emplearon los datos de producción y porcentaje de pérdida en Colombia para Frutas y Vegetales, siguiendo las fórmulas que se muestran a continuación y empleando los datos de la tabla 9 que presenta los porcentajes de pérdida para calculados por el DNP los cuales se obtuvieron gracias al trabajo de campo con los principales gremios del país y son necesarios para el desarrollo de la metodología.

Tabla 9. *Porcentajes de pérdida para Colombia cálculo DNP*

Grupo de alimentos	Producción agropecuaria	Poscosecha y almacenamiento	Procesamiento industrial
Frutas y vegetales	20	10	13

Fuente: (DANE, 2015)

$$AP_{PA,t} = \frac{\% \text{ pérdida } PA_{i,t}}{1 - \% \text{ pérdida } PA_{i,t}} \cdot ProdCH_{i,t}$$

$$AP_{PC,t} = \% \text{ pérdida } PC_{i,t} \cdot ProdCH_{i,t}$$

$AP_{PA,t}$ = Alimentos perdidos en producción agropecuaria en el periodo t .

$\% \text{ pérdida } PA_{i,t}$ = Porcentaje de pérdida en la producción agropecuaria del producto i , en el periodo t .

$\% \text{ pérdida } PC_{i,t}$ = Porcentaje de pérdida en poscosecha/almacenamiento del producto i , en el periodo t .

$ProdCH_{i,t}$ = Producción destinada a consumo humano del producto i , en el periodo t .

Cabe aclarar que en las siguientes tablas solo se presentan los datos para los siguientes departamentos: Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Nariño, Santander, Valle del Cauca, Meta y Tolima; en los cultivos en los que no se evidencie alguno de los anteriores se debe a que la producción es equivalente a cero.

Tabla 10. *Producción y pérdida del cultivo de plátano según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria *	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento *
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	251.776	62.943,9	25.177,6
Boyacá	7.090	1.772,6	709,0
Cundinamarca	12.226	3.056,6	1.222,6
Meta	130.659	32.664,8	13.065,9
Nariño	44.597	11.149,1	4.459,7
Santander	61.232	15.308,1	6.123,2
Tolima	58.521	14.630,3	5.852,1
Valle Del Cauca	57.618	14.404,5	5.761,8

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Tabla 11. *Producción y pérdida del cultivo zanahoria según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria *	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	52.640	13.160	5.264
Boyacá	28.410	7.103	2.841
Cundinamarca	65.178	16.294	6.518
Santander	65	16	7

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios

Tabla 12. *Producción y pérdida del cultivo papa según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria *	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento *
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	6.329	16.582	6.633
Boyacá	647.503	161.876	64.750
Cundinamarca	1.175.929	293.982	117.593
Nariño	497.753	124.438	49.775
Santander	59.777	14.944	5.978
Tolima	6.273	1.568	627
Valle Del Cauca	935	234	94

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Tabla 13. *Producción y pérdida del cultivo tomate según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria *	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	56.551	14.138	5.655
Boyacá	58.614	14.654	5.861
Cundinamarca	115.171	28.793	11.517
Meta	3.090	773	309
Nariño	9.022	2.256	902
Santander	15.266	3.816	1.527
Tolima	7.806	1.952	781
Valle Del Cauca	17.541	4.385	1.754

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Tabla 14. *Producción y pérdida del cultivo piña según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria *	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	3.112	778	311
Boyacá	2	0	0
Cundinamarca	1.805	451	181
Meta	2.922	731	292
Nariño	397	99	40
Santander	4.614	3.653	1.461
Tolima	1.737	434	174
Valle Del Cauca	4.079	11.020	4.408

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Tabla 15. *Producción y pérdida del cultivo mango según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria*	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	27.465	6.866	2.747
Boyacá	17	4	2
Cundinamarca	29.039	7.260	2.904
Santander	27	7	3
Tolima	100.713	25.178	10.071
Valle Del Cauca	77	19	8

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Tabla 16. *Producción y pérdida del cultivo aguacate según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria*	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	29.321	7.330	2.932
Boyacá	111	28	11
Cundinamarca	49	12	5
Meta	4.705	1.176	470
Nariño	151	38	15
Santander	2.705	676	271
Tolima	52.838	13.210	5.284
Valle Del Cauca	48.866	12.217	4.887

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Tabla 17. *Producción y pérdida del cultivo naranja según departamento para el 2015 en los principales departamentos productores*

Departamento	Producción	Pérdidas en Producción Agropecuaria *	Pérdidas en poscosecha y almacenamiento
	Toneladas	Toneladas	Toneladas
Antioquia	271.637	67.909	27.164
Boyacá	256	64	26
Cundinamarca	2.369	592	237
Meta	45.350	11.337	4.535
Nariño	7	2	1
Santander	12.365	3.091	1.236
Tolima	383	96	38
Valle Del Cauca	59.676	14.919	5.968

Fuente: adaptado DANE-ENA2015 (DANE, 2015) y cálculos propios *

Dentro de los cálculos no fue posible determinar las pérdidas durante el procesamiento industrial dada la carencia de estudios relacionados con el tema y a la falta de datos correspondientes a las toneladas de producto que ingresan a dicha etapa, requiriendo en este caso un trabajo de campo con los diferentes gremios y empresas pertenecientes a dicha industria lo que supera los objetivos estimados en el presente trabajo, para futuros estudios se deja planteada la fórmula mediante la cual se obtienen dichas pérdidas, fórmula tomada de los estudios del DNP (DNP, 2016):

$$AP_{PI,t} = \% \text{ pérdida} PI_{i,t} \cdot ProcCH_{i,t}$$

$\% \text{ pérdida} PI_{i,t}$ = Porcentaje de pérdida en el procesamiento industrial del producto i , en el periodo t .

ProcCH_{i,t}

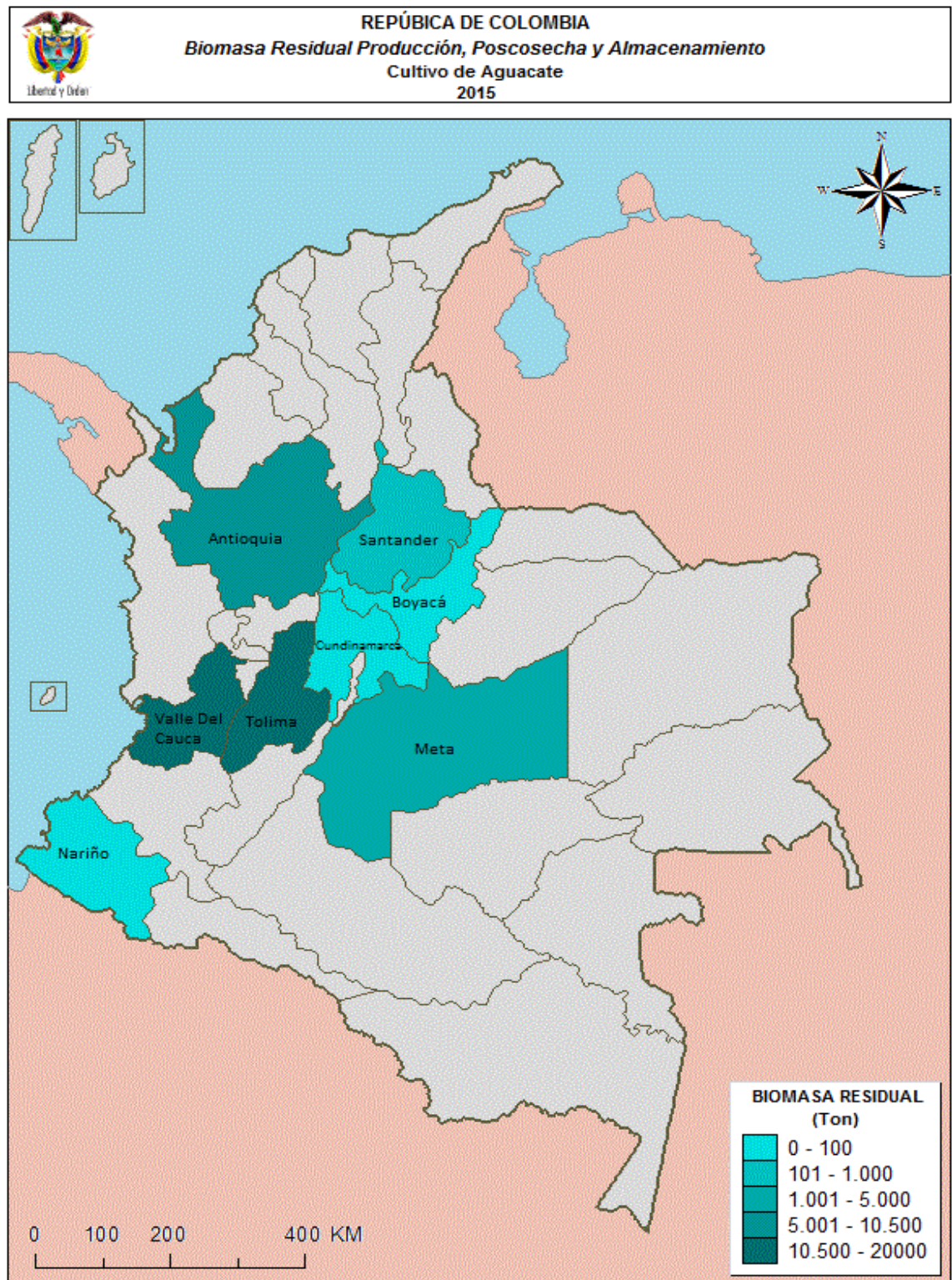
= Producción destinada a consumo humano del producto *i*, en el periodo *t* que son procesadas industrialmente.

Se infiere de los cálculos realizados, que en los ocho principales departamentos productores se generan un total de 1'066.092 toneladas de residuos durante la etapa de producción agropecuaria y de 426.437 toneladas de residuos durante la poscosecha y el almacenamiento, siendo el cultivo de papa el más representativo con un porcentaje de participación del 55,6 % seguido por el cultivo de plátano con un 14,6%.

Como parte del desarrollo del capítulo se buscó la manera de recopilar la información de la cantidad de biomasa residual, el cultivo procedente y la región productora mediante mapas que suministraran la consolidación de la información y facilitaran su comprensión y análisis. Inicialmente, se pretendió emplear los mapas del Atlas del potencial energético de la biomasa residual de Colombia, los cuales muestran las zonas de producción, el área cultivada, la biomasa residual, el potencial energético entre otra información; sin embargo, estos mapas fueron desarrollados para ocho cultivos (arroz, maíz, banano, café, caña de azúcar, caña panelera, palma de aceite y plátano) que difieren de los tratados en este trabajo; dado esto se elaboraron 9 mapas de autoría propia basados en las tablas trabajadas en el presente capítulo.

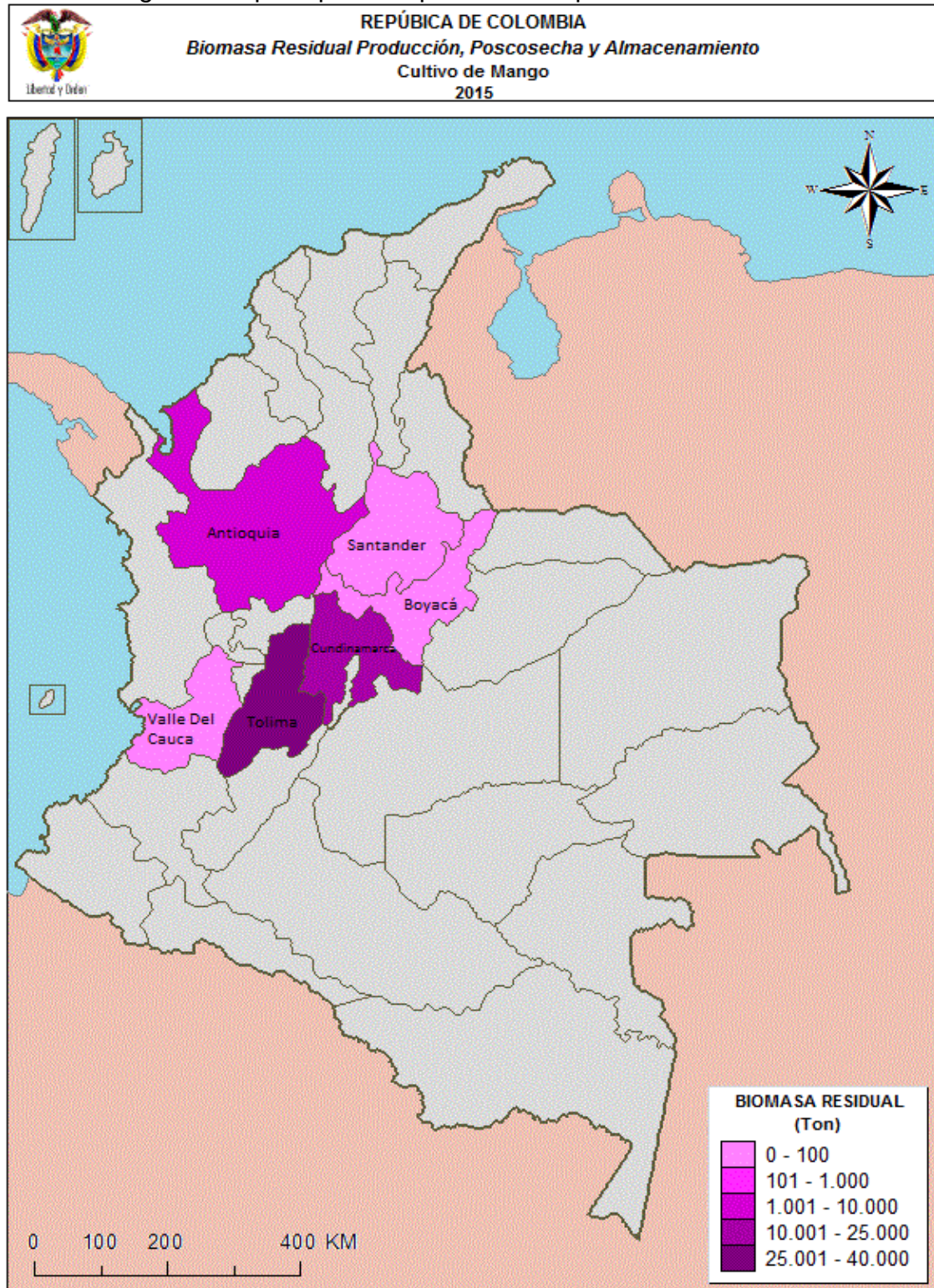
Los mapas muestran la cantidad de biomasa residual producida en Colombia para las principales líneas productivas del subsector de frutas y verduras, a las cuales se les ha asignado una gama de colores para facilitar su identificación, en la parte inferior derecha se encuentra ubicado el cuadro de convenciones en el cual se localiza la escala de valores distribuida en intervalos para los cuales se emplea una gama degradada de color en donde su intensidad se identifica con un valor del rango establecido.

Mapa 1. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de aguacate en los principales departamentos productores



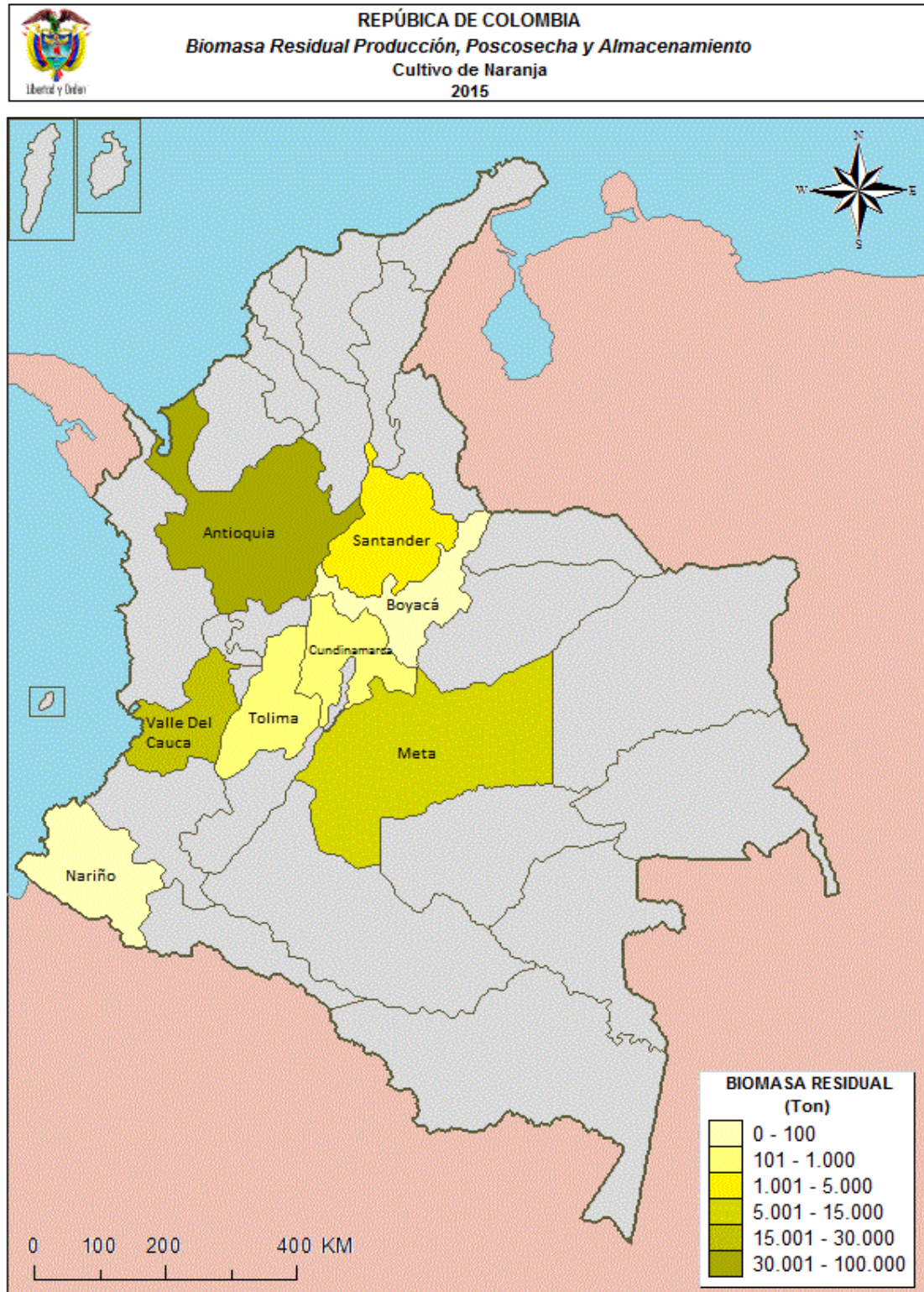
Fuente: Cálculos propios

Mapa 2. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de mango en los principales departamentos productores



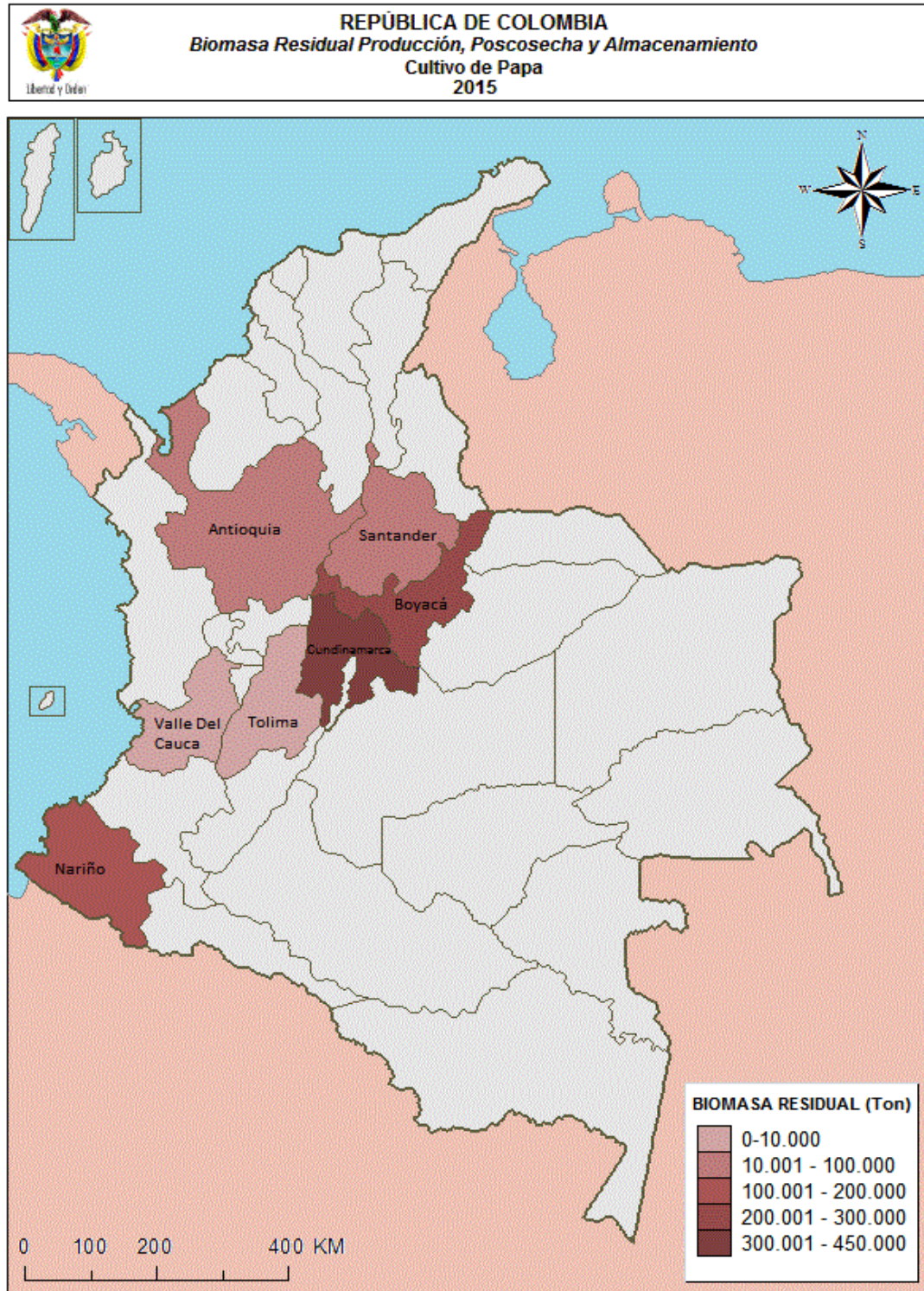
Fuente: Cálculos propios

Mapa 3. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de naranja en los principales departamentos productores



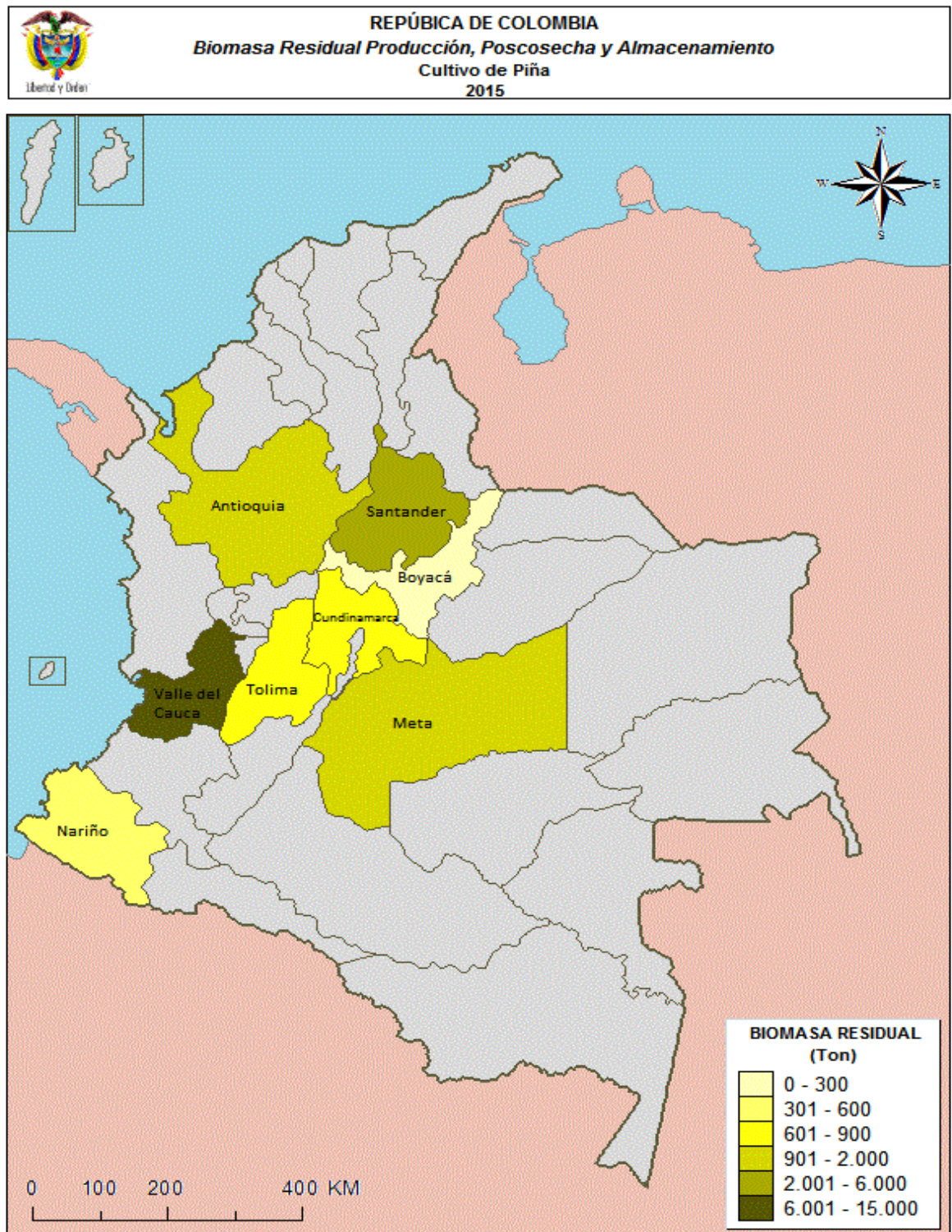
Fuente: Cálculos propios

Mapa 4. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de papa en los principales departamentos productores



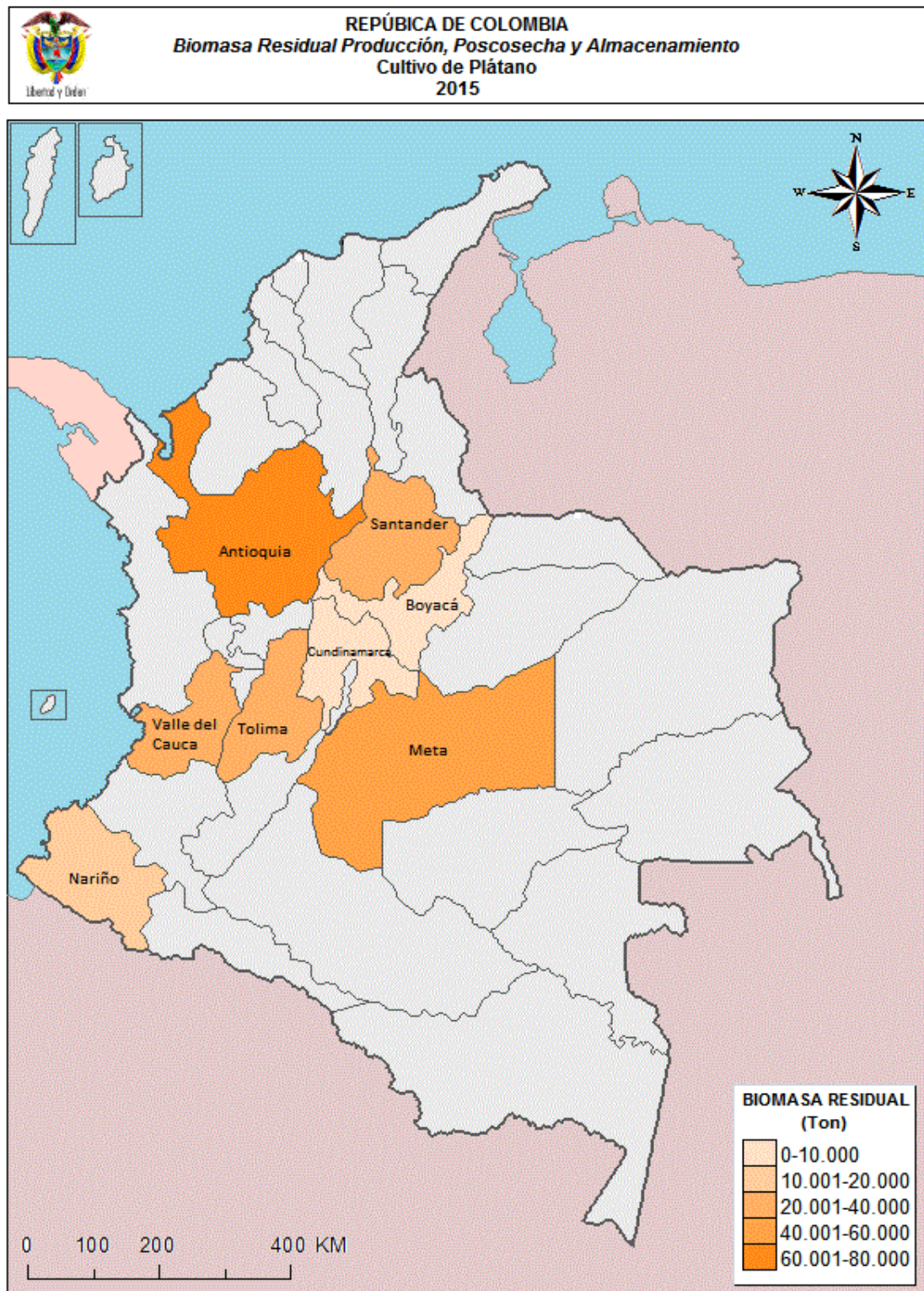
Fuente: Cálculos propios

Mapa 5. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de piña en los principales departamentos productores

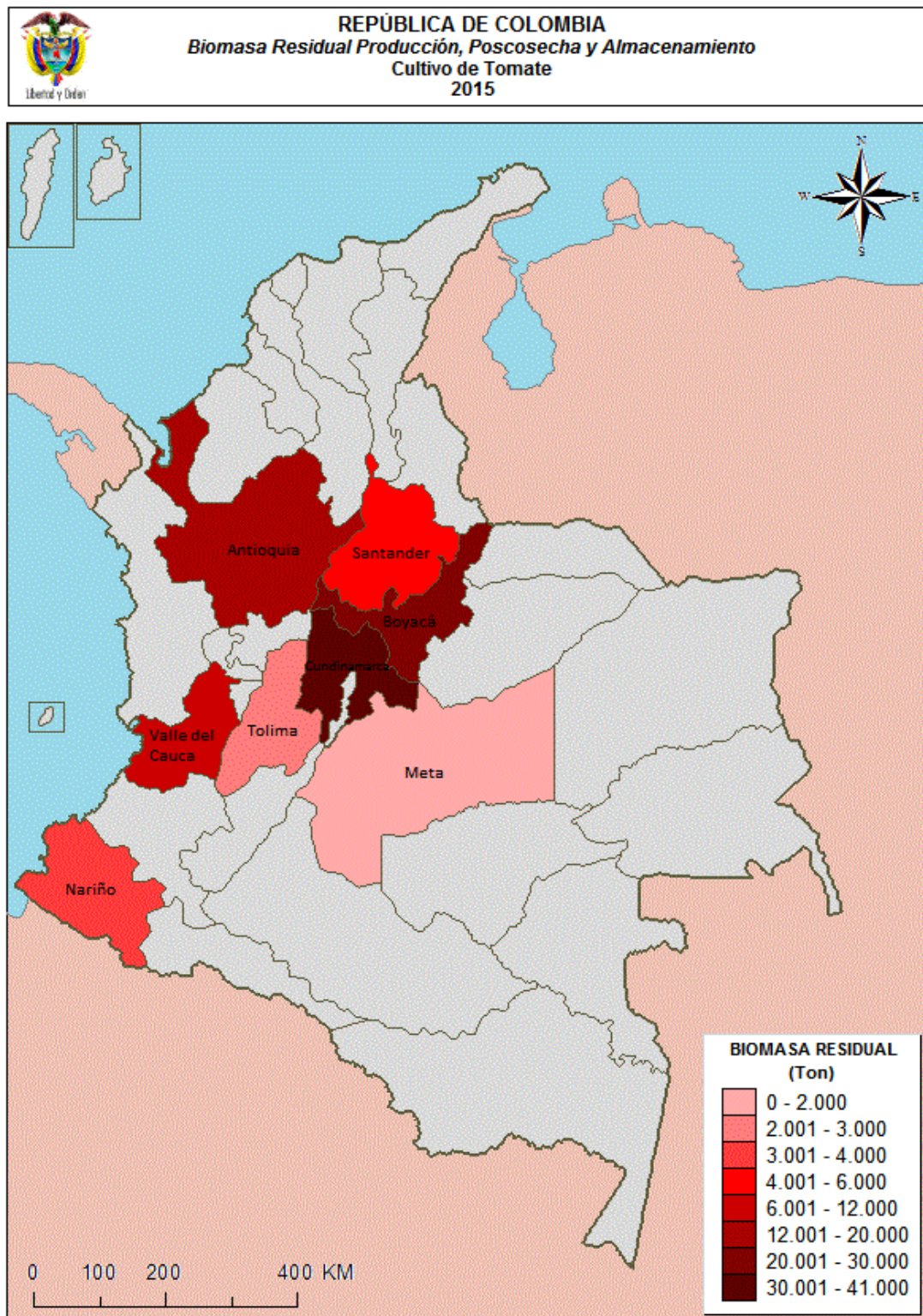


Fuente: Cálculos propios

Mapa 6. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de plátano en los principales departamentos productores

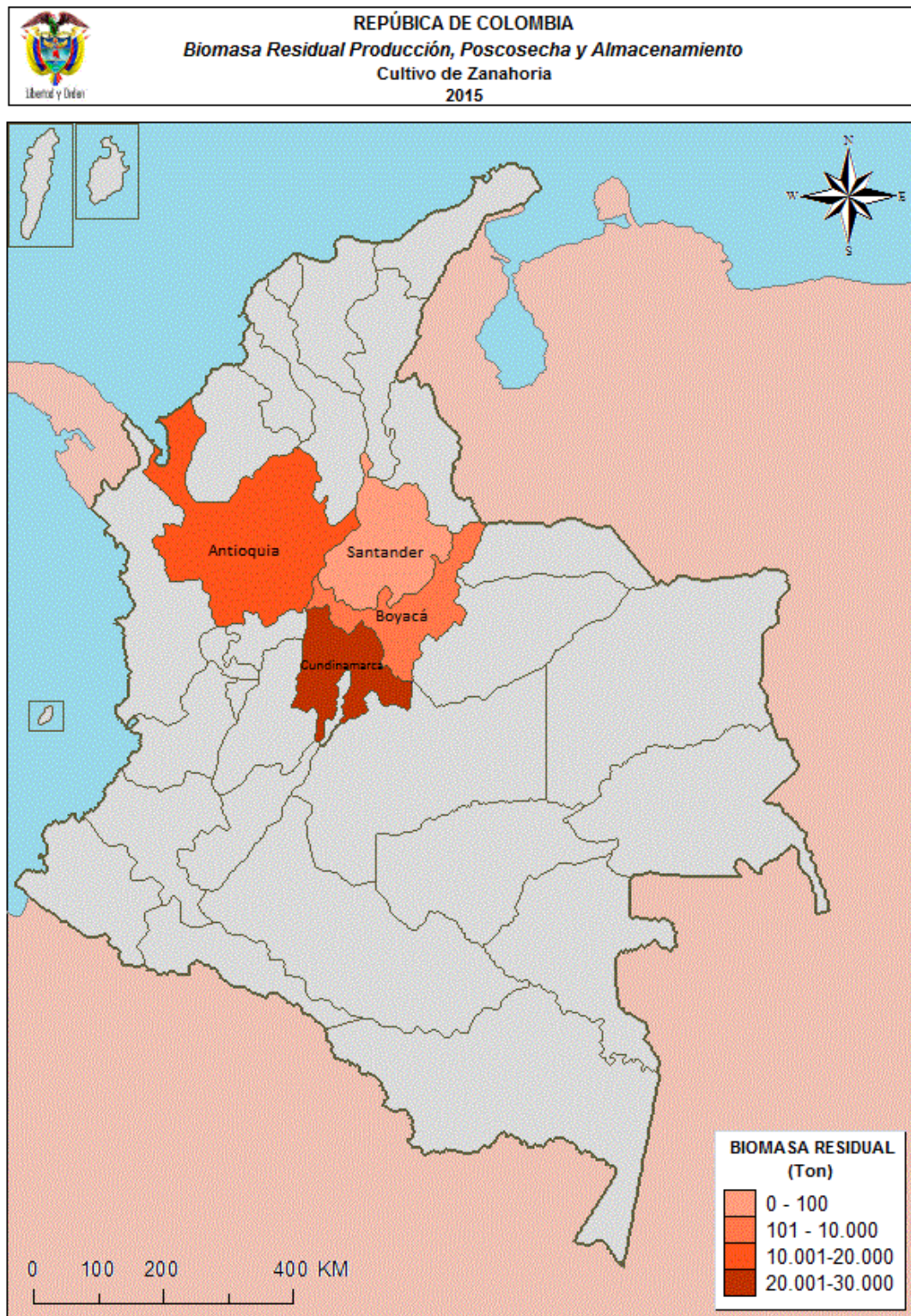


Mapa 7. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de tomate en los principales departamentos productores



Fuente: Cálculos propios

Mapa 8. Biomasa Residual para producción, poscosecha y almacenamiento de cultivo de zanahoria en los principales departamentos productores



Fuente: Cálculos propios

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

La composición físico-química de la biomasa tiende a ser variable dependiendo de su origen, está formada principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno; los cuales son compuestos que permiten determinar el poder calorífico del residuo, sin embargo, para la selección de la alternativa es necesario analizar las propiedades de los residuos puesto que estas proporcionan información que permite determinar si cumplen o no con los requisitos mínimos de la tecnología, para efectos de esta investigación se consideraron las siguientes propiedades:

- Relación carbono nitrógeno (C/N): indica las unidades de carbono por unidades de nitrógeno presentes en la biomasa y permite determinar la digestibilidad del material orgánico, esto lo convierte en un parámetro adecuado para determinar el éxito de procesos biológicos empleados en la obtención de energía (UPME, s.f).
- % humedad: representa la cantidad de agua contenida en la materia y afecta de forma directa a los procesos de conversión energética, ya que de acuerdo al porcentaje se determina la tecnología más adecuada para la transformación (UPME, s.f).
- % de azúcares, % de almidones, % de celulosa: compuestos fundamentales para los procesos fermentativos en los que se requiere materia prima con elevados contenidos de hidratos de carbono presentes como azúcares simples o como polímeros de glucosa como el almidón y la celulosa (Barroso, 2010).
- % de celulosa, % de lignina: son dos de los componentes principales de la biomasa lignocelulósica, su presencia en los residuos es ideal para procesos termoquímicos en los que la lignina favorece la baja humedad y una baja carga microbiana, adicional la lignina inicia procesos de degradación por encima de los 390 °C por lo cual los procesos a altas temperaturas son ideales para tratar este tipo de residuos (López, s.f.).
- pH: el pH es un factor de alta importancia en procesos biológicos ya que los microorganismos son muy sensibles a los cambios de acidez o alcalinidad del sustrato (Escudero, 2009).

Se realizó una exhaustiva investigación para la caracterización de los residuos procedentes de las 8 principales líneas productivas identificadas en Colombia para el año 2013, teniendo como único requisito que para su posterior análisis y toma de decisión en la valoración de las tecnologías debe contarse con las 7

propiedades descritas anteriormente, puesto que son los requisitos mínimos establecidos para esta investigación.

En la Tabla 18 se presenta la caracterización para cuatro (4) residuos, los cuales cumplieron con la condición mencionada anteriormente y por lo tanto presentan la información para las 7 propiedades y para los cuales se realizará más adelante un análisis para validación de las tecnologías de obtención energética. En cuanto a los 4 residuos restantes (tomate, piña, aguacate y zanahoria) no se logró localizar la información en su totalidad y por lo tanto no se tendrán en cuenta en la valoración de las tecnologías, en tanto que de querer emplearse sería necesario realizar un análisis de laboratorio superando el alcance del proyecto.

Tabla 18. *Caracterización de residuos*

Producto	C/N	Humedad (%)	Almidones (%)	Azúcares (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	pH	Referencias
Plátano	30,46	62	26	7,7	5,5 - 12	15,7	4,4 - 6,5	(Escudero, 2009; Botero & Mazzeo, 2009; Quiceno, 2014; González, Pérez, Wong, Bello, & Yáñez, 2015; Grisales & Giraldo, 2004; Meneses, Agatón, Gutiérrez, Mendieta, & Botero, 2012), (Olaya & González, 2009; Prada, 2012; Moyano, 2014; Caicedo, y otros, 2015),
Papa	25	76,7	52,14	0,11	1,444	0,41 - 2,46	5,7	(Yepes, Montoya, & Orozco, 2008; González, Pérez, Wong, Bello, & Yáñez, 2015; Cruz, Guamán, Castillo, Glorio, & Martínez, 2015)
Mango	31	69	0	5,77	6,71	0,74	4,2	(Escudero, 2009; Yepes, Montoya, & Orozco, 2008; Gerena, 2013; Ordóñez & Ríos, 2014)
Naranja	75,63	55,2	0	5,07	11,635	6,51	4,87	

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta que como en el caso de los cañicultores colombianos mencionados en el capítulo anterior, hay situaciones en los que los pequeños agricultores no cuentan con los recursos económicos para adquirir las tecnologías y tampoco cuentan con cantidades de residuo capaces de soportar un proceso continuo, en estos casos se puede optar por manejar metodologías de cooperación en los que se reúnen recursos y diferentes residuos para operar una planta comunal. En este tipo de situaciones se hace necesario trabajar con una caracterización propia para cada mezcla, a manera de ejemplo se procedió a trabajar con una investigación publicada en la Revista Colombiana de Biotecnología; con el trabajo que llevó como título: "Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado " en el que los investigadores caracterizaron residuos orgánicos procedentes de la plaza de Manizales.

Los resultados se evidencian en la Tabla 19 y representan una mezcla de residuos constituidos en un 20% por tubérculos y frutas de mala calidad y en descomposición, el 15% de la mezcla está conformado en su mayoría por cáscaras de papa, plátano, naranja y banano, los residuos analizados también se conforman por tomate, piña (pulpa y cáscara), mango, bagazo de plátano y otras frutas y verduras en menor proporción (Alzate, Toro, Arango, & Ramírez, 2004) .

Dado que esta mezcla contiene 6 de los 8 residuos trabajados se consideró como la mejor opción frente a otras encontradas en la literatura, sin embargo es de vital importancia para cualquier tipo de análisis tener en cuenta que la caracterización puede variar dependiendo de los porcentajes de cada residuo por lo que es recomendable para estudios futuros realizar caracterizaciones puntuales a las mezclas a estudiar.

Tabla 19. *Caracterización de residuos de la plaza de mercado de Manizales*

Propiedad	Cantidad	Unidades
Densidad	1,22	g/ml
Humedad	81	%
Almidón	10,327/100	g / g de residuos
Azucares	1,243/10	g/ ml
pH	4,3	
C:N *	37:1	

Fuente: (Alzate, Toro, Arango, & Ramírez, 2004; Román, Martínez, & Pantoja, 2013)

4. METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

La biomasa resultante de las actividades agrícolas, poscosecha y almacenamiento procedente de los 8 principales departamentos productores de frutas y hortalizas en Colombia estudiados en el anterior capítulo, posee las características adecuadas para su aprovechamiento energético y su utilización dentro de los mismos procesos productivos, sin embargo en el presente trabajo se expusieron 11 tecnologías mediante las cuales es posible dicho aprovechamiento, lo que hizo necesario plantear bajo un enfoque lógico las alternativas con mayor potencial de producción energético acorde a las características de la biomasa disponible.

Para la toma de decisiones frente a las tecnologías propuestas se requirió de la aplicación de una metodología que permitiera minimizar la carga de suposiciones y que a su vez permita la evaluación de escenarios en los cuales se presentan múltiples variables (Berumen & Llamazares, 2007). De acuerdo con Fernández (2016), hace algunos años las empresas no empleaban métodos específicos para la selección de proyectos, basándose en la mayoría de veces en conjeturas y por lo tanto la toma de decisiones se realizaba de manera subjetiva, sin embargo en las últimas décadas este pensamiento cambió drásticamente; permitiendo mayor participación de componentes cuantificables y cualificables lo que favoreció a la eficiencia, la productividad y el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles sin dejar de lado factores como el impacto social y ambiental (Fernández, Gómez, Guerrero, & Caballero, 2016).

Realizando la investigación de diferentes teorías para la toma de decisiones se encontró el método de análisis multicriterio, cuyo modelo permite establecer una jerarquía para las diferentes alternativas evaluadas; de tal manera que el agente decisor pueda realizar una evaluación de acuerdo a los recursos con los que cuenta (Fernández et al., 2016). La teoría de decisiones nació a partir de diferentes disciplinas como por ejemplo la estadística, la teoría de la probabilidad y la investigación operativa; puntualmente los conceptos iniciales del análisis de decisión multicriterio se dieron por primera vez en la década de los años sesenta con los trabajos de Bernard Roy con la proposición de los métodos Electre y en programación de metas con los trabajos de Charnes y Cooper, no obstante fue en la década de los setenta donde se dio su punto de partida oficial en la conferencia realizada en la Universidad de Columbia ubicada en Carolina del Sur, cuyo tema fue la "Toma de Decisiones Multicriterio", esta conferencia se organizó en 1972 por Cochrane y Zeleny (Casañ, 2013), a partir de esa fecha este método ha presentado un crecimiento impresionante convirtiéndose en la actualidad en uno de los más conocidos y empleados (Berumen & Llamazares, 2007).

Existen variaciones del análisis multicriterio, una de ellas es el *método de decisión multicriterio discreto*, el cual se emplea cuando se tienen alternativas finitas, en este caso se requiere de una solidez teórica de cada opción y conceptos que

puedan ser fácilmente comprendidos y aplicados por el agente decisor, los métodos discretos se aplican en contextos en los que un número reducido de alternativas es evaluado acorde a varios criterios, como por ejemplo el caso del método de análisis jerárquico (AHP), el método de ponderación lineal (Scoring), y el método de utilidad multiatributo (MAUT) (Barajas, 2011).

- Método de análisis jerárquico (AHP): permite optimizar la toma de decisiones complejas mediante la disgregación del problema a través de una estructura jerárquica dividiendo una característica compleja en un conjunto de atributos más sencillos que permiten establecer la influencia de cada uno de ellos en el objetivo de la decisión (Berumen & Llamazares, 2007).
- Método de ponderación lineal (Scoring): el Scoring es uno de los métodos más conocidos y ampliamente utilizados para la toma de decisiones alrededor del mundo; emplea un sistema mediante el cual se obtiene una puntuación global que se consigue por la sumatoria de las contribuciones de cada atributo evaluado, requiriéndose en varios casos un proceso de normalización cuando los criterios tienen diferentes escalas (Berumen & Llamazares, 2007).
- Método de utilidad multiatributo (MAUT): este método permite determinar la utilidad de cada alternativa al estimar una función parcial para cada atributo basado en las preferencias del agente decisor frente a una serie de atributos o criterios (Berumen & Llamazares, 2007).

A nivel laboral los profesionales se ven enfrentados a circunstancias que requieren de la toma de decisiones, en particular en aquellos casos en los que se realizan evaluaciones a proyectos o propuestas en diferentes campos de acción de la industria en la que laboran, estas situaciones han permitido la aplicación de los métodos de decisión multicriterio y por ende se pueden encontrar infinidad de trabajos de diferentes ramas en los que se evidencia el uso de estas metodologías; durante esta investigación se logró identificar trabajos en el campo de la economía, a nivel logístico en las cadenas de suministro, en el área de la medicina, en el ámbito deportivo, a nivel industrial para realizar redistribuciones de planta, entre muchos otros, lo que evidencia la múltiple aplicabilidad que presentan los métodos de decisión.

A modo de ejemplo se presenta el trabajo desarrollado por Barajas (2011) quien en su trabajo titulado "*Diseño de una manta biodegradable de tipo experimental para la conservación de taludes a partir del análisis y evaluación de los residuos orgánicos agrícolas de la región del Tundama en el departamento de Boyacá*", desarrollado para optar al título de magister en diseño y gestión de procesos, presenta la problemática de deslizamientos en Colombia los cuales se generan

principalmente por deforestación, y erosión de los terrenos expuestos a condiciones de lluvia y viento, afectando gravemente a la población. Parte del problema radica en que normalmente se levantan barreras o se implementan mecanismos de estabilización de terrenos con materiales poco amigables con el medio ambiente lo que permite mitigar momentáneamente el problema pero con un impacto ambiental alto que generará peores problemas en el futuro.

Barajas (2011) planteó en su investigación la posibilidad de emplear residuos agrícolas procedentes de la región del Tundama en Boyacá como material para el desarrollo de una manta biodegradable que permita conservar las propiedades del terreno y así minimizar los deslizamientos de tierra en los taludes. Como parte de su metodología se empleó el método de ponderación lineal (Scoring) para la selección de los materiales a fin de determinar el adecuado para el proceso de experimentación.

Para la selección inicial de materiales se realizó la identificación de los residuos agrícolas procedentes de la región del Tundama, se plantearon como alternativas la cascara de papa, los residuos de cebolla larga y la hoja del maíz; los criterios establecidos fueron producción, disponibilidad en la región, porcentaje de residuos finales y el tipo de tejido. Tras el desarrollo del método scoring se logró determinar que la hoja de maíz representa la mejor alternativa y que al mezclar esta (tras un procesamiento) con un aglomerante se transforma en una opción técnicamente viable para su uso como manto biodegradable eficaz en la conservación de las propiedades del terreno en los Taludes (Barajas, 2011).

Partiendo de lo anterior y viendo la relevancia de los análisis multicriterio en las diferentes ramas investigativas, se decidió emplear en este trabajo como herramienta de apoyo el análisis multicriterio por método Scoring siguiendo las siguientes etapas (Barajas, 2011):

1. Identificar el objetivo general del problema.
2. Identificar las alternativas.
3. Listar los criterios a emplear en la toma de decisión.
4. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios.
5. Establecer en cuanto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios.
6. Calcular el Score para cada una de las Alternativas.
7. Ordenar las Alternativas en función del Score. La alternativa con el Score más alto representa la Alternativa a recomendar.

Siguiendo estas etapas se planteó como objetivo determinar cuál es la tecnología apropiada para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales en las empresas del subsector de frutas y verduras en Colombia partiendo de la compatibilidad de dicha tecnología con los principios del desarrollo sostenible. Las tecnologías a evaluar fueron aquellas documentadas en el Capítulo 2, las cuales

hacen parte de los procesos físicos, químicos, biológicos y termoquímicos ya estudiados.

Para la selección de los criterios se consideraron parámetros que permitieran establecer juicios, pautas y/o principios ante las diferentes alternativas y de esta forma tomar una decisión, los criterios seleccionados se relacionan a continuación:

- a) *Factibilidad de aplicación del proceso*: este criterio es uno de los más destacables por lo que en él se evalúa la posibilidad de ejecución de la alternativa de acuerdo a las características fisicoquímicas, inversión e infraestructura.
- b) *Tratamientos preliminares*: este parámetro evalúa la necesidad de realizar pretratamiento a la biomasa para su posterior uso en las operaciones de transformación.
- c) *% Humedad de la biomasa*: este es un criterio importante en cuanto determina cuáles son los procesos aplicables según el contenido de humedad de la biomasa.
- d) *Complejidad del proceso*: el grado de complejidad está determinada por las presiones, las temperaturas que requiere la tecnología, entendiéndose que a mayor rango de presión y temperatura es más complejo es el proceso.
- e) *Madurez de la tecnología*: este criterio se considera teniendo en cuenta el ciclo de vida de la tecnología, puesto que al alcanzar la madurez se puede decir que la tecnología se ha estabilizado y ha alcanzado un nivel adecuado para su incorporación al mercado.
- f) *Compatibilidad con los principios de desarrollo sostenible*: este criterio define la viabilidad de la tecnología en los aspectos sociales, económicos y ambientales asegurando la preservación de la biodiversidad y de los ecosistemas.
- g) *Tiempo de retención*: se refiere al lapso durante el cual la carga de biomasa permanece en el reactor bajo las condiciones requeridas por la tecnología.
- h) *Rendimiento*: el rendimiento indica la cantidad de producto obtenido luego de su procesamiento.

De manera referencial se planteó el análisis multicriterio para los cuatro residuos y la mezcla estudiada en la caracterización del Capítulo 3; debido a que las

caracterizaciones varían de un cultivo a otro y dependen de las diferentes mezclas que pueda proyectar la industria sería complejo realizar un solo análisis o estudiar todas las posibilidades dentro de una sola investigación.

Para iniciar el proceso se asignó una ponderación para cada uno de los criterios; se fijó un valor acorde a la importancia de cada criterio con respecto a los demás. En la Tabla 20 se presenta la escala de ponderación establecida según el nivel de importancia (Barajas, 2011).

Tabla 20. *Escala de importancia*

Niveles de Importancia	Ponderación
Mucho menos Importante	0,1
Menos Importante	0,2
Igualmente importante	1
Más Importante	5
Mucho más importante	10

Fuente: adaptado de IDEEA, herramientas de calidad, (Barajas, 2011)

Para determinar el nivel de importancia de cada criterio se planteó una matriz de pares en la cual se designaron a las filas y columnas a cada uno de los criterios como se evidencia en la Figura 19, posterior a esto se comparó cada criterio y se colocó en la matriz el nivel de importancia según la Tabla 20. En la matriz se compara el nivel de importancia de j con respecto a i, al finalizar la evaluación de los 8 criterios se realiza el cálculo del factor de ponderación (FP) dividiendo la sumatoria de cada criterio con el total.

Figura 19. Matriz de pares para criterios

Cij	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce	Cf	Cg	Ch	Σ	F.P
Ca										
Cb										
Cc										
Cd										
Ce										
Cf										
Cg										
Ch										

Fuente: elaboración propia

Donde:

Ca: Factibilidad de aplicación del proceso

Cb: Tratamientos preliminares

Cc: % Humedad de la biomasa

Cd: Complejidad del proceso
 Ce: Madurez de la tecnología
 Cf: Compatibilidad con los principios de desarrollo sostenible
 Cg: Tiempo de retención
 Ch: Rendimiento

Siguiendo la metodología se procedió a realizar la comparación de las tecnologías mediante una matriz de pares (Figura 20) que se planteó para cada uno de los criterios evaluados anteriormente, en este caso para facilitar la valoración se trabajó con la tabla 5 del Capítulo 2, la cual establece una comparación de las tecnologías de aprovechamiento energético permitiendo determinar los niveles de importancia entre cada una de las alternativas, el peso de cada opción (P.O) se calcula dividiendo la sumatoria de cada tecnología con el total.

Figura 20. Matriz de pares para tecnologías

Criterio											
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O	
Tc											
Td											
Te											
Tf											
Tg											
Th											
Ti											
Tj											

Fuente: elaboración propia

Dónde:

Tc: Transesterificación
 Td: Síntesis Fischer-Tropsch
 Te: Biometanización
 Tf: Fermentación alcohólica
 Tg: Fermentación oscura
 Th: Combustión
 Ti: Pirólisis
 Tj: Gasificación

Para la selección de las tecnologías con mayor potencial de aprovechamiento energético de residuos agroindustriales pertenecientes al subsector de frutas y verduras se elaboró una matriz de selección de resultados como se muestra en la Figura 21.

Figura 21. Matriz de decisión

	Ca		Cb		Cc		Cd		Ce		Cf		Cg		Ch		Puntaje Final
	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	
Tc																	
Td																	
Te																	
Tf																	
Tg																	
Th																	
Ti																	
Tj																	

Fuente: elaboración propia

En la matriz de decisión, para el cálculo del puntaje final se realiza la sumatoria para el producto de multiplicar el valor de los factores de ponderación (F.P) de los criterios con el valor correspondiente al peso de cada opción evaluada (P.O), una vez obtenido el puntaje final es posible determinar el orden de importancia de cada tecnología con respecto a los criterios planteados y por lo tanto es posible tomar la decisión más acertada en cuanto a las tecnologías más aplicables.

5. ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para iniciar el análisis se procedió a la priorización de criterios mediante la matriz de pares que se presenta en la Tabla 21, en este caso se realizó una única matriz válida para las cinco biomásas planteadas en el Capítulo 4 (plátano, papa, mango, naranja, mezcla), esta decisión radica en que los criterios son los mismos tanto para las alternativas como para los residuos, cabe aclarar que para cada una de las matrices se empleó la Tabla 20 de escala de importancia para que el agente decisor, es decir el investigador asigne de manera imparcial los puntajes según su experiencia y conocimiento.

Tabla 21. *Matriz de evaluación de criterios*

Cij	Ca	Cb	Cc	Cd	Ce	Cf	Cg	Ch	Σ	F.P
Ca		5	5	10	5	0,1	5	5	35,1	0,291
Cb	0,2		1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	2	0,017
Cc	0,2	1		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2,2	0,018
Cd	0,1	5	5		0,2	1	1	1	13,3	0,110
Ce	0,2	10	5	5		1	5	5	31,2	0,258
Cf	10	10	5	1	1		5	5	37	0,306
Cg	0,2	5	5	1	0,2	1		1	13,4	0,111
Ch	0,2	5	5	1	0,2	1	1		13,4	0,111
									120,8	1,000

Fuente: elaboración propia

Según los resultados arrojados por la matriz el orden de importancia de los criterios es el siguiente:

Cf: Compatibilidad con los principios de Des. sostenible	30,6	Ch: Rendimiento	11,1
Ca: Factibilidad de aplicación del proceso	29,1	Cd: Complejidad del proceso	11
Ce: Madurez de la tecnología	25,8	Cc: % Humedad de la biomasa	1,8
Cg: Tiempo de retención	11,1	Cb: Tratamientos preliminares	1,7

En cuanto a la comparación de cada alternativa para cada uno de los criterios se evidenció que para Cb, Cd, Ce, Cf, Cg y Ch solo es necesario realizar un análisis ya que son criterios que dependen puntualmente de las particularidades de cada tecnología y el tipo de biomasa no afecta dichas variables (Tablas 22 a 27).

Tabla 22. Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cb

Tratamientos preliminares										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,004
Td	10	-	0,2	1	10	1	1	1	24,2	0,136
Te	10	5	-	5	10	5	5	5	45	0,254
Tf	10	1	0,2	-	10	1	1	1	24,2	0,136
Tg	10	0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1	0,1	10,6	0,060
Th	10	1	0,2	1	10	-	1	1	24,2	0,136
Ti	10	1	0,2	1	10	1	-	1	24,2	0,136
Tj	10	1	0,2	1	10	1	1	-	24,2	0,136
									177,3	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cg

Tiempo de retención										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	5	5	5	5	0,2	0,2	5	25,4	0,174
Td	0,2	-	5	5	5	0,2	0,2	0,2	15,8	0,109
Te	0,2	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,4	0,010
Tf	0,2	0,2	5	-	5	0,2	0,2	0,2	11	0,076
Tg	0,2	0,2	5	0,2	-	0,2	0,2	0,2	6,2	0,043
Th	5	5	5	5	5	-	0,2	5	30,2	0,207
Ti	5	5	5	5	5	5	-	5	35	0,240
Tj	0,2	5	5	5	5	0,2	0,2	-	20,6	0,141
									145,6	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cd

Complejidad del proceso										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	5	0,2	0,2	0,2	5	5	5	20,6	0,134
Td	0,2	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	1	1,9	0,012
Te	5	10	-	1	5	5	5	10	41	0,266
Tf	5	10	1	-	5	5	5	10	41	0,266
Tg	5	10	0,2	0,2	-	1	1	5	22,4	0,145
Th	0,2	5	0,2	0,2	1	-	1	5	12,6	0,082
Ti	0,2	5	0,2	0,2	1	1	-	5	12,6	0,082
Tj	0,2	1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	-	2	0,013
									154,1	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 25. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ce*

Madurez de la tecnología										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	5	0,2	1	5	0,2	1	1	13,4	0,101
Td	0,2	-	0,2	0,2	1	0,1	0,2	0,2	2,1	0,016
Te	5	5	-	5	5	0,2	5	5	30,2	0,227
Tf	1	5	0,2	-	5	0,2	1	1	13,4	0,101
Tg	0,2	1	0,2	0,2	-	0,1	0,2	0,2	2,1	0,016
Th	5	10	5	5	10	-	5	5	45	0,338
Ti	1	5	0,2	1	5	0,2	-	1	13,4	0,101
Tj	1	5	0,2	1	5	0,2	1	-	13,4	0,101
									133	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cf*

Compatibilidad con los principios de desarrollo sostenible										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	1	1	1	1	5	1	1	11	0,141
Td	1	-	1	1	1	5	1	1	11	0,141
Te	1	1	-	1	1	5	1	1	11	0,141
Tf	1	1	1	-	1	5	1	1	11	0,141
Tg	1	1	1	1	-	5	1	1	11	0,141
Th	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	-	0,2	0,2	1	0,013
Ti	1	1	1	1	1	5	-	1	11	0,141
Tj	1	1	1	1	1	5	1	-	11	0,141
									78	1

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ch*

Rendimiento										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,2	0,2	0,2	1	0,2	0,2	0,2	2,2	0,015
Td	5	-	0,2	0,2	5	5	5	5	25,4	0,177
Te	5	5	-	5	5	5	5	5	35	0,244
Tf	5	5	0,2	-	5	5	0,2	0,2	20,6	0,144
Tg	5	0,2	0,2	0,2	-	5	0,2	0,2	11	0,077
Th	5	0,2	0,2	0,2	0,2	-	0,2	0,2	6,2	0,043
Ti	5	0,2	0,2	5	5	5	-	1	21,4	0,149
Tj	5	0,2	0,2	5	5	5	1	-	21,4	0,149
									143,2	1

Fuente: elaboración propia

Para el análisis de las tecnologías con respecto a Ca y Cc fue indispensable realizar los 5 análisis acordes a cada una de las biomásas estudiadas, puesto que la caracterización de cada una de ellas varía según su composición.

- Plátano:

Tabla 28. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de plátano*

Factibilidad de aplicación del proceso										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,006
Td	10	-	1	0,2	0,2	1	1	1	14,4	0,121
Te	10	1	-	1	1	1	1	1	16	0,134
Tf	10	5	1	-	1	1	1	1	20	0,168
Tg	10	5	1	1	-	1	1	1	20	0,168
Th	10	1	1	1	1	-	1	1	16	0,134
Ti	10	1	1	1	1	1	-	1	16	0,134
Tj	10	1	1	1	1	1	1	-	16	0,134
									119,1	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 29. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de plátano*

% Humedad de la biomasa										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Td	1	-	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Te	10	10	-	1	1	10	10	10	52	0,291
Tf	10	10	1	-	1	10	10	10	52	0,291
Tg	10	10	1	1	-	10	10	10	52	0,291
Th	1	1	0,5	0,1	0,1	-	1	1	4,7	0,026
Ti	1	1	0,5	0,1	0,1	1	-	1	4,7	0,026
Tj	1	1	0,5	0,1	0,1	1	1	-	4,7	0,026
									178,7	1,000

Fuente: elaboración propia

- Papa:

Tabla 30. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de papa*

Factibilidad de aplicación del proceso										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,004
Td	10	-	1	0,2	0,2	1	1	1	14,4	0,075
Te	10	1	-	1	1	10	10	10	43	0,224
Tf	10	5	1	-	1	10	10	10	47	0,245
Tg	10	5	1	1	-	10	10	10	47	0,245
Th	10	1	0,1	0,1	0,1	-	1	1	13,3	0,069
Ti	10	1	0,1	0,1	0,1	1	-	1	13,3	0,069
Tj	10	1	0,1	0,1	0,1	1	1	-	13,3	0,069
									192	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 31. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de papa*

% Humedad de la biomasa										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Td	1	-	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Te	10	10	-	1	1	10	10	10	52	0,291
Tf	10	10	1	-	1	10	10	10	52	0,291
Tg	10	10	1	1	-	10	10	10	52	0,291
Th	1	1	0,5	0,1	0,1	-	1	1	4,7	0,026
Ti	1	1	0,5	0,1	0,1	1	-	1	4,7	0,026
Tj	1	1	0,5	0,1	0,1	1	1	-	4,7	0,026
									178,7	1,000

Fuente: elaboración propia

- Mango:

Tabla 32. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de mango*

Factibilidad de aplicación del proceso										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,004
Td	10	-	1	0,2	0,2	1	1	1	14,4	0,091
Te	10	1	-	5	5	5	5	5	36	0,229
Tf	10	5	0,2	-	5	5	5	5	35,2	0,223
Tg	10	5	0,2	0,2	-	5	5	5	30,4	0,193
Th	10	1	0,2	0,2	0,2	-	1	1	13,6	0,086
Ti	10	1	0,2	0,2	0,2	1	-	1	13,6	0,086
Tj	10	1	0,2	0,2	0,2	1	1	-	13,6	0,086
									157,5	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 33. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de mango*

% Humedad de la biomasa										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Td	1	-	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Te	10	10	-	1	1	10	10	10	52	0,291
Tf	10	10	1	-	1	10	10	10	52	0,291
Tg	10	10	1	1	-	10	10	10	52	0,291
Th	1	1	0,5	0,1	0,1	-	1	1	4,7	0,026
Ti	1	1	0,5	0,1	0,1	1	-	1	4,7	0,026
Tj	1	1	0,5	0,1	0,1	1	1	-	4,7	0,026
									178,7	1,000

Fuente: elaboración propia

- Naranja:

Tabla 34. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de naranja*

Factibilidad de aplicación del proceso										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,006
Td	10	-	1	1	1	1	1	1	16	0,131
Te	10	1	-	5	5	1	1	1	24	0,196
Tf	10	1	0,2	-	5	1	1	1	19,2	0,157
Tg	10	1	0,2	0,2	-	1	1	1	14,4	0,118
Th	10	1	1	1	1	-	1	1	16	0,131
Ti	10	1	1	1	1	1	-	1	16	0,131
Tj	10	1	1	1	1	1	1	-	16	0,131
									122,3	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 35. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de naranja*

% Humedad de la biomasa										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Td	1	-	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,024
Te	10	10	-	1	1	10	10	10	52	0,291
Tf	10	10	1	-	1	10	10	10	52	0,291
Tg	10	10	1	1	-	10	10	10	52	0,291
Th	1	1	0,5	0,1	0,1	-	1	1	4,7	0,026
Ti	1	1	0,5	0,1	0,1	1	-	1	4,7	0,026
Tj	1	1	0,5	0,1	0,1	1	1	-	4,7	0,026
									178,7	1,000

Fuente: elaboración propia

- Mezcla:

Tabla 36. *Matriz de comparación de alternativas para el criterio Ca con residuos de mezcla*

Factibilidad de aplicación del proceso										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,7	0,003
Td	10	-	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	10,9	0,053
Te	10	10	-	5	5	10	10	10	60	0,291
Tf	10	10	0,2	-	1	5	5	1	32,2	0,156
Tg	10	10	0,2	1	-	5	5	1	32,2	0,156
Th	10	5	0,1	0,2	0,2	-	1	0,1	16,6	0,080
Ti	10	5	0,1	0,2	0,2	1	-	0,1	16,6	0,080
Tj	10	5	0,1	1	1	10	10	-	37,1	0,180
									206,3	1,000

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Matriz de comparación de alternativas para el criterio Cc con residuos de mezcla

% Humedad de la biomasa										
Tij	Tc	Td	Te	Tf	Tg	Th	Ti	Tj	Σ	P.O
Tc	-	1	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,022
Td	1	-	0,1	0,1	0,1	1	1	1	4,3	0,022
Te	10	10	-	1	1	10	10	10	52	0,265
Tf	10	10	1	-	1	10	10	10	52	0,265
Tg	10	10	1	1	-	10	10	10	52	0,265
Th	1	1	0,1	0,1	0,1	-	1	1	4,3	0,022
Ti	1	1	0,1	0,1	0,1	1	-	1	4,3	0,022
Tj	5	5	1	1	1	5	5	-	23	0,117
									196,2	1,000

Fuente: elaboración propia

Una vez finalizada la comparación de tecnologías y criterios se procedió a armar las matrices de decisión para cada una de las biomásas y de esta manera lograr determinar la alternativa más adecuada para el aprovechamiento energético, los resultados se presentan en las tablas 38 a 42.

- Plátano

Tabla 38. *Matriz de decisión para residuos de plátano*

	Ca		Cb		Cc		Cd		Ce		Cf		Cg		Ch		Puntaje Final
	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	
Tc	0,291	0,006	0,017	0,004	0,018	0,024	0,110	0,134	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,174	0,111	0,015	0,107
Td	0,291	0,121	0,017	0,136	0,018	0,024	0,110	0,012	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,109	0,111	0,177	0,118
Te	0,291	0,134	0,017	0,254	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,227	0,306	0,141	0,111	0,010	0,111	0,244	0,208
Tf	0,291	0,168	0,017	0,136	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,076	0,111	0,144	0,179
Tg	0,291	0,168	0,017	0,060	0,018	0,291	0,110	0,145	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,043	0,111	0,077	0,132
Th	0,291	0,134	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,338	0,306	0,013	0,111	0,207	0,111	0,043	0,170
Ti	0,291	0,134	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,240	0,111	0,149	0,163
Tj	0,291	0,134	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,013	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,141	0,111	0,149	0,145

Fuente: elaboración propia

- Papa

Tabla 39. *Matriz de decisión para residuos de papa*

	Ca		Cb		Cc		Cd		Ce		Cf		Cg		Ch		Puntaje Final
	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	
Tc	0,291	0,004	0,017	0,004	0,018	0,024	0,110	0,134	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,174	0,111	0,015	0,107
Td	0,291	0,075	0,017	0,136	0,018	0,024	0,110	0,012	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,109	0,111	0,177	0,105
Te	0,291	0,224	0,017	0,254	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,227	0,306	0,141	0,111	0,010	0,111	0,244	0,234
Tf	0,291	0,245	0,017	0,136	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,076	0,111	0,144	0,202
Tg	0,291	0,245	0,017	0,060	0,018	0,291	0,110	0,145	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,043	0,111	0,077	0,154
Th	0,291	0,069	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,338	0,306	0,013	0,111	0,207	0,111	0,043	0,151
Ti	0,291	0,069	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,240	0,111	0,149	0,144
Tj	0,291	0,069	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,013	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,141	0,111	0,149	0,126

Fuente: elaboración propia

- Mango

Tabla 40. *Matriz de decisión para residuos de mango*

	Ca		Cb		Cc		Cd		Ce		Cf		Cg		Ch		Puntaje Final
	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	
Tc	0,291	0,004	0,017	0,004	0,018	0,024	0,110	0,134	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,174	0,111	0,015	0,107
Td	0,291	0,091	0,017	0,136	0,018	0,024	0,110	0,012	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,109	0,111	0,177	0,110
Te	0,291	0,229	0,017	0,254	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,227	0,306	0,141	0,111	0,010	0,111	0,244	0,235
Tf	0,291	0,223	0,017	0,136	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,076	0,111	0,144	0,195
Tg	0,291	0,193	0,017	0,060	0,018	0,291	0,110	0,145	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,043	0,111	0,077	0,139
Th	0,291	0,086	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,338	0,306	0,013	0,111	0,207	0,111	0,043	0,156
Ti	0,291	0,086	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,240	0,111	0,149	0,149
Tj	0,291	0,086	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,013	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,141	0,111	0,149	0,131

Fuente: elaboración propia

- Naranja

Tabla 41. *Matriz de decisión para residuos de naranja*

	Ca		Cb		Cc		Cd		Ce		Cf		Cg		Ch		Puntaje Final
	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	
Tc	0,291	0,006	0,017	0,004	0,018	0,024	0,110	0,134	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,174	0,111	0,015	0,107
Td	0,291	0,131	0,017	0,136	0,018	0,024	0,110	0,012	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,109	0,111	0,177	0,121
Te	0,291	0,196	0,017	0,254	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,227	0,306	0,141	0,111	0,010	0,111	0,244	0,226
Tf	0,291	0,157	0,017	0,136	0,018	0,291	0,110	0,266	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,076	0,111	0,144	0,176
Tg	0,291	0,118	0,017	0,060	0,018	0,291	0,110	0,145	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,043	0,111	0,077	0,117
Th	0,291	0,131	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,338	0,306	0,013	0,111	0,207	0,111	0,043	0,169
Ti	0,291	0,131	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,082	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,240	0,111	0,149	0,162
Tj	0,291	0,131	0,017	0,136	0,018	0,026	0,110	0,013	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,141	0,111	0,149	0,144

Fuente: elaboración propia

- Mezcla

Tabla 42. *Matriz de decisión para residuos de mezcla*

	Ca		Cb		Cc		Cd		Ce		Cf		Cg		Ch		Puntaje Final
	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	F.P	P.O	
Tc	0,291	0,003	0,017	0,004	0,018	0,022	0,110	0,134	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,174	0,111	0,015	0,106
Td	0,291	0,053	0,017	0,136	0,018	0,022	0,110	0,012	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,109	0,111	0,177	0,098
Te	0,291	0,291	0,017	0,254	0,018	0,265	0,110	0,266	0,258	0,227	0,306	0,141	0,111	0,010	0,111	0,244	0,253
Tf	0,291	0,156	0,017	0,136	0,018	0,265	0,110	0,266	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,076	0,111	0,144	0,175
Tg	0,291	0,156	0,017	0,060	0,018	0,265	0,110	0,145	0,258	0,016	0,306	0,141	0,111	0,043	0,111	0,077	0,128
Th	0,291	0,080	0,017	0,136	0,018	0,022	0,110	0,082	0,258	0,338	0,306	0,013	0,111	0,207	0,111	0,043	0,154
Ti	0,291	0,080	0,017	0,136	0,018	0,022	0,110	0,082	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,240	0,111	0,149	0,148
Tj	0,291	0,180	0,017	0,136	0,018	0,117	0,110	0,013	0,258	0,101	0,306	0,141	0,111	0,141	0,111	0,149	0,160

Fuente: elaboración propia

De la matriz en la tabla 38 se pudo observar que la mejor alternativa para tratar los residuos de plátano es mediante la implementación de un proceso de Biometanización, ya que obtuvo un 20,78% de puntuación siendo el más alto en comparación con las demás alternativas, en segundo lugar está la fermentación alcohólica con el 17,92%, a continuación se presenta el orden de prioridades para cada una de las tecnologías:

▪	Biometanización	20,8 %
▪	Fermentación alcohólica	17,9 %
▪	Combustión	17,0 %
▪	Pirólisis	16,3 %
▪	Gasificación	14,5 %
▪	Fermentación oscura	13,2 %
▪	Síntesis Fischer-Tropsch	11,8 %
▪	Transesterificación	10,7 %

Por su alto contenido en almidón, el cual es transformado por los microorganismos en glucosa y por su adecuada relación C:N los residuos de papa obtuvieron un excelente puntaje en los tratamientos biológicos, particularmente en la Biometanización la cual alcanzó un 23,4% de puntuación lo que la convierte en la tecnología más recomendada para este tipo de residuos.

▪	Biometanización	23,4 %
▪	Fermentación alcohólica	20,2 %
▪	Fermentación oscura	15,4 %
▪	Combustión	15,1 %
▪	Pirólisis	14,4 %
▪	Gasificación	12,6 %
▪	Transesterificación	10,7 %
▪	Síntesis Fischer-Tropsch	10,5 %

Los resultados de la matriz en la tabla 40 evidencian que la Biometanización es el tratamiento ideal para los residuos de mango en cuanto a obtención energética y se podría contemplar realizar el proceso mediante fermentación alcohólica, pues su puntuación fue de 19,5%, en último lugar está la transesterificación y la Síntesis Fischer-Tropsch lo que indica que los procesos químicos no son adecuados para este tipo de residuos.

▪	Biometanización	23,5 %
▪	Fermentación alcohólica	19,5 %

▪	Combustión	15,6	%
▪	Pirólisis	14,9	%
▪	Fermentación oscura	13,9	%
▪	Gasificación	13,1	%
▪	Síntesis Fischer-Tropsch	11,0	%
▪	Transesterificación	10,7	%

Los residuos de naranja tienen una relación C:N de 76,63 y adicional su humedad es del 55,2%; lo que le proporciona las características adecuadas para implementar una planta de Biometanización, esto justifica en cierta medida que según la matriz dicha tecnología alcanzará una puntuación de 22,6% convirtiéndola en la mejor alternativa para la obtención energética.

▪	Biometanización	22,6	%
▪	Fermentación alcohólica	17,6	%
▪	Combustión	16,9	%
▪	Pirólisis	16,2	%
▪	Gasificación	14,4	%
▪	Síntesis Fischer-Tropsch	12,1	%
▪	Fermentación oscura	11,7	%
▪	Transesterificación	10,7	%

Al igual que en los demás residuos, se pudo observar que para una mezcla de desechos que está conformado en su mayoría por cáscaras de papa, plátano, naranja y banano; la Biometanización es la mejor alternativa; puntualmente en este caso se logró el mayor puntaje entre los análisis realizados siendo este de 25,3%. Estos resultados permiten inferir que es posible para el agricultor combinar estratégicamente los residuos en diferentes proporciones a fin de asegurar las características de la biomasa requeridas por la tecnología y de esta forma optimizar su proceso.

▪	Biometanización	25,3	%
▪	Fermentación alcohólica	17,5	%
▪	Gasificación	16,0	%
▪	Combustión	15,4	%
▪	Pirólisis	14,8	%
▪	Fermentación oscura	12,8	%
▪	Transesterificación	10,6	%
▪	Síntesis Fischer-Tropsch	9,8	%

En general se puede decir que las tecnologías que encabezaron las alternativas con los máximos puntajes corresponden a procesos biológicos, seguidos por los procesos termoquímicos y al final los procesos químicos. La razón de este resultado se basa en que los procesos biológicos son más amigables con el ambiente, las características de la biomasa se ajustan perfectamente a la demandada por este tipo de tratamientos en los que se emplean microorganismos, son procesos que han alcanzado una madurez tecnológica adecuada para su puesta en marcha y adicionalmente pese a sus requerimientos técnicos son fáciles de comprender y de operar; lo que las convierte en llamativas para los medianos y pequeños agricultores o empresarios.

CONCLUSIONES

La industria agroalimentaria puede dar cumplimiento al objetivo 12 de la Agenda de Desarrollo Sostenible de 2030 mediante la reducción de su huella ecológica al disminuir significativamente los residuos de alimentos que se presentan en la cadena de producción por la implementación de plantas de tratamiento de desechos para la obtención energética y auto abastecimiento para sus procesos productivos dando a su vez cumplimiento al objetivo 7.

Implementar procesos para el aprovechamiento energético de residuos permite a las empresas del sector agroindustrial, incluidos los agricultores, alcanzar sus metas en cuanto a desarrollo sostenible y procesos de producción limpia; ya que mediante la reutilización de sus desechos pueden obtener energía limpia y a su vez disminuir sus impactos ambientales.

A nivel mundial se puede observar un aumento en la producción de bioenergía gracias a la participación de cinco países que encabezan la producción de electricidad a partir de biomasa, estos son Estados Unidos, Alemania, China, Brasil y Japón quienes para el año 2015 lograron la producción de 464000000 MWh

Las tecnologías que están disponibles para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales son la transesterificación, síntesis Fischer-Tropsch, biometanización, fermentación alcohólica, fermentación oscura, combustión, pirolisis y gasificación; la selección y uso de la tecnología depende del tipo de biomasa a trabajar, su caracterización y de las necesidades del inversionista.

El proceso de secado, compactación y torrefacción poseen características que permiten clasificarlos como procesos para pretratamiento de la biomasa y no como tecnologías para el aprovechamiento energético.

Colombia es un país que cuenta con un alto potencial de aprovechamiento energético a partir de residuos agroindustriales, en tanto que por su diversidad de climas posee diferentes tipos de cultivos que presentan características adecuadas para la implementación de este tipo de procesos, para el año 2013 se estimó que la participación en el suministro de energía primaria de energía a partir de biocombustibles y biomasa era del 12,5%.

En Colombia los cultivos más representativos son el plátano y la papa con una participación del 51 % de la producción nacional debido a que son cultivos que se producen durante todo el año a diferencia de los demás. Los principales departamentos de Colombia que más producción de frutas y verduras generan son Cundinamarca, Boyacá y Antioquia debido a que son zonas con amplios territorios y que tradicionalmente traen arraigada una cultura agrícola. Para el 2015 en Colombia el porcentaje de pérdida en frutas y verduras fue de 70,4% equivalente a 4'381.224 toneladas de desechos, los cuales se presentan en su mayoría en la etapa de producción agrícola.

Conforme a los datos obtenidos en los 5 análisis multicriterio realizados, se contempla que la mejor alternativa para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales del subsector de frutas y verduras en Colombia es el proceso de Biometanización, seguido de la fermentación alcohólica permitiendo que su integración a los procesos productivos favorezca la autogeneración de energía y de esta manera se conviertan en empresas más competitivas y amigables con el medio ambiente lo cual es fundamental para el cumplimiento de los principios del desarrollo sostenible.

RECOMENDACIONES

Es de vital importancia realizar investigaciones de tipo experimental con los diferentes cultivos a fin de obtener caracterizaciones de biomasa puntuales para cada residuo y de esta manera realizar un mejor análisis en el criterio de factibilidad de aplicación del proceso.

Antes de realizar un montaje a nivel industrial se recomienda realizar una evaluación financiera para las alternativas con mayor puntaje a fin de obtener información que permita a los inversionistas tomar mejores decisiones.

Es recomendable efectuar investigaciones y estudios a fondo sobre la cantidad de residuos generados en la cadena productiva durante las etapas de producción, poscosecha, almacenamiento y procesamiento industrial.

REFERENCIAS

- Abril, A., & Navarro, E. (2012). *Etanol a partir de Biomasa Lignocelulósica*. Mareny de Barraquetes: Aleta Ediciones.
- Agrowaste. (2013a). *Fermentacion Alcohólica- Bioetanol*. Murcia: Agrowaste.
- Agrowaste. (2013c). *Pirólisis*. Murcia: Agrowaste.
- Agrowaste. (2013d). *Gasificación*. Murcia: Agrowaste.
- Agrowaste. (2013e). *Secado Térmico*. Murcia: Agrowaste.
- Agrowaste. (2013f). *Digestión Anaerobia*. Murcia: Agrowaste.
- Agrowaste. (2013g). *Combustión Directa*. Murcia: Agrowaste.
- Alkalay, D. (s.f.). *Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Alzate, C. A., Toro, Ó. J., Arango, J. A., & Ramírez, L. E. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. . *Revista Colombiana de Biotecnología* 6 (2), 78-89.
- Araujo, S., De Almeida, A., Zabala, A., & Granados, A. (2013). Uso de catalizadores en los procesos Fischer-Tropsch. *Revista mexicana de ingeniería química*. 12 (2), 257-269.
- Arribas, R., Rodríguez, C., & Vázquez, J. (2005). *Determinación del tiempo de residencia en el interior*. Universidad de Huelva: Huelva.

Arteaga, L., Segura, C., & Diéguez, K. (2016). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *Afinidad*. LXXIII (573), 60-68.

Asocaña. (2015). *Aspectos Generales del Sector Azucarero 2014 - 2015*. Cali: Asocaña.

Asohofrucol. (2014). *Frutas y Hortalizas*. Obtenido de Balance y perspectivas del sector hortifrutícola: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Revista/Revista33.pdf>

Atmosferis.com. (2012). *Calderas de lecho fluido*. Obtenido de Generadores de vapor: <http://www.atmosferis.com/calderas-de-lecho-fluido/>

Banco Mundial. (s.f.a). *Densidad de población (personas por kilómetro)*. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.POP.DNST>

Banco Mundial. (s.f.b). *Índice de producción de alimentos (2004-2006 = 100)*. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.PRD.FOOD.XD?display=graph>

Barajas, D. (2011). *Diseño de una manta biodegradable de tipo experimental para la conservación de taludes a partir del análisis y evaluación de los residuos orgánicos agrícolas de la región del Boyacá*. Obtenido de Universidad de La Sabana (Tesis de Maestría): <http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/1234/DIEGO%20FERNANDO%20BARAJAS%20SEP%C3%9ALVEDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid. Tesis de grado: http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf

Bedoya, A., Castrillón, J., Ramírez, J., Vásquez, J., & Arias, M. (2008). Producción biológica de hidrógeno: una aproximación al estado del arte. *Dyna*. 75 (154), 137-157.

Benjumea, P., Agudelo, J., & Cano, G. (2004). Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. *Scientia Et Technica*. X (24), 169-174.

Berumen, S., & Llamazares, F. (2007). Usefulness of multiple criteria decision methods (such as AHP) in an environment with growing competitiveness. *Cuadernos de Administración*, 20(34), 65-87.

Biodisol. (s.f.). *Digestión anaerobia. Proceso de producción de biogás*. Obtenido de ¿Qué es el Biogás?: <http://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas/digestion-anaerobia-proceso-de-produccion-de-biogas-biocombustibles-energias-renovables/>

Blanco, S., & Rodríguez, T. (2012). Producción de biohidrógeno a partir de residuos mediante fermentación oscura: una revisión crítica (1993-2011). *Revista chilena de ingeniería*. 20 (3), 398-411.

Botero, J., & Mazzeo, M. (2009). *Obtención de harina de ráquis del plátano dominico hartón, y evaluación de su calidad con fines de industrialización*. Obtenido de Vector. Universidad de Caldas: http://vip.ucaldas.edu.co/vector/downloads/Vector4_10.pdf

Caicedo, W., Rodríguez, R., Lezcano, P., V. S., Flores, L., & Ferreira, F. (2015). Composición química y digestibilidad in vitro de ensilados de tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) destinados a la alimentación de cerdos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(1).

Carrasco, J. (2007). *Combustión Directa de la Biomasa*. Madrid: EOI.

Casañ, A. (2013). *La decisión multicriterio; aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29371/La%20Decisi%C3%B3n%20Multicriterio%3B%20Aplicaci%C3%B3n%20en%20la%20Selecci%C3%B3n%20de%20Ofertas%20Competitivas%20en%20Edificaci%C3%B3n.pdf?sequence=1>

Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*. (83), 117-140.

Cerdá, E., Caparrós, A., & Ovando, P. (2008). Bioenergía en la Unión Europea. *Ekonomiaz*. (67), 156-181.

Congreso de la República. (2014). Ley 1715 del 13 de Mayo de 2014. Bogotá: Diario Oficial No. 49.150 de 13 de mayo de 2014.

CONPES. (2008). Política Nacional Fitosanitaria y de Inocuidad para las Cadenas de Frutas y otros Vegetales. No 3514, 45. Bogotá, D.C, Colombia: DNP.

Coren. (s.f.). *Páginas principal*. Obtenido de http://www.coren.es/pdf/revista_84.pdf

Costa, D. (2016). *Mais energia a partir de resíduos em África – PNUMA*. Obtenido de Tela Non: <http://www.telanon.info/destaques/2016/04/07/21536/mais-energia-a-partir-de-residuos-em-africa-pnuma/>

Cruz, A., Guamán, M., Castillo, M., Glorio, P., & Martínez, M. (2015). *Fibra dietaria en subproductos de mango, maracuyá, guayaba y palmito*. Obtenido de Revista Politécnica: <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo2/Fibradietariaensubproductos.pdf>

Cukierman, A. (2016). Generación de bioenergía mediante procesos termoquímicos de conversión de biomasa. En M. Laborde, & R. Williams, *Energías Renovables Derivadas del Aprovechamiento de Aguas, Vientos y Biomasa* (págs. 56-78). Buenos Aires: ANCEFN.

Damien, A. (2010). *La biomasa : fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Madrid: Mundi-Prensa : AMV Ediciones.

DANE. (2015). *Encuesta Nacional Agropecuaria -ENA-*. Obtenido de

Agropecuaria: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuaria/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>

Demirbas, A. (2007). Progress and recent trends in biofuels. . *Progress in energy and combustion science*. 33 (1), 1-18.

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA. (2004). *Guías ambientales para la prevención y control de la contaminación industrial*. Obtenido de Cámara de Comercio de Bogotá: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Gu%C3%ADa%20Buenas%20Pr%C3%A1cticas%20para%20el%20sector%20alimentos.pdf

Díaz, J. (2014). *Influencia del soporte catalítico en la producción de combustibles sintéticos vía Fischer-Tropsch*. Ciudad Real: Universidad de Castilla-La Mancha.

Dinis, A., & Pardal, V. (2012). *Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis*. Badajoz: Universidad de Extremadura.

Dinuccio, E., Balsari, P., Gioelli, F., & Menardo, S. (2010). Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses. *Bioresource technology*, 101(10), 3780-3783.

DNP. (2016). *Pérdida y desperdicios de alimentos en Colombia*. Obtenido de Sinergia: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/P%C3%A9rdida%20y%20desperdicio%20de%20alimentos%20en%20colombia.pdf>

Escapa, A. (2011). *Producción de hidrógeno simultánea a la depuración de aguas residuales por medio de electrolisis biocatalítica*. León: Universidad de León.

Escudero, A. (2009). *Metano en residuos domésticos*. Obtenido de Universidad del Norte: <http://www.uninorte.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/3e-Escudero-Colombia-001.pdf>

Evangelista, A., Alcántar, F., Ramírez, N., Cohen, A., Robledo, J., & Cruz, M. (2014). Diseño de un proceso continuo de producción de Biodiesel. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13 (2), 483-491.

FAO. (1997). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Recuperado el 17 de Marzo de 2015, de Deposito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/w5800s/w5800s12.htm>

FAO. (2006). *La ganadería amenaza el medio ambiente*. Obtenido de Sala de Prensa: <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>

FAO. (2017). *Global food losses and food waste. Extent causes and prevention*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.htm>

Fernández, A., Gómez, T., Guerrero, F., & Caballero, R. (2016). Evaluación y clasificación de las técnicas utilizadas por las organizaciones, en las últimas décadas, para seleccionar proyectos. *projects. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 5,, 67-115.

Forero, C., Camargo, G., & Sierra, F. (2014). Modelos de compresión aplicados al proceso de densificación de combustibles sólidos binarios carbón-madera. *Iteckne*. 11 (2), 196-203.

Frantál, B., & Prousek, A. (2016). It's not right, but we do it. Exploring why and how Czech farmers become renewable energy producers. . *Biomass and Bioenergy*, 87, , 26-34.

French, L., Hamman, L., Katz, S., & Kozaki, Y. F. (2008). Zero Waste Strategies for Gills Onions Sustainable Innovation and Waste Management. . *California. Donald Bren School of Environmental Science and Management University of California, Santa Bárbara*.

García, J. (2014). *Methane Tri-reforming over nickel catalysts*. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha.

García, J. (s.f.). *Aplicación de membranas hidrófilas en la síntesis de Fischer-Tropsch para la producción de biodiesel a partir de biomasa*. Sevilla: Universidad de Sevilla .

García, L. (2016). *Densificación y Torrefacción de Biomasa de Chumbera (Opuntia SPP.) y Jara (Cistus SPP.)*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

GEO Soluciones. (2016). *Biodigestores*. Obtenido de Geoproductos : <http://www.geomembranas.com.co/geoproductos/biodigestores/>

Gerena, F. (2013). Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* L var valencia) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad diacol capiro (r-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de aliment. *UNAD*.

Giraldo, N., & Montoya, N. (2015). *Caracterización de residuos de banano (pseudotallo y hojas) mediante análisis termogravimétrico para uso potencial como biocombustible sólido*. Medellín: Universidad de Medellín.

Gómez, A., Zubizarreta, J. R., Dopazo, C., & Fueyo, N. (2010). An estimation of the energy potential of agro-industrial residues in Spain. . *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 972-984.

González, J., Gutierrez, F., Pablo Del Rio, G., San Miguel, G., Bahillo, A., Sanchez, J., . . . Aracil, J. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Madrid: Mundi-Prensa.

González, M., Pérez, S., Wong, A., Bello, R., & Yáñez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47 (3), 229-235. Obtenido de Clinical Key.

Grisales, J. C., & Giraldo, D. E. (2004). Empaques biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas . *Tesis doctoral Universidad Nacional de Colombia- Sede Manizales*.

Grupo de Gestión Eficiente de Energía, KAI; Grupo de Investigación en Energías, GIEN. (s.f.). *Cogeneración*. Obtenido de Tecnologías: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/cogeneracion.pdf>

Hernández, A., & Rodolfo, I. (2013). *Diseño del Proceso Fischer-Tropsch para la obtención de Biodiésel en México*. México, D. F.: Instituto Politecnico Nacional.

IDAE. (2008). *Biomasa "Industria"*. Madrid: ESCAN, S.A.
Incomimex. (2014). *Sistema de transporte para biomasa mediante cadena*. Obtenido de Alimentador Biomasa: <https://incomimex.wordpress.com/2014/01/27/alimentador-biomasa/>

International Energy Agency . (2013). *Colombia: Renewables and waste for 2013*.
Obtenido de <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=COLOMBIA&product=renewablesandwaste&year=2013>

Instituto para el Desarrollo Empresarial y Administrativo-IDEA. (s.f.). Herramientas de Calidad. Matriz de Selección. Perú: IDEA. Obtenido de: www.idea.edu.pe/herramientas/6taherramientadecalidadmatrizdeseleccion.doc

International Energy Agency . (s.f.). *Latest statistics and news*. Obtenido de <http://www.iea.org/statistics/>

Juárez, S., & Castro, A. (2013). Factibilidad técnica y económica de la producción de hidrógeno a partir de lodos del tratamiento de agua y otros desechos. *Tecnología y ciencias del agua. IV (2)*, 137-147.

Kaparaju, P., & Rintala, J. (2005). Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. . *Resources, Conservation and Recycling, 43(2)* , 175-188.

Kivaisi, A. K., & Rubindamayugi, M. S. (1996). The potential of agro-industrial residues for production of biogas and electricity in Tanzania. *Renewable Energy, 9(1)* , 917-921.

Lietti, A. (s.f.). *Tecnología del biogás, energía de residuos orgánicos y cultivos energéticos*. Madrid: UPA.

Lippel. (s.f.). *Compactación*. Obtenido de Categorías : <http://www.lippel.com.br/es/categorias/compactacao>

López, E. (s.f.). Obtenido de Dspace: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/35127/1/lopezgarciaemmanuel.pdf>

López, F., Pérez, C., Cuadros, F., & Ruiz, A. (2010). *Análisis de viabilidad de plantas de producción de biocombustibles sólidos en la provincia de Cáceres. [XIV*

International Congress on Project Engineering]. Madrid: Universidad de Extremadura.

Machado, C. (15 de Febrero de 2017). *Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe*. Obtenido de BIVICA: <http://www.bivica.org/upload/biocombustibles-situacion.pdf>

Maldonado, J. (2014). *Boletín del Grupo Español del Carbón nº 33*. Granada: GEC.

MAPAMA. (s.f.). *Sistemas de tratamiento*. Obtenido de Gestión: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Tratamientos-biologicos-biometanizacion.aspx>

Martín, F. (1994). Pélets y briquetas. *AITIM*. (171), 54-62.

Maya, Y. M. (2012). Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño. *Revista ION*, 25(2), 49-55.

Meneses, M. M., Agatón, L. L., Gutiérrez, L. F., Mendieta, L. E., & Botero, J. (2012). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. . *Revista Educación en Ingeniería*, 5(9), 128-139.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional de Producción y Consumo*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible*. Bogotá D.C: Gobierno Nacional.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (s.f.). *Cogeneración*. Obtenido de Programas y Servicios: <http://www.energia.gob.ec/coogeneracion/>

Ministerio de Minas y Energía, Upme, Ideam, Colciencias y UIS. . (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia: Contenido Energético de la Biomasa*. . Bogotá (Colombia).

Ministerio de Minas y Energías . (s.f.). *Energías Renovables No Convencionales*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>

Ministerio de Minas y Energías. (2015). *Incentivos tributarios para Fuentes No Convencionales de Energía*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/historico-de-noticias?idNoticia=16094924>

Morales, L. (2016). *Energía con biogás será producida por 47 empresas*. Obtenido de La prensa libre: <http://www.laprensalibre.cr/Noticias/detalle/64309/energia-con-biogas-sera-producida-por-47-empresas>

Morales, L., & Barriga, A. (2009). Análisis de los parametros y selección de hornos para la combustión de Biomasa. *Revista tecnológica ESPOL*. XX (XX), 1-9.

Morales, S., Rizo, P., Hernández, M., & Dávila, J. (2015). Producción de biohidrógeno en un reactor continuo UASB. *Revista Cubana de Química*. 27 (1), 65-78.

Moyano, M. (2014). *Fermentación en estado sólido (FES) de la papa. como alternativa tecnológica para la fermentación animal*. Obtenido de UNAD: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2545/1/2014-06.pdf>

Nogués, F., Garcia, D., & Rezeau, A. (2010a). *Energía de la Biomasa. (Vol.I)*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Nogués, F., Garcia, D., & Rezeau, A. (2010b). *Energía de la biomasa II (Energías renovables) (Vol. II)*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Nutresa. (2013). *Informe Anual de Sostenibilidad*. Obtenido de Enegia: <http://informe2013.gruponutresa.com/desarrollo-sostenible/sostenibilidad-ambiental/energia/>

Olaya, Y., & González, L. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
ONU. (1987). *Nuestro Futuro Común. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Informe Bruntland*. New York: Naciones Unidas.

ONU. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Obtenido de Naciones Unidas: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>

ONU. (2002a). *Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.un.org/es/development/devagenda/sustainable.shtml>

ONU. (2002b). *Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Documentos: http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSDsp_PD.htm

ONU. (2015a). *Seguimiento de los resultados de la Cumbre del Milenio*. Obtenido de Asamblea General: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/69/L.85>

ONU. (2015b). *Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Naciones Unidas: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/summit/>

ONU. (s.f). *¿Qué cambiará con la Cumbre de Johannesburgo?* Obtenido de Reportaje principal: http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/feature_story41.htm

Oppenoorth, H. (2014). *Energías renovables para la agricultura familiar*. Obtenido de Leisa.Revista de Agroecología: <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol30n1.pdf>

Ordóñez, L. H., & Ríos, Ó. A. (2014). Total concentration of carotenoids in tropical fruits waste. *Producción + Limpia*, 9(1), 91-98.

Padín, C., & Díaz, M. (2009). Fermentación alcohólica del lactosuero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes orgánicos como extractantes. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*. 29 (2), 110-116 .

Pérez, J., & Osorio, L. (2014). *Biomasa forestal como alternativa energética. Análisis silvicultural, técnico y financiero de proyectos*. Medellín: U. de Antioquia.

Plantasdebiomasa. (s.f.). *El Pretratamiento de la Biomasa*. Obtenido de Inicio: <http://www.plantasdebiomasa.net/el-pretratamiento-de-la-biomasa.html>

Portafolio. (2012). *Alpina tiene herramientas en beneficio del medio ambiente*. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/alpina-herramientas-beneficio-medio-ambiente-103296>

Prada, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Bogotá, 180-192. Revista EAN, (72), 182-192.*

Prostředí, Z. (2013). *Aktuální přehled bioplynových stanic v České republice*. Obtenido de BPS: <http://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/obnovitelne-zdroje-energie/bioplyn/bps/aktualni-prehled-bioplynovych-stanic-v.html>

Quale Energía.it. (2015). *Energia dagli agrumi, in Sicilia un progetto pilota*. Obtenido de <http://www.qualenergia.it/articoli/20151013-energia-dagli-agrumi-sicilia-un-progetto-pilota-produrre-energia-dal-pastazzo>

Quiceno, M. (2014). *Caracterización fisicoquímica del plátano*. Obtenido de Revista UGCA: <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/download/313/578>

Reategui, W., & Salas, F. (2013). Estudio del proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir del aceite de palma en un reactor por lotes. *Producción+ Limpia*. 8 (1), 119-134.

Redacción El Tiempo. (2015). *Cañicultores exploran la cogeneración de energía*. Obtenido de Documento: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15222076>

Rico, J. (2016). *Coren estrena una caldera de vapor de biomasa pionera en Galicia*. Obtenido de Energías Renovables . Biomasa: <http://www.energias-renovables.com/biomasa/coren-estrena-una-caldera-de-vapor-de-20160411>

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Romero, J. (s.f.). *Anexo 10: Estudio de las tecnologías de combustión*. Ciudad Real: Universidad de Castilla- La Mancha.

Rosas, J. (2015). *Producción de Biochar a partir de viñas agotadas mediante Pirólisis en Reactora escala pilotoyen Reactor Móvil energéticamente sostenible* . León: Universidad de León.

Rotoplast. (s.f.). *Biodigestor*. Obtenido de Catálogo: <http://www.rotoplast.com.co/biodigestor/>

RWL Water. (2015). *Kenia Toma la Delantera en el Uso de Biogás en Africa*. Obtenido de <https://www.rwlwater.com/kenia-toma-la-delantera-en-el-uso-de-biogas-en-africa/?lang=es>

SafeCreative. (2012). *Fundamentos de la Biomasa*. Obtenido de <http://eu.storage.safecreative.org.s3-eu-west-1.amazonaws.com/1/2012/01/15/00000134/e13d/fcf3/bb98/d00371a6c5d2/FundamentosdelabiomasaEsquemas.pdf?response-content-type=application%2Fpdf&AWSAccessKeyId=1SXTY4DXG6BJ3G4DXHR2&Expires=1486508310&Signature=t5e>

Sánchez, I. (2014). *Análisis comparativo de las tecnologías de valorización de residuos basadas en la gasificación. [Conama 2014]*. Castellón de la Plana: Universidad Jaume I de Castelló.

Sánchez, N. (2014). *Obtención de gas de síntesis a partir de biomasa utilizando catalizadores de níquel*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

Schievano, A., D'Imporzano, G., & Adani, F. (2009). Substituting energy crops with organic wastes and agro-industrial residues for biogas production. . *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2537-2541.

Secretaría de Energía de la República Argentina. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*. Buenos Aires: INTI.

Sociedad de Agricultores de Colombia. (2012). *Sectro Agroindustrial colombiano*. Obtenido de Proexport Colombia: <http://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/Perfil%20Sector%20Agroindustrial%20Colombiano%20-%202012.pdf>

Solera, R. (2014). *De Residuos a Recursos. Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica II.2*. Madrid: Mundi-Prensa.

Teribia, D. (2016). *Ubicación óptima de una biorrefinería en La Rioja y en la ribera de Navarra en función de factores económicos y medioambientales*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.

Trasobares, J. (2011). *Torrefacción de biomasa: diseño y propuesta económica de un reactor experimental*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Triyanond, S. (2015). *Potential Future for Palm-Based Biofuel Industry in Thailand*. Surat Thani: Asia Palm Oil Conference (APOC).

U.S. Energy Information Administration. (2015). *China. International energy data and analysis*. Obtenido de EIA: https://www.eia.gov/beta/international/analysis_includes/countries_long/China/china.pdf

Unad. (s.f.). *Condiciones para lograr una fermentación óptima*. Obtenido de Lección 4: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/306598/contLinea/leccion_4_condiciones_para_lograr_una_fermentacin_ptima.html

Universidad de Valencia. (s.f.). *Tasas de variación e indicadores (números índices)*. Obtenido de <https://www.uv.es/ceaces/numindices/numeros.htm>

UPME. (s.f.). *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/1768/files/Atlas%20de%20Biomasa%20Residual%20Colombia__.pdf

Varnero, M. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: FAO.

Vázquez, H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. . *Ingeniería, investigación y tecnología*. VIII (4), 249-259.

Yepes, S. M., Montoya, L., & Orozco, F. (2008). Valorización de Residuos Agroindustriales–Frutas–en Medellín y El Sur Del Valle Del Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61(1), 4422-4431.

Zervos, A. (2016). *Renewables 2016. Global Status Report*. Obtenido de REN21: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf