

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA CON POTENCIAL
ENERGÉTICO EN LA PROVINCIA DE TOCACHE,
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN”**

**Presentada por:
JUDITH MARÍA RAMÍREZ CANDIA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2016

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1.	Biomasa y Energía de la Biomasa.....	4
2.1.1.	Definición y Clasificación.....	4
2.1.2.	Métodos de Transformación de la biomasa en energía	9
2.2.	Biomasa Residual Agrícola.....	12
2.2.1.	Origen y Clasificación.....	12
2.2.2.	Propiedades de los residuos de biomasa.....	13
2.2.3.	Opciones tecnológicas para el Pretratamiento de la biomasa.....	16
2.2.4.	Opciones tecnológicas para la conversión energética	18
2.2.5.	Biocombustibles de origen agrícola y sus aplicaciones	20
2.2.6.	Biomasa residual agrícola en el contexto nacional.....	21
2.3.	Métodos para la Estimación de la Biomasa.....	23
2.3.1.	Recursos de biomasa y potencial energético	23
2.3.2.	Metodologías para la Estimación	25
2.4.	Tocache, acceso a la energía y situación agrícola	28
2.4.1.	Situación energética y acceso a la energía	30
2.4.2.	Situación agrícola y principales cultivos.....	31
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1.	Materiales.....	37
3.1.1.	Análisis documental y fuentes.....	37
3.1.2.	Observación directa y entrevista a informantes clave	37
3.1.3.	Generación de base de datos y Procesamiento de la información.....	38
3.2.	Métodos.....	38
3.2.1.	Determinación de la Biomasa Residual Agrícola Potencial y Disponible	38

3.2.2.	Estimación del potencial energético.....	43
3.2.3.	Aporte energético de la Biomasa Residual.....	46
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1.	Biomasa Residual Agrícola disponible para la generación de energía.....	49
4.1.1.	Cultivos, Flujogramas de producción y Factor de Producción de Residuos	49
4.1.2.	Producción de Biomasa Residual Agrícola y su distribución espacial.....	76
4.2.	Potencial Energético de la Biomasa Residual en la Provincia de Tocache	83
4.3.	Aporte de la Biomasa Residual agrícola como fuente energética	90
4.3.1.	Aporte en la atención de la demanda de energía a nivel doméstico	90
4.3.2.	Aporte en la atención de la demanda agroindustrial	92
V.	CONCLUSIONES	97
VI.	RECOMENDACIONES	98
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
VIII.	ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fuentes de Biomasa residual agrícola	12
Tabla 2: Parámetros físicos, químicos y energéticos de la biomasa.....	14
Tabla 3: Usos y aplicaciones de los biocombustibles.....	20
Tabla 4: Cultivos de la Provincia de Tocache	32
Tabla 5: Cultivos permanentes y anuales más representativos de la provincia de Tocache.	33
Tabla 6: Superficie cultivada, producción y rendimiento de los principales cultivos de la Provincia de Tocache 2004-2014	35
Tabla 7: Tipo de cultivo, recolección de cosechas y disponibilidad	49
Tabla 8. Cultivos, tipos de residuos producidos, Factores de Producción de residuos (FPR)	73
Tabla 9. Producción de residuos de maleza periodo 2004-2014 en la provincia de Tocache.	76
Tabla 10. Producción de residuos de poda, cosecha y procesamiento en el periodo 2004- 2014 en la provincia de Tocache.....	77
Tabla 11. Características fisicoquímicas y energéticas de la biomasa residual potencial de los 07 cultivos estudiados.....	84
Tabla 12. Energía Potencial aprovechable y valorización de la biomasa residual agrícola en la Provincia de Tocache.....	85
Tabla 13. Capacidad instalada térmica y eléctrica aprovechable de la biomasa residual agrícola en la Provincia de Tocache	87
Tabla 14. Demanda energética domestica de los distritos de Nuevo Progreso, Polvora, Shunte, Tocahe y Uchiza.....	90
Tabla 15. Aporte de la biomasa para la atención de la demanda de centros poblados sin energía en la provincia de Tocache.	91

Tabla 16. Demanda energética para cocción de los distritos de Nuevo Progreso, Polvora, Shunte, Tocache y Uchiza.	92
Tabla 17. Relación de Agroindustrias en la provincia de Tocache y capacidad de procesamiento.	93
Tabla 18. Demanda de energía proyectada para el procesamiento de cacao.....	94
Tabla 19. Demanda de energía proyectada para el procesamiento de café	94
Tabla 20. Demanda de energía proyectada para el procesamiento de arroz càscara.	94
Tabla 21. Demanda energética agroindustrial y aporte de la biomasa residual	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Conversión Energética de la Biomasa	9
Figura 2: Rutas de conversión de la biomasa	10
Figura 3: Información general de las tecnologías de conversión y su actual estado de desarrollo	11
Figura 4: Fuentes y posibles aprovechamientos energéticos de la biomasa residual agrícola	18
Figura 5: Localización geográfica y división política de la provincia de Tocache.	28
Figura 6: Superficie cultivada de los principales cultivos de Tocache.....	34
Figura 7: Generación de residuos por etapa productiva de un cultivo tipo.	40
Figura 8. Porcentaje de Recolección de cosechas Arroz, Maíz amarillo, yuca, café, palma y plátano en la Provincia de Tocache durante el periodo 2007-2008.....	50
Figura 9: Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del arroz y su procesamiento.....	51
Figura 10: Residuos en el cultivo del arroz (Oryza Sativa) y su procesamiento.....	53
Figura 11. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del cacao y su procesamiento.....	54
Figura 12. Residuos en el cultivo del Cacao (Theobroma cacao) y su procesamiento.	56
Figura 13. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del café y su procesamiento.....	57
Figura 14. Residuos en el cultivo del café (Coffea arabica L.) y su procesamiento.	59
Figura 15. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del maíz amarillo y su procesamiento.....	60
Figura 16. Residuos en el cultivo del maíz amarillo (Zea mays) y su procesamiento.	62
Figura 17. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo de la palma aceitera y su procesamiento.....	63

Figura 18. Residuos en el cultivo de la palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>) y su procesamiento.....	65
Figura 19. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del plátano y su procesamiento.....	66
Figura 20. Residuos en el cultivo del plátano (<i>Musa Paradisiaca L.</i>) y su procesamiento. 68	
Figura 21. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo de la yuca y su procesamiento.....	69
Figura 22. Residuos en el cultivo de la yuca (<i>Manihot esculenta</i>) y su procesamiento.	71
Figura 23. Residuos de la actividad agrícola y de procesamiento en la Provincia de Tocache.....	75
Figura 24. Evolución de la generación de residuos Agrícolas en el periodo 2004-2014 en (t /promedio año).....	78
Figura 25. Evolución de la generación de residuos de procesamiento en el periodo 2004-2014 en (t /promedio año)	78
Figura 26. Distribución espacial de la biomasa residual potencial en la provincia de Tocache.....	80
Figura 27. Producción promedio de residuos en los 05 distritos de la provincia de Tocache.....	81
Figura 28. Producción de residuos por distritos y cultivos en el periodo 2004-2008 en la provincia de Tocache.....	82
Figura 29. Potencial energético de la biomasa residual agrícola en los 05 distritos de la provincia de Tocache.....	89
Figura 30. Localización de la demanda de energía doméstica y agroindustrial en la provincia de Tocache y potencial aporte de la biomasa residual.	96

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cálculos detalles para determinación de Biomasa Residual Agrícola y de Procesamiento	111
Anexo 2. Biomasa residual potencial en los 05 distritos de la provincia de Tocache en el periodo 2004-2008	114
Anexo 3. Producción de Energía potencial y capacidad instalada en MWt y MWe	115

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha evaluado el potencial energético que es posible obtener con la biomasa residual producida por la actividad agrícola en la Provincia de Tocache. Se ha analizado la producción y disponibilidad de los residuos para los años 2004 -2014, considerando las labores culturales y cosecha (biomasa residual agrícola) y el procesamiento (biomasa residual de procesamiento) de 07 cultivos: arroz, cacao, café, maíz amarillo duro, palma aceitera, yuca y plátano. Para ello se analizó y proceso series históricas de cultivos, se planteó flujogramas de producción de cultivos y factores de producción de residuos – FPR. Así se identificó 20 residuos disponibles de origen diverso. Con estos residuos y tomando en consideración sus características fisicoquímicas, se ha estimado el potencial técnico para producir energía térmica y eléctrica. A partir del análisis de población sin acceso a energía, se ha determinado el aporte energético que puede tener esta biomasa en la atención de la demanda de energía doméstica y agroindustrial. Se ha obtenido que la provincia puede generar entre 3740 y 9253 t/año de biomasa residual agrícola y 12 332 t/año de biomasa residual de procesamiento, lo que ha significado un potencial energético de 22, 83 y 128 GJ/año respectivamente. Esta biomasa disponible tiene potencial energético para producir energía térmica y eléctrica suficiente para el abastecimiento energético de la población demandante y la promoción de una agroindustria de valor agregado del cacao, café y arroz.

Palabras clave: Energía de la biomasa, recursos energéticos, desperdicio agrícola, San Martín, Tocache.

SUMMARY

In the present research it was evaluated the energetic potential that is possible to obtain with the residual biomass produced by the agricultural activity in Tocache's Province. The production and availability of the residues for the year 2004-2014 was analyzed, considering cultural labors and harvest (residual agricultural biomass) and from processing residues (residual biomass of processing) of 07 crops: rice, cocoa, coffee, yellow maize, palm oil, cassava and banana. The historical series of crops, flowcharts of production and factors of residue production (FRP) have been processed and analyzed. Twenty available residues of diverse origin were identified. Taking into consideration its physicochemical characteristics was estimated its technical potential for production of heat and electrical energy. The analysis of the population without access to energy has been helpful to decide the energetic contribution of biomass in attention to the demand of energy for domestic and agro-industry. The results showed that the province can generate between 3740 and 9253 ty⁻¹ of residual agricultural biomass and 12 332 ty⁻¹ of residual processing biomass, which means an energetic potential of 22, 83 and 128 GJ/y respectively. This available biomass has the energetic potential to produce heat energy and electricity for the population demand and the promotion of agro-industry added value of the cocoa, coffee and rice.

Key Words: Biomass, energy, agricultural waste, San Martín, Tocache.

I. INTRODUCCIÓN

Las características geográficas de la región amazónica condicionan el asentamiento de las poblaciones y la dotación de infraestructura física. Desde el punto de vista energético es la región de menor cobertura eléctrica. Se estima que alrededor del 86 por ciento de las 1,509 comunidades nativas de Loreto, Amazonas, San Martín y Ucayali no tienen acceso a la energía debido a la dificultad y el elevado costo de la ampliación de la red eléctrica en esta región.

La economía productiva de esta región se orienta a las actividades forestales, agroindustriales, agrícolas y pecuarias. Estas actividades generan residuos (aserrín, trozos de madera, cascarillas, rastrojos, estiércol, etc.) que son almacenados y quemados en centros de acopio o como en el caso de los aserrines, arrastrados por la crecida de los ríos en época de lluvia, ocasionando una gestión inadecuada de los residuos y causando problemas ambientales por emisión de gases y lixiviación.

Los residuos de biomasa podrían servir para generar energía térmica y eléctrica. Existen tecnologías que transforman los residuos en energía, pero la selección de la alternativa adecuada está en función de la estimación del volumen del residuo producido y las características fisicoquímicas del mismo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el aprovechamiento de este potencial energético podría verse complejizada por la forma dispersa de generación y transformación de los recursos de biomasa. Por lo que la generación de información local sobre este aspecto, podría favorecer una gestión adecuada de estos recursos y el planteamiento de nuevos esquemas para su explotación.

El aprovechamiento de los recursos de biomasa, pueden ser una alternativa para resolver el problema del acceso y la calidad de la energía en las zonas rurales de la región amazónica. La utilización de estos residuos permitiría maximizar el uso de la materia prima y mejorar su gestión contrarrestando los problemas ambientales por su inadecuada disposición.

El “Plan Nacional de Agroenergía 2009-2020”, reconoce a la biomasa de la actividad agrícola como fuente potencial para la generación de energía térmica y eléctrica. Sin embargo, señala la necesidad de generar información sobre el volumen de residuos generados en la actividad, considerando necesario que los sectores involucrados del Ministerio de Energía y Minas - MEM y Ministerio de Agricultura- MINAGRI desarrollen sistemas de información que permitan cuantificar la biomasa para uso energético.

Estudios para el Perú realizados por Horta (1988), Barrena et al (2013), MINAGRI (2009), Asureria y Asureria (2013), y MEM (2013), han determinado una aproximación del potencial de biomasa nacional y regional. Recomendando en la mayoría de los casos, la necesidad de un planteamiento metodológico o la adopción de uno existente para la estimación de la biomasa y el desarrollo de estimaciones a nivel local. En todos los estudios revisados, se reconoce la potencialidad de la biomasa como fuente energética promisoría.

En ese sentido, el presente trabajo de investigación propone una evaluación del potencial de biomasa residual a nivel local, derivado de la actividad agrícola y con capacidad de generar energía. Se toma como caso de estudio la provincia de Tocache. Por lo que se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar y cuantificar la producción de biomasa residual agrícola disponible.
- Estimar el potencial energético posible de generar con la biomasa residual disponible.
- Identificar el aporte de la biomasa residual agrícola como fuente energética en la Provincia de Tocache.

Por lo que el presente trabajo de investigación tiene los siguientes alcances:

- El ámbito territorial es el nivel provincial. Se selecciona una provincia del Departamento de San Martín, debido a este departamento condiciones para la actividad agrícola, un marco normativo que promueve las fuentes renovables de energía y el manejo de residuos agrícolas. Asimismo cuenta con una de las mayores zonas de producción de biocombustibles ubicada en la provincia de Tucumán.
- Es un estudio con una visión meso. Puede servir de base para estudios de nivel micro (distrital, sectorial, etc.).
- Se estudió los 07 cultivos principales de la provincia de Tucumán.
- Se buscó identificar la disponibilidad de biomasa residual agrícola. Por lo que se usó data histórica comprendida en el período 2004 al 2014 sobre los principales indicadores económicos agrícolas.
- Se buscó formular una herramienta para la gestión o toma de decisiones, de fácil uso, aplicable a diferentes cultivos y localidades.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Biomasa y Energía de la Biomasa

2.1.1. Definición y Clasificación

Etimológicamente, biomasa es un término compuesto por el prefijo “bio” (del griego *bios*, vida) y “masa” (del latín *massa*, masa, bulto o volumen), es decir, hace referencia a “masa biológica” (Sebastián et al. 2010). Es producida por organismos vivos, principalmente a través de la actividad fotosintética de las plantas, pero también es producida por animales, insectos y microorganismos. Esta está compuesta esencialmente de polímeros complejos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre en baja proporción y de elementos inorgánicos (Damien, 2010). Sin embargo, estas definiciones *per se* pueden ser lo suficientemente amplias y ambiguas.

Otra definición utilizada cuando se hace referencia a la biomasa como fuente de energía primaria o se plantea su aprovechamiento energético, y atendiendo a una referencia explícita de su renovabilidad, propone que “biomasa es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía renovable, entendiéndose como tal que, por lo menos, se consume a un ritmo inferior o igual al que se produce” (Sebastián F. et al. 2010). Los mismos autores señalan que la energía de la biomasa procede de la energía química acumulada en los enlaces atómicos e intermoleculares de los compuestos que la constituyen. Por tanto, dado que la biomasa procede de manera directa e indirecta de la materia orgánica fijada mediante la fotosíntesis, la energía de la biomasa proviene, en última instancia, del sol.

Damien (2010) lista en su obra una serie de definiciones reglamentarias de la biomasa. En ellas se incluyen reglamentaciones de la Unión europea (Directivas 2001/77/CE; 2011/80/CE; 2033/30/CE), francesa (dadas por la *Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie* - ADEME), española (LEY 45/2007; LEY 2/2007; REAL DECRETO 661/2007 y CIRCULAR 2/2007). Las

definiciones normativas se vinculan con las emitidas por el Comité Europeo de Normalización – CEN y los comités técnicos TC 335 (Biocombustibles sólidos - BS) y TC 343 (Combustibles sólidos de recuperación – CSR). De este grupo, resulta importante recoger lo definido por el artículo 2b de la Directiva SER 2001/77/CE, en donde se señala que la biomasa es “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias vegetales y animales), la silvicultura y las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”.

Es de interés para el presente trabajo de investigación extraer también la definición de algunos términos propios del estudio de la biomasa, como por ejemplo:

- Biodegradable: capaz de sufrir una descomposición anaeróbica o aeróbica.
- Biosintético: producido por organismos vivos durante procesos naturales, pero no fosilizado ni derivado de recurso fósil.
- Bioenergía: la energía contenida en la biomasa o producida a partir de la biomasa
- Biocombustible, que hace referencia a un combustible producido directa o indirectamente a partir de la biomasa.
- Biocarburante, son combustibles líquidos o gaseosos para automoción producidos a partir de biomasa.
- Combustible: sustancia sólida, líquida o gaseosas, que al combinarse con el oxígeno liberan energía térmica.
- Residuo: es aquella que considera que "el término residuo comprende todo bien u objeto que se obtiene a la vez que el producto principal, e incluye tanto los que han devenido in aprovechables ("desechos"), como los que simplemente subsisten después de cualquier tipo de proceso ("restos" o "residuos" propiamente dichos)". (Campins, citado por Gómez, 1995)
- Sub-producto: Producto intermedio de alguna actividad de procesamiento.

Sobre la clasificación de la biomasa, existen múltiples criterios, consideraciones, apelativos y nomenclatura utilizados por diferentes autores y en diferentes disciplinas para completar una tipología de las diferentes formas de biomasa existentes. A continuación se lista una propuesta señalada por Sebastián et al, (2010):

Por el modo de obtención de la biomasa.

- Biomasa primaria, que se obtiene directamente de un ecosistema natural para su utilización energética.
- Biomasa secundaria, llamada también residual, es la obtenida como residuo o subproducto de una actividad humana.
- Biomasa terciaria, es un producto procesado previamente para su utilización energética, por ejemplo el biogás, pellets, briquetas, etc.

Por la fuente de obtención de la biomasa

- Biomasa natural o nativa (madera de bosques, pastos, peces, algas, etc.)
- Biomasa cultivada (plantaciones forestales, cultivos agrícolas, productos de acuicultura). Se denominan también agro combustibles
- Biomasa residual (residuos forestales de monte, de industria; residuos agrícolas, residuos agroindustriales; residuos pecuarios, residuos sólidos urbanos, residuos cloacales o de saneamiento).

Por su relación con la alimentación, aunque su diferencia no siempre sea clara porque depende del entorno y factores sociales:

- Biomasa comestible,
- Biomasa no comestible, aquellos que no compiten por alimentos y pueden ser destinados a biocombustible sin afectar la seguridad alimentaria. Lo cual puede considerarse una falacia, ya que todos los cultivos compiten por la misma tierra y agua.

De acuerdo al sector en el que la actividad humana obtiene la biomasa:

- Biomasa agrícola
- Biomasa forestal
- Biomasa industrial

Por el modo en el que se puede obtener energía de la biomasa:

- Biomasa sólida. Pueden obtenerse de fuentes primarias o cultivos energéticos o de fuentes secundarias como residuos de la actividad agrícola, selvícola, etc. Todas ellas recolectadas en estado sólido y de las que se puede obtener energía por procesos termoquímicos.
- Biomasa residual húmeda. Pueden obtenerse de residuos pecuarios, urbanos, aguas residuales o de actividades agroindustriales. La materia recolectada tiene alto contenido de humedad, su composición permite que esta materia orgánica sea degradada mediante procesos bioquímicos.
- Biocarburante. Son aquellos combustibles líquidos con alto poder calorífico que puede utilizarse en sistemas térmicos como motores modificados de combustión interna, quemadores o turbinas. Pueden denominarse biomasa terciaria, debido a que no se obtienen de una fuente primaria, ni como subproducto de una actividad, es más bien una biomasa procesada. Dependiendo del tipo de materia prima (aceites, azúcares), puede obtenerse biodiesel y bioetanol. Es posible también obtener biocarburante de biomasa lignocelulósica. Debido al tipo de materias utilizadas, surge una nueva clasificación en biocarburante de primera y segunda generación.

Por la Generación tecnológica:

- Primera Generación o B1G, provienen de cultivos energéticos o fuentes primarias que se procesan por medios convencionales. Pueden ser sólidos (leña, carbón vegetal, bagazo, pellets), líquidos (bioetanol, biodiesel, licor negro) o gaseosos (biogás y gas de síntesis).

- Segunda generación o B2G, se elaboran a partir de materias primas que pueden convertirse en celulosa, como los residuos de los cultivos alimenticios, residuos silvícolas o de procesamiento como aserrín o plantas con un alto contenido de materia lignocelulosa. Pueden ser sólidos (biochar, torrefactos, torpellets) y líquidos (Etanol celulósico, syndiésel, aceite de pirolisis).
- Tercera generación o B3G, se elaboran a partir de cultivos específicos de especies no comestibles, también se obtienen a partir de residuos. La diferencia con los de segunda generación es la biotecnología que se utiliza. También son conocidos como los biocarburantes avanzados. Pueden ser líquidos (diesel de algas, etanol de algas) y gaseosos (biohidrógeno).

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, nos referiremos una clasificación combinada de la biomasa, es decir, una forma de biomasa que se obtiene de fuentes secundarias, residuales obtenida de la actividad agrícola, que no compite con la seguridad alimentaria al ser no comestibles, de estado sólido principalmente y que pueden pertenecer a una generación de biocarburantes de primera y segunda generación. Por lo que se utilizará el término Biomasa Residual Agrícola, terminología que se ampliará en el acápite 2.2.

Por otro lado, para lograr el aprovechamiento de esta biomasa, es necesario transformarla con tecnologías primera y segunda generación que se revisaran en el apartado siguiente.

2.1.2. Métodos de Transformación de la biomasa en energía

La Figura 1 muestra los procesos de transformación que puede sufrir la biomasa por la fuente de obtención. Se muestra asimismo la ruta de transformación, los productos intermedios y finales obtenidos de cada proceso.

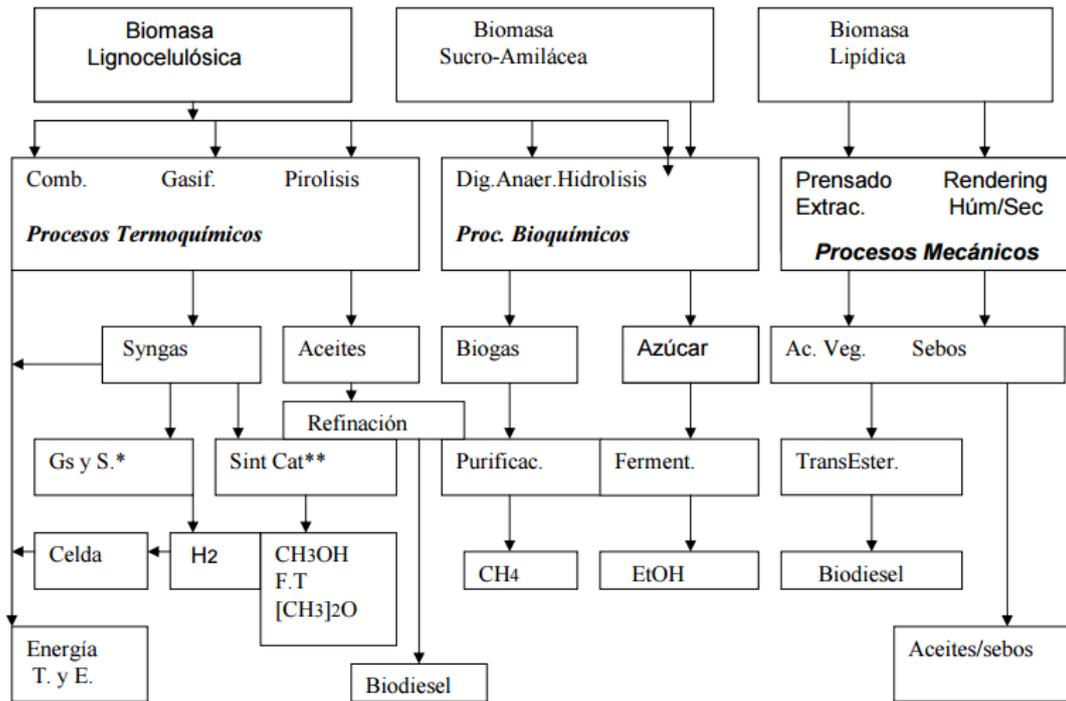


Figura 1: Conversión Energética de la Biomasa

Fuente: Champagne citado por Prando, 2015

*Gs y S: Trans. Gasa/agua y sep.

** Sint cat; síntesis catalizadas

Así puede observar que la biomasa de origen lignocelulósico puede transformarse por procesos termoquímicos y bioquímicos. Según Sebastián et al, (2010), el porcentaje de humedad, determinara el proceso de transformación.

Por otro lado, la sucro amilasa y la lipídica, pueden transformarse por procesos bioquímicos y mecánicos respectivamente. Pero en ningún caso, la ruta de transformación es termoquímica.

Otra clasificación de las rutas de conversión de la biomasa se muestra en la Figura 2.

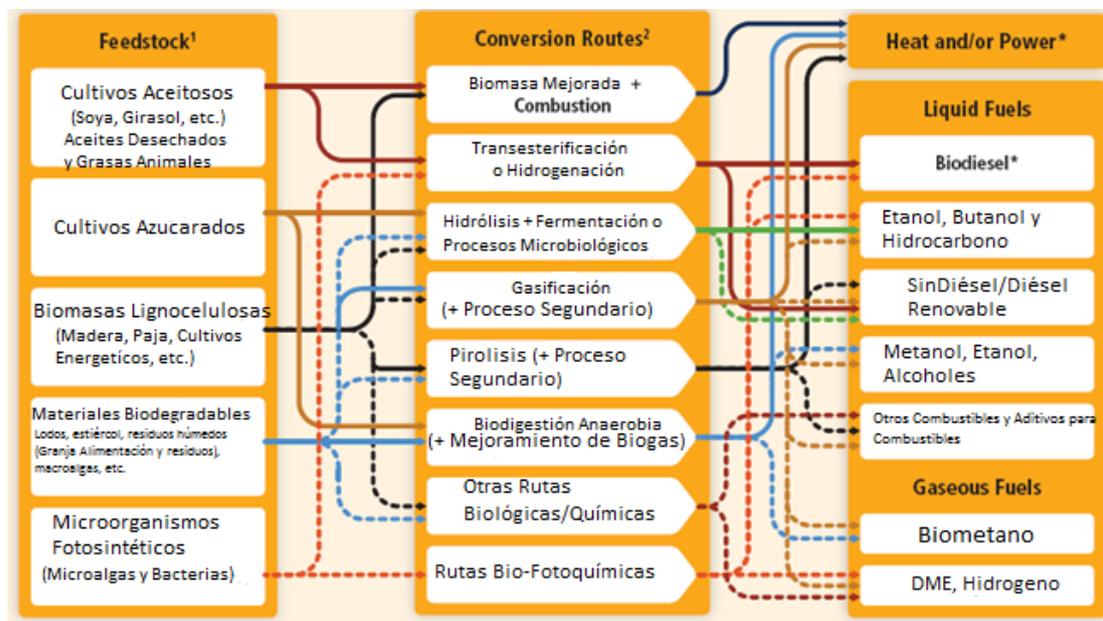


Figura 2: Rutas de conversión de la biomasa

Fuente: AIE, 2010

Procedente de diversas materias primas, procesadas a través de varias y diferenciadas cadenas de producción, para la cual se obtienen diversos productos finales (biocombustibles, pellets, biogás, etanol, metanol, etc.), se puede apreciar que la bioenergía en sí misma es un recurso complejo.

Por otro lado, las rutas de conversión de la biomasa antes revisadas, no están completamente desarrolladas. En la Figura 3, se muestra el estado de madurez tecnológica de la bioenergía a nivel internacional.

	Basic and applied R&D	Demonstration	Early commercial	Commercial
Biomass pretreatment	Hydrothermal treatment	Torrefaction	Pyrolysis	Pelletisation/ briquetting
Anaerobic digestion	Microbial fuel cells			2-stage digestion 1-stage digestion Biogas upgrading Landfill gas Sewage gas
Biomass for heating			Small scale gasification	Combustion in boilers and stoves
Biomass for power generation				
Combustion		Stirling engine	Combustion with ORC	Combustion and steam cycle
Co-firing		Indirect co-firing	Parallel co-firing	Direct co-firing
Gasification	Gasification with FC	BICGT BIGCC	Gasification with engine	Gasification with steam cycle

Note: ORC = Organic Rankine Cycle; FC = fuel cell; BICGT = biomass internal combustion gas turbine; BIGCC = biomass internal gasification combined cycle

Figura 3: Información general de las tecnologías de conversión y su actual estado de desarrollo

Fuente. Bauen citado por AIE (2010)

De ello se deduce que existen varias las tecnologías para aprovechar la biomasa que han alcanzado una madurez comercial, tales como la peletización y briquetado, digestión anaerobia, combustión en calderos, ciclos de vapor, cogeneración y gasificación con ciclos de vapor.

Estas tecnologías antes mencionadas, aún son incipientes en el Perú. Las tecnologías que han tenido un reciente desarrollo son la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos y la cogeneración. Otras tecnologías como la gasificación, el peletizado y briquetado están aún en fase de demostración.

2.2. Biomasa Residual Agrícola

2.2.1. Origen y Clasificación

La biomasa del sector agrícola puede devenir de dos fuentes: cultivos energéticos y residuos agrícolas. En el primer caso se trata de cultivos específicos para su aprovechamiento energético, denominado también Agro energética. En el segundo caso, los residuos se producen durante todas las etapas de la actividad agrícola productiva. En la Tabla 1 se muestran las fuentes de biomasa residual agrícola y los tipos y residuos que se producen.

Tabla 1: Fuentes de Biomasa residual agrícola

Actividad que los produce	Tipos	Residuos que genera
Cosecha de herbáceos	Cereales, oleaginosas, algodón, arroz, café, etc.	Paja, corazones de mazorcas de maíz, bagazo, cascarillas, etc.
Poda de leñosas	Frutales, olivo, Vid, etc.	Ramas, pies secos, trozos de madera, etc.

Fuente: Modificado de Esteban, (2010)

En los residuos herbáceos, es el grano o fruto el producto principal que se recoleta, mientras que el resto de la planta se suele considerar residuo o subproducto.

En los cultivos leñosos la relevancia está en la producción de residuos como consecuencia de las podas que en ellos se realizan, consiste en ramas de la copa del árbol, trozos de madera y ramas menores.

Los restos generados por la actividad agrícola, son considerados dentro de la clasificación de biocombustibles sólidos, dado que la materia recolectada se encuentra en estado sólido. De esta materia se puede extraer energía a través de procesos termoquímicos, denominándose biocombustible de primera generación

y si se utilizan procesos bioquímicos, se obtiene un biocombustible de segunda generación.

Esteban (2010), señala algunos condicionamientos para el aprovechamiento de esta biomasa, tales como:

- Crecimiento estacional de los cultivos. Entendido por los tiempos de cosecha de los cultivos de acuerdo a si son anuales o permanentes.
- Logística de recolección, que requiere una coordinación previa con los agricultores a fin de asegurar la disponibilidad total o parcial de los mismos.
- Precios de los residuos u facilidades para lograr que la disponibilidad se encuentre asegurada.

Por otro lado, debido a que las fuentes de biomasa residual son diversas, resulta importante caracterizarlas a fin de obtener una previsión de su comportamiento como recurso energético. En el siguiente apartado se presentará una descripción de las principales características energéticas a tener en cuenta.

2.2.2. Propiedades de los residuos de biomasa

Antes se ha mencionada que la heterogeneidad de las fuentes de biomasa residual, hace que se requiera caracterizarla previamente. Así, se han clasificado las propiedades de la biomasa como combustible en físicas, químicas y energéticas. A continuación en la tabla 2 se describen estos parámetros con los tipos de análisis más utilizados y la utilidad de los mismos.

Tabla 2: Parámetros físicos, químicos y energéticos de la biomasa

Parámetros	Tipo de análisis	Utilidad del análisis
Físicos	Densidad real y aparente Distribución granulométrica	Influyen en la selección y el diseño de los equipos de manejo del material y la necesidad de pre-tratamiento
Químicos	Análisis elemental Análisis inmediato Componentes estructurales Composición de cenizas Fusibilidad de cenizas	Determinan el comportamiento de la biomasa durante los procesos de transformación química y termoquímica.
Energéticos	Poder calorífico	Determinan la cantidad de energía aprovechable

Fuente: Modificado de Garcia y Rezeau (2010)

Estos parámetros sirven para definir las propiedades de la biomasa y pre visionar su comportamiento en las diferentes etapas que involucra su uso como fuente energética, tales como: obtención, transporte, tratamiento y conversión en energía.

De este grupo de características es de interés para el presente trabajo de investigación definir a detalle algunos parámetros químicos y energéticos, definidos por Lopez y LLera (2010) y Elías (2010):

a. Características químicas

Composición elemental de la materia: A partir de él se determina los porcentajes en peso de los principales elementos que conforman la materia orgánica: carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S). La importancia de esta característica radica en la determinación exacta de oxígeno necesario para la combustión (aire estequiométrico). Con los resultados de este análisis, se determina también los poderes caloríficos superior (PCS) e inferior (PCI).

Materia volátil: porción de biomasa que se libera en forma de gases y vapor al momento de su descomposición térmica. Son responsables de formar llama ante la existencia de oxígeno circundante y altas temperaturas. La biomasa residual agrícola suele tener un alto contenido de material volátil (60 a 80%), que supone, aproximadamente, más de las dos terceras partes de su poder como combustible.

Humedad: Es la cantidad de agua contenida en el total de masa de una muestra de biomasa. Esta agua puede estar adherida en la superficie exterior como embebida en su interior. La humedad superficial puede ser eliminada fácilmente mediante técnicas de secado a temperatura de ambiente. La humedad embebida sólo es eliminada cuando el aire circundante alcanza una temperatura de 105 °C, hasta que adquiere un peso constante. Este parámetro repercute en aspectos de pre-procesamiento del material. La biomasa seca es más fácil de transportar, su molienda también es sencilla y el aprovechamiento energético de combustión es mucho mayor.

b. Características energéticas

Se entiende por características energéticas al poder calorífico que desprende la materia mediante un proceso de oxidación (combustión). Puede expresarse como: Poder Calorífico Superior (PCS) y Poder Calorífico Inferior (PCI). El primero considera la formación y/o permanencia de agua en estado líquido una

vez finalizada la reacción de oxidación, mientras que el segundo lo considera en forma de gaseosa (vapor de agua). A su vez, cada una de estas formas de expresión se encuentran especificadas en base húmeda, cuando el combustible posee cierta humedad ambiental; y en base seca, cuando el combustible se encuentra totalmente seco. Sus unidades son energía por masa (kJ/kg, MJ/kg, kcal/kg).

2.2.3. Opciones tecnológicas para el Pretratamiento de la biomasa

Antes se ha mencionado que la biomasa sólida, dado que se obtiene de origen diverso, presenta características diversificadas que limitan su utilización energética directa. Por lo que se hace necesario hacerlas pasar por pretratamientos. Uno de estos requerimientos lo constituyen la reducción de humedad, la granulometría y el densificado.

López y Sebastián (2010) señalan que la opción tecnológica para el tratamiento de la humedad es el secado. Este proceso puede ser natural o forzado. En el primer caso, las condiciones propias del aire ambiental como humedad relativa, temperatura y velocidad son las que propician el cambio de la materia. La técnica de mayor uso es la conformación de pilas cuyo mecanismo de acción se basa, además de los factores ambientales mencionados, en el fenómeno de termogénesis. En el segundo caso, se requiere equipos denominados secadores directos o indirectos. Entre los equipos de secado directo el más destacado es el secador rotatorio mientras que en el secado indirecto destaca el secador solar.

Según Gil, (2010), las opciones tecnológica para la reducción granulométrica van desde acciones primarias de corte y machacado hasta las mas avanzadas con procesos de nanotecnología. En todos los casos la reducción granulométrica consiste en la disminución del tamaño del curso o partícula mediante la división o fractura. El objeto fundamental es aumentar la superficie específica (S/V) de la partícula.

En el ámbito energético los combustibles sólidos deben adecuar su tamaño final al requerimiento técnico especificado por cada sistema de conversión energética. Así, el producto obtenido puede ser troceado (250-50mm), astillado (50-8mm) y molienda (<8 mm) . (Gil, 2010 citando a Van Loo y Koppejan, 2008)

La densificación de la biomasa es el proceso mediante el cual se incrementa la densidad de las materias primas biomásicas, empleándose sistemas mecánicos con o sin sistemas aditivos. Dentro de este proceso pueden señalarse el empaclado, briquetado y pelletizado. En el primer caso, el objeto es mejorar las condiciones de la materia para su transporte. En el segundo caso, el objeto es obtener un biocombustible sólido de elevada densidad y homogeneidad para su dosificación y uso en equipos de combustión. (Mediavilla, 2010)

Si bien, estos requerimientos que debe cumplir la biomasa pueden derivar en costes de ejecución de un proyecto de aprovechamiento, debe considerarse también las ventajas de utilizar la biomasa residual con fines energéticos. Estos beneficios pueden ser la reducción de la contaminación, el riesgo de incendios y el bajo costo de la obtención y producción de combustibles, ya que normalmente, el dinero que se invierte en producir biomasa es, fundamentalmente, el costo de la producción de los cultivos, dado que la biomasa residual un subproducto del proceso productivo agrícola (De Juana *et al*, 2007).

Existen múltiples sistemas tecnológicos que pueden emplearse para transformar la biomasa en energía final (mecánica, eléctrica o térmica) o bien en nuevo combustible procesado. En el siguiente apartado se realiza una breve revisión de las opciones tecnológicas para la transformación de la biomasa.

2.2.4. Opciones tecnológicas para la conversión energética

En la figura 4 se muestra un esquema de tres posibles aprovechamientos energéticos para la biomasa residual agrícola.

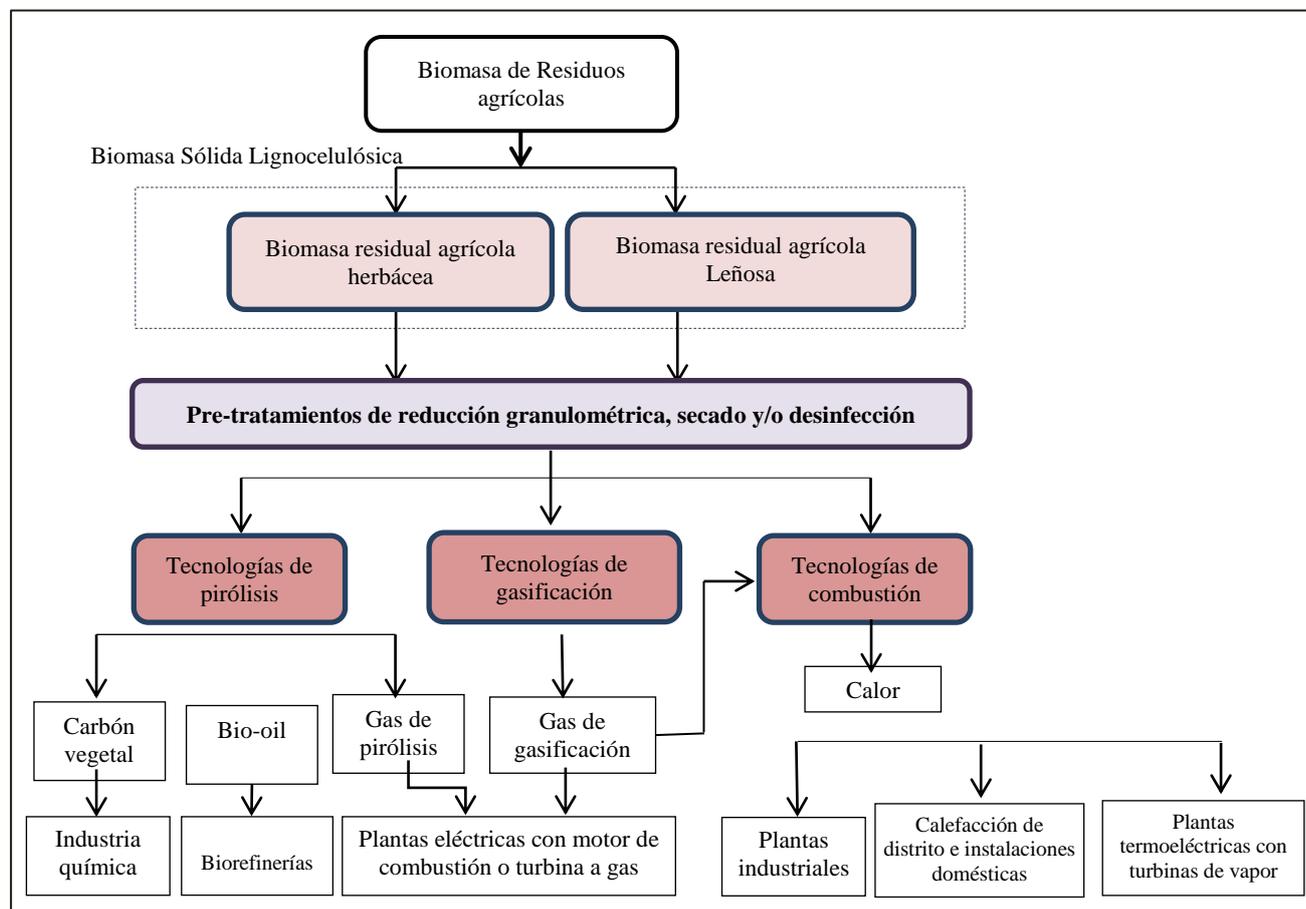


Figura 4: Fuentes y posibles aprovechamientos energéticos de la biomasa residual agrícola

Fuente: Modificado de (Garcia y Rezeau , 2010)

Todas ellas a través de los pretratamientos se adaptan a las características de granulometría, humedad y densidad apropiadas al sistema de conversión de energía.

La tecnología de pirolisis consiste en la descomposición termoquímica de la biomasa sólida a temperaturas comprendidas entre los 200 y 1 100°C en atmósfera exenta de oxígeno. Los productos finales son por lo general, el carbón,

el bio-oil (líquido viscoso conformado principalmente por alquitranes) y gases de pirolisis que pueden ser condensables o volátiles.

La tecnología de gasificación consiste en un conjunto de reacciones termoquímicas, producidas en un ambiente pobre en oxígeno. El resultado es la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles, llamados *syngas* (conformado principalmente por monóxido, dióxido de carbono, hidrógeno, metano y otros hidrocarburos). El poder calorífico del gas, dependerán de las condiciones del proceso (agente gasificante, temperatura, presión, etc). Posteriormente el *syngas* puede ser aprovechado por motores a gas, turbinas a gas o calderas, tras ser debidamente acondicionados. Este tipo de tecnología ha demostrado tener resultados satisfactorios en plantas de pequeña y gran potencia, pero aún resultan poco competitivos económicamente.

La tecnología de combustión consiste en la descomposición de la biomasa cuando es sometida a temperaturas de 500 a 800 °C en una atmósfera rica en oxígeno. Los resultados de este proceso son la generación de CO₂, agua y energía calorífica.

Las tecnologías mencionadas en el gráfico anterior, pueden clasificarse a su vez por la generación de productos finales y los usos que pueden derivar de ellos. Así tenemos la generación de calor para procesos industriales y usos domiciliarios, gas de síntesis, carbón vegetal y pirolisis para generación eléctrica, calor y productos de la industria química y bio-oil para generación de productos de biorefinería. En su mayoría, se puede observar una poligeneración de productos de la biomasa, entendida como la generación de varios productos energéticos de forma combinada.

Como se mencionó en el acápite 2.1.2. las tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa residual agrícola, especialmente mediante la conversión termoquímica, son las que han alcanzado el mayor desarrollo a nivel

internacional. En el siguiente apartado se hace una breve revisión de los biocombustibles que actualmente se pueden aprovechar de la biomasa agrícola.

2.2.5. Biocombustibles de origen agrícola y sus aplicaciones

En la Tabla 3 se muestra los usos y aplicaciones actuales de los biocombustibles de origen agrícola, según su fuente.

Tabla 3: Usos y aplicaciones de los biocombustibles

Fuente	Combustible	Usos	Aplicaciones
Madera y residuos de madera	Leña, astillas, briquetas, pellets	Térmico, termoeléctrico	Cocción, calefacción, generación de vapor Generación y cogeneración de Electricidad
Carbón vegetal	Carbón, Finos de carbón vegetal, briquetas de carbón	Térmico Termo-reductor, Termoeléctrico	Cocción Siderurgia, metalurgia. Gasificación
Residuos Agrícolas de Campo	Pajas, rastrojos, tallos, olotes	Térmico, Termoeléctrico Conversión a biocombustibles	Cocción, calefacción, generación de vapor Generación y Cogeneración de Electricidad Conversión a etanol avanzado BTL – Gasificación Biodigestión
Residuos Industriales	Bagazo de caña y de agave Racimos vacíos de palma aceitera Cascaras de frutos y de nueces	Térmico, Termoeléctrico Conversión a biocombustibles	Biodigestión Generación de vapor Cogeneración de electricidad

Fuente: Modificado de (Riegelhaupt, 2015)

El uso de biomasa residual agrícola para aprovechamiento energético ya es un hecho en varios países de Europa, destacando principalmente algunos países nórdicos como Dinamarca, Finlandia y Suecia (Vargas, 2013). Las tendencias actuales del uso de la biomasa en América Latina, además de su continua utilización tradicional, se orienta a una utilización mas moderna. Por lo que en el siguiente apartado se realizará una breve revisión de la situación en el contexto nacional.

2.2.6. Biomasa residual agrícola en el contexto nacional

En el contexto nacional, los residuos del sector agrario proceden de fuentes agropecuarias, agroindustriales y de otras actividades forestales.

Desde un aspecto normativo, la gestión de estos residuos se basa en los siguientes instrumentos legales:

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente,
- , Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos
- Modificación de la Ley General de Residuos Sólidos, D.L. N° 1065
- D.S. N° 057-2004-PCM, Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos,
- D.S. 016-2012-AG, Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario,
- D.S. 017-2012-AG, Reglamento de Infracciones y Sanciones del Sector Agrario,
- D.S. N° 019-2012-AG, Reglamento de Gestión Ambiental del Sector Agrario,

Recientemente el DS N°002-2016 que aprueba la política Nacional Agraria, también aborda como eje la gestión ambiental y en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, promueve la gestión eficiente del recurso suelo para uso agrario .

Sobre la generación de residuos y su tipología, MINAGRI (2016), señala en base a información de Declaraciones de Manejo de Residuos Sólidos del año 2014, que cerca de 1.17 por ciento de residuos generados en la actividad fueron peligrosos y 98.83 por ciento no peligrosos, lo cual podría representar una oportunidad para el aprovechamiento de estos residuos. Sobre este aspecto, se ha reportado que 49 por ciento de estos residuos se trata, 21 por ciento lo dona o comercializa y un 30 por ciento no precisas su destino.

Diversos diagnósticos han señalado como una gestión inadecuada las labores realizadas para el manejo de residuos del sector agrario. Existe una constante en denuncias referidas a la contaminación ambiental generada por residuos sólidos de actividades del sector agrario. La quema, vertido a ríos y disposición al ambiente, suelen ser las prácticas más usuales. Esto ha motivado la generación de una serie de normativas sectoriales para evitar la quema (caso de la zafra de caña de azúcar), la disposición al ambiente por razones fitosanitarias (caso del algodón en la costa y café en la selva).

Por otro lado, recientes investigaciones de vinculan la actividad de roza, tumba y quema con incendios forestales, el aumento de focos de calor y su relación con la respiración del suelo Suárez et al (2008), y la variación de ozono troposférico y aerosoles Suárez et al (2006)

Barrena et al (2010) señala que el uso de la biomasa residual está limitado a combustible doméstico de uso no comercial. El tipo de residuo más usado es la leña en forma de trozas de madera y los residuos agrícolas. Esta situación limita el conocimiento de estadísticas de oferta y demanda energética. Una estimación basada en encuestas indica de forma global que el 20 por ciento del consumo energético en el Perú (energía primaria) corresponde al rubro doméstico.

2.3. Métodos para la Estimación de la Biomasa

2.3.1. Recursos de biomasa y potencial energético

Los recursos de biomasa pueden evaluarse o inventariarse atendiendo diversas razones. Generalmente el sujeto de las evaluaciones son todos aquellos materiales que se generan en los campos de cultivo y en los montes como consecuencia de la actividad agrícola y forestal. Estos materiales tienen una demanda en el mercado que es nula o muy baja, por esta razón su utilización energética puede ser una alternativa. (Esteban, 2010).

La biomasa residual, es un producto más de la actividad agrícola y forestal y por tanto está sujeta a las leyes naturales que inciden sobre la producción vegetal y los ciclos productivos. Asimismo está sujeta a factores externos y coyunturales propios de la actividad económica que pueden condicionar la oferta y demanda del cultivo.

Para la correcta utilización de los recursos de biomasa, es necesario realizar evaluaciones de la disponibilidad teniendo en cuenta los posibles condicionantes para su explotación sostenible, ya que cualquier aprovechamiento de un recurso natural, exige un conocimiento de las existencias (capital) y de los crecimientos (renta).

Esteban (2010) lista una posible clasificación de los recursos de biomasa atendiendo a criterios de accesibilidad:

- Recursos potenciales: todos los existentes sin considerar ningún tipo de condicionante para su uso.
- Recursos disponibles: son los recursos potenciales una vez excluidos los que ya están siendo utilizados y la competencia por los mismos no es posible. También se excluirán aquellos que por razones

medioambientales, de propiedad, u otras de índole tecno económicas no se pueden obtener.

- Recursos utilizables/recolectables técnicamente: son los recursos disponibles que pueden ser recolectados y usados con las limitaciones impuestas por la tecnología que se utilice en su recolección.
- Recursos utilizables/recolectables económicamente: son los recursos disponibles cuyos costes de recolección y transporte no superar un valor umbral fijado de antemano.

Por otro lado, siendo que existen los recursos de biomasa disponible y potenciales, estos pueden clasificarse según Voivontas et al (2001):

- Potencial teórico de la biomasa: Definido como el total de la producción anual total agrícola, forestal y de otros residuos de una región. Representa la cantidad total de residuos generados y puede considerarse como el límite superior de la bioenergía que se pueden obtener actualmente de esa zona de cultivos. Este potencial de biomasa teórico estará en función de la superficie cultivada y los rendimientos de producción de cada cultivo. No toma en cuenta pérdidas de energía durante los procesos de conversión, ni posibles barreras.
- Potencial disponible de la biomasa: Se define como el contenido de biomasa que puede ser técnica y económicamente recolectado y utilizado para fines energéticos. Está sujeto a restricciones introducidas por los usos alternativos de los residuos agrícolas procedentes de su recolección. Estos usos son específicos para el cultivo y el residuo, por lo que se debe tomar en cuenta la determinación de la cantidad de residuos disponibles. El contenido de energía disponible se evalúa a partir de los valores de poder calórico inferior.
- Potencial tecnológico de la biomasa: Está determinada por la fuente de biomasa y la forma de energía específica que se puede producir y está delimitada por las características de la tecnología seleccionada. Hay una amplia gama de tecnologías que permita el uso de la biomasa para la producción de energía. La selección de la tecnología para explotar la

biomasa a partir de residuos de los cultivos depende de las necesidades energéticas particulares y la eficiencia del proceso de producción de energía.

- Potencial económico de la biomasa: Se define como la parte de la energía que puede ser explotado económicamente. Para el caso de las plantas de biomasa, se determinan según criterios tales como el costo de producción de electricidad o la tasa interna de retorno y el valor actual neto. El potencial económico se determina por la capacidad de producir energía a un costo de producción más bajo que las plantas convencionales. Alternativamente puede ser determinado por la rentabilidad del proyecto de inversión.

En función de estos recursos potenciales de biomasa pueden plantearse diversas metodologías para su evaluación. Se realiza una breve revisión en el siguiente apartado.

2.3.2. Metodologías para la Estimación

Independientemente del tipo de recurso o potencial que se desea evaluar, la estimación de la biomasa residual se puede lograr mediante los siguientes métodos:

- La percepción remota o el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Utiliza información del tipo raster¹. Según Domínguez *et al* (2002), es la herramienta más adecuada para la estimación de biomasa forestal, ya que la plantación forestal se mantiene estable, con ligeras diferencias durante el paso de los años y posee una vasta extensión territorial. Lo que difiere con la actividad agrícola, que esta sujeta a variantes según las exigencias del mercado, aparición de plagas, fuerza laboral, etc.
- Planteamiento de ecuaciones alométricas. Utiliza datos de campo, como por ejemplo la altura, el diámetro, entre otros. Requiere de regresiones

¹ Imagen digital conformada por una rejilla definida de pixeles, en donde se almacena la información de la misma.

para la estimación de la cantidad de biomasa residual generada. Esteban (2010), recomienda su uso para plantaciones forestales, cuyo crecimiento es prolongado y su generación de biomasa no es constante en todas sus etapas de crecimiento. Las ecuaciones alométricas requieren estudios detallados para su diseño y suelen ser muy específicas para ciertos lugares y climas en particular. Requiere de validación previa.

- La evaluación por ratios. Utiliza datos obtenidos en jornadas de campo o estadísticas oficiales de la autoridad estatal competente. Según Esteban (2010), es el método más extendido para las estimaciones, debido a que tiene la ventaja de aplicar un cálculo simple, que puede ser actualizado constantemente con recopilación de trabajo de campo, lo mismo que facilita su validación. Sin embargo debe utilizarse con precaución dado que los factores varían debido a múltiples criterios, tales como el desarrollo tecnológico, las prácticas agronómicas y las costumbres agrícolas de comunidades en particular.

En el presente trabajo de investigación se utilizará la metodología de evaluación por ratios, planteando ecuaciones simples para la predicción de la biomasa, tal como señala Vargas (2013) citando a Velásquez (2006):

$$PB_j = V_j \times \lambda_j \dots (1)$$

$$PB_j = S_j \times \delta_j \dots (2)$$

En donde:

PB_j = Es la biomasa potencial obtenida en un sistema agrícola de características “j” en toneladas (ton).

V_j = Es la cantidad de recurso obtenido en un sistema productivo de características “j” en una determinada operación. Ej.: ton de frutos

λ_j = Es el coeficiente de potencialidad gravimétrico de producción de biomasa en un sistema de características “j”.

S_j = Superficie del sistema en características “j”

δ_j = Coeficiente de potencialidad superficial de producción de biomasa en un sistema de características “j”. (ton biomasa residual seca / ha.)

En donde las variables “ V_j ” y “ S_j ” se pueden determinar mediante información estadística oficial y los coeficientes “ λ_j ” y “ δ_j ” en base a revisiones bibliográficas o levantamiento de información *in situ*.

Dado que todos los métodos antes revisados convergen en la utilización de coeficientes o factores de conversión para la estimación del residuo generado, se analizará especialmente este aspecto.

Adicionalmente, deberá tenerse en cuenta que la producción de residuos de biomasa, se puede estimar con cierto grado de aproximación a lo largo del ciclo productivo cuando las características de la masa no varíen sustancialmente como puede suceder ante cambios naturales derivados del clima, plagas, desastres, etc.

Esteban (2010) señala que el inventario de recursos no debe concluir en una mera obtención de cifras que reflejen la cantidad de recursos en un determinado lugar y tiempo, si no más, por tratarse de organismos vivos que están sujetos a fluctuaciones de productividad se debe tener en cuenta la producción sostenida en el tiempo, los factores dinámicos relacionados a la producción, probabilidades de incidencias, tendencias de oferta y demanda y la generación de impactos. FAO (2014), señala un horizonte temporal de estudio de 10 años, en donde el sujeto de evaluación es la disponibilidad de la biomasa residual.

Asimismo, la finalidad de la evaluación condicionará necesariamente los medios. La escala del estudio (nacional o regional) y un proyecto o emprendimiento concreto determinarán los niveles de información requeridos. Por lo que se planteará una metodología que cubra los aspectos de evaluación recomendado por los autores.

2.4. Tocache, acceso a la energía y situación agrícola

La Provincia de Tocache es una de las 10 provincias que conforman el departamento de San Martín. Su territorio está configurado por la Cordillera Oriental de los Andes y la Cordillera Sub Andina, divididas ambas por el río Huallaga. Esta situación ha condicionado su clima, abundancia de recurso hídrico y recursos naturales. Asimismo, su ubicación adyacente a la región andina, lo han convertido en un territorio receptivo de migrantes.

El territorio sobre el cual se organiza la provincia de Tocache comprende 625,121 ha de superficie. Esta conformada por 05 distritos: Nuevo Progreso, Uchiza, Tocache, Polvora y Shunte. Sus límites y la división política se muestran en la Figura 5.

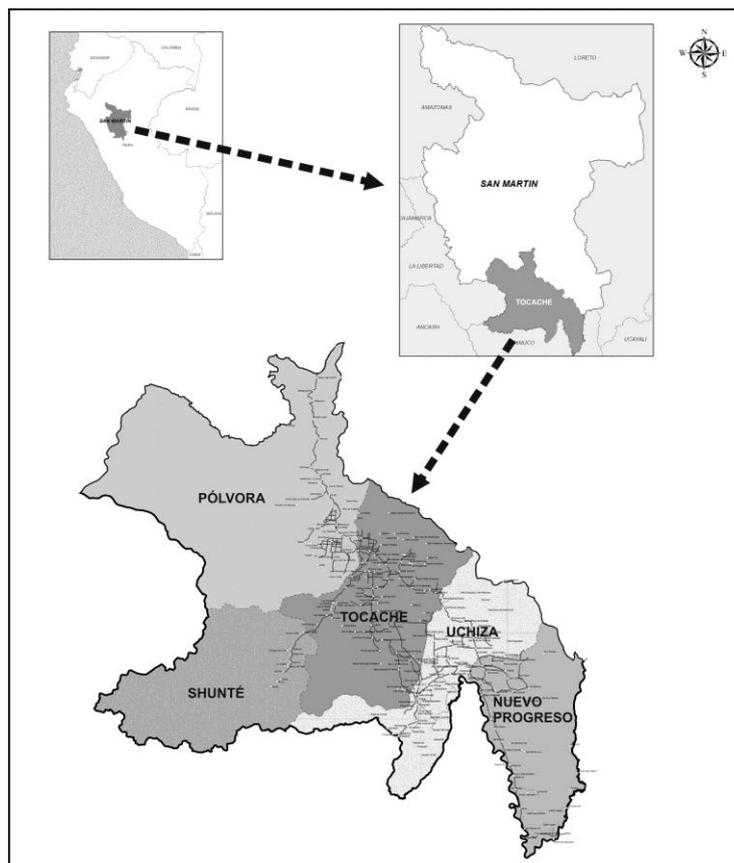


Figura 5: Localización geográfica y división política de la provincia de Tocache.

Fuente: Madrigal (2015) citando a Municipalidad Provincial de Tocache (2008).

Según el INEI (2012) la población proyectada de Tocache al año 2007 fue de 74767 habitantes, de los cuales 36 510 es urbana y 38257 rural. A nivel distrital, se muestra la población por nivel de importancia: Tocache (26973), Uchiza (22448), Nuevo Progreso (11170) Polvora (10592) y Shunte (1163).

Su población representa sólo el 9.66 por ciento de la población regional, constituyéndose en el cuarto lugar en el crecimiento poblacional y el último en reducción de pobreza. (MPT, 2006)

Tocache posee particularidades derivadas de problemas sociales, económicos y ambientales debido al terrorismo, narcotráfico y sobreexplotación de su territorio, que comprometen el futuro de la población vinculada a este territorio.

Con la crisis de la coca en la década del 90 se produjo una fuerte emigración y miles de hectáreas de tierras quedaron abandonadas. Años después, a partir del 2000 y hasta la actualidad, muchas familias han emigrado atraídas por el cacao, la palma aceitera, el café y aún la ilusión de la coca. Por lo que se ha producido una paulatina recuperación de la población. (MPT, 2008)

Es sin embargo también, una de las primeras provincias en realizar esfuerzos para llevar a cabo procesos de Mesozonificación Ecológica Económica (ZEE) y Plan de Ordenamiento Territorial (POT) desde el año 2004. Po el cual, posee información organizada y relevante del medio físico, biológico y socioeconómico para llevar a cabo estudios de detalle de diversa índole, referidos a ocupación del territorio.

Sobre las vías de comunicación en la provincia de Tocache son de tipo afirmadas y cubren aproximadamente más de 450 km. Un eje importante de comunicación lo constituye la Carretera Marginal de la Selva y el puente Fernando Belaunde Terry. Que una Tocache con Tingo Maria y Tarapoto. Por otro lado, los poblados alejados cuentan con trochas carrozables siendo las ubicadas en zonas altas, como en el distrito de Shunté, las más vulnerables por efectos de derrumbes.

A continuación se presenta una revisión más detallada de la provincia, concerniente a los fines del presente trabajo de investigación.

2.4.1. Situación energética y acceso a la energía

La energía en Tocache es abastecida por la empresa municipal Electro Tocache S.A. que funciona de manera autónoma mediante la generación de energía térmica y eléctrica. Se encarga también de administrar el Pequeño Sistema eléctrico Tocache (PSE Tocache). Esta misma empresa se encarga de la distribución eléctrica de los 05 distritos, atendiendo a la fecha 15035 clientes. (ETOSA,2014)

En cuanto al servicio de electrificación, según el censo del año 2007, 85% de las familias tiene acceso a este servicio. Por lo que la provincia presenta un déficit de 15 por ciento sin acceso a la energía. A continuación se muestra la población que no tiene alumbrado público por nivel de importancia y en número de viviendas: Pólvora (1997), Tocache (1838), Uchiza (1821), Nuevo Progreso (1347) y Shunte (253).

En cuanto al acceso d energía para labores domésticas de cocción, los principales energéticos son la leña, gas, carbón y otros tipos de combustibles en menor proporción.

Se muestra a continuación el número de viviendas que usa leña para sus procesos de cocción: Tocache (3676), Uchiza (3049), Pólvora (2308), Nuevo Progreso (2291) y Shunte (238). Se muestra a continuación el número de viviendas que usan gas por orden de importancia: Tocache (2696), Uchiza (1760), Pólvora (400), Nuevo Progreso (400) y Shunte (4).

Es importante mencionar que el uso de la biomasa residual está limitado como combustible doméstico de uso no comercial, siendo la más usada la leña en forma de trozas de madera y los residuos agrícolas de poda.

2.4.2. Situación agrícola y principales cultivos

De todo el territorio de la provincia, 23 872 (3.82%) son tierra aptas para el cultivo en limpio y 60022 (9.60%) son tierras aptas para cultivos permanentes. El resto del territorio son tierras de protección, con vocación forestal, cuerpos de agua o áreas urbanas. MPT (2006) indica que están deforestadas 284 212 ha del territorio provincial, lo que equivale al 45,47% del área total. De éstas, sólo 31061 ha están con uso agropecuario, sin incluir las áreas destinadas a la siembra de coca.

Precisamente el cultivo de hojas de coca generó un cambio radical en el comportamiento de la economía a inicios de los 80, que pasó a depender exclusivamente del monocultivo, en detrimento de los demás productos agrícolas. La presencia de los programas y proyectos alternativos juegan un papel importante en la estrategia para migrar a cultivos alternativos (cacao, café, palmito, palma aceitera, pastizales con ganadería de doble propósito)

La actividad agrícola que se desarrolla actualmente en la provincia es diversificada. Esta fundamentalmente ligada al sector primario de cultivos de pan llevar de corto ciclo (maíz, arroz) y cultivos permanentes (cacao, café, plátano). No se ha logrado todavía cimentar una economía ligada al sector secundario (industrial, agroindustrial, transformación y valor agregado), ni al terciario (servicios). (MPT, 2008).

Los principales cultivos que se han identificado en las campañas agrícolas 2011-2012, se recopilan en la Tabla 4. Se muestra una lista de estos cultivos identificando su nombre científico y sus partes útiles.

Tabla 4: Cultivos de la Provincia de Tocache

Nº	Cultivo	Nombre científico	Partes útiles
1	Aguaje	<i>Mauritia flexuosa</i>	Fruto
2	Anona (chirimoya)	<i>Annona cherimola</i>	Fruto
3	Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Cereal
4	Braquearia	<i>Brachiaria decumbens</i>	Pastos y forrajes
5	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Fruto
6	Cafe	<i>Coffea arabica L</i>	Fruto
7	Caimito	<i>Pouteria caimito</i>	Fruto
8	Caña de azúcar (para alcohol)	<i>Saccharum officinarum</i>	Tallo
9	Cocona (perm.)	<i>Solanum sessiliflorum</i>	Fruto
10	Cocotero	<i>Cocos nucifera</i>	Fruto
11	Frijol grano seco	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Leguminosa
12	Guayabo	<i>Psidium guajava</i>	Fruto
13	Kudzu	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Pastos y forrajes
14	Limón sutil	<i>Citrus aurantifolia</i>	Fruto
15	Maíz amarillo duro	<i>Zea mays</i>	Grano
16	Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Fruto
17	Naranja	<i>Citrus × sinensis</i>	Fruto
18	Pacae o guabo	<i>Inga feuillei</i>	Fruto
19	Palma aceitera	<i>Elaeis guineensis</i>	Fruto
20	Palto	<i>Persea americana</i>	Fruto
21	Papaya	<i>Carica papaya</i>	Fruto
22	Pasto elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>	Pastos y forrajes
23	Pasto torourco	<i>Paspalum conjugatum</i> y <i>Axonopus</i> <i>compresus</i>	Pastos y forrajes
24	Pijuayo (para fruta)	<i>Bactris gasipaes H.B.K</i>	Fruto
25	Pijuayo (palmito)	<i>Bactris gasipaes H.B.K</i>	Fruto
26	Pina	<i>Ananas comosu</i>	Fruto
27	Piñón blanco	<i>Jatropha curcas L.</i>	Semillas
28	Plátano	<i>Musa paradisiaca L.</i>	Fruto
29	Pomarrosa	<i>Syzygium jambos</i>	Fruto
30	Sacha inchi	<i>Plukenetia volubilis</i>	Semillas
31	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	Fruto
32	Toronja	<i>Citrus × paradisi</i>	Fruto
33	Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	Tubérculo
34	Zapote	<i>Manilkara zapota</i>	Fruto

Fuente: Elaboración propia en base a datos de DRASAM (2013) y Agencia Agraria Tocache (2014).

Según MPT (2006), de la lista de 34 cultivos, sólo 07 son los más representativos siendo estos Palma Aceitera, Plátano, Cacao, Café, Arroz, Maíz

Amarillo y Yuca El grupo de pastos y forrajes está directamente relacionado a la actividad ganadera, siendo las especies más cultivadas la Brachiaria, kudzú, pasto elefante y pasto torourco. Por lo que en el presente trabajo de investigación, se analizará en detalle estos 07 cultivos.

En la Tabla 5 se muestra la lista de cultivos más importantes, según su clasificación de permanencia, la superficie cultivada y la representación porcentual de esta superficie en la provincia.

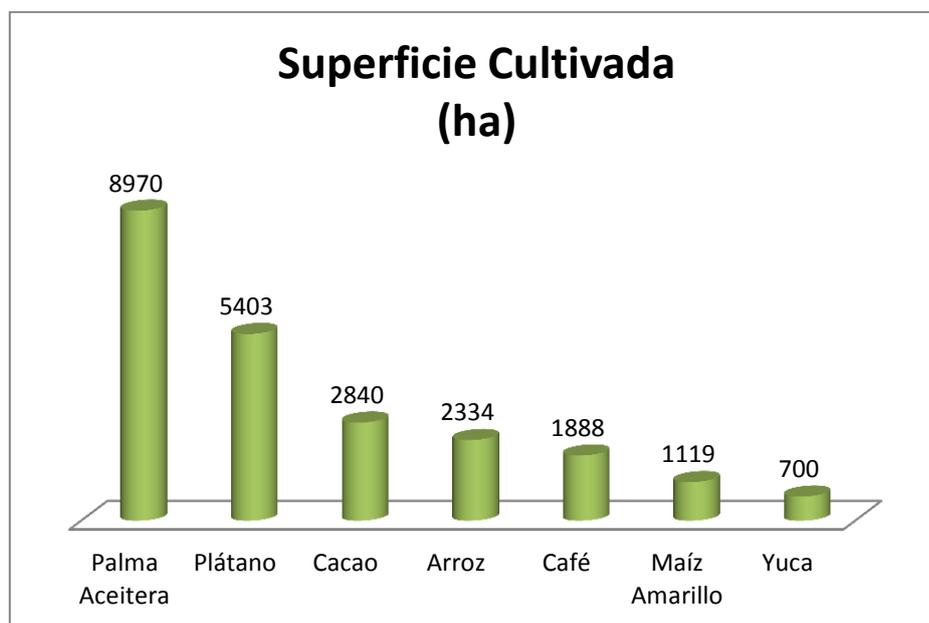
Tabla 5: Cultivos permanentes y anuales más representativos de la provincia de Tocache.

Tipo de Cultivo	Producto	Superficie Cultivada (ha)	Participación en la superficie Total cultivada de la Provincia (%)
Anual (Transitorios)	Arroz cáscara (a)	2334	7.51
	Maíz amarillo duro (a)	1119	3.6
	Yuca (b)	700	2.25
	Cacao (a)	2840	9.14
Permanentes	Café (b)	1888	6.08
	Palma aceitera (b)	8970	28.89
	Plátano (a)	5403	17.39
Totales		23254	74.86

Fuente: Elaboración propia en base a MPT (2006)

Se muestra en la Figura 6, el orden de importancia de acuerdo a las superficies cultivadas permanentes y anuales. De este grupo, el orden de importancia lo representa la Palma aceitera con 8970 ha, el plátano con 5403 ha, el cacao con 2840 ha, el arroz con 2334 ha, el café con 1888 ha, el maíz amarillo con 1119 ha y la yuca con 700 ha.

Figura 6: Superficie cultivada de los principales cultivos de Tocache



Fuente: Elaboración propia en base a la MPT (2006)

En base a esta lista priorizada, se analizará la situación agrícola (superficie cultivada, producción anual y rendimiento de cada cultivo) para un lapso temporal de 10 años a fin de verificar la variabilidad anual del cultivo e inferir la disponibilidad del producto y posteriormente de residuo, que sería materia prima para el aprovechamiento energético.

Así obtenemos la Tabla 6, que resume los principales indicadores de productividad agrícola en el período 2004 al 2014.

Tabla 6: Superficie cultivada, producción y rendimiento de los principales cultivos de la Provincia de Tocache 2004-2014

Años	Arroz			Cacao			Café			Maíz Amarillo		
	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)
2004	2981	19824	6.65	1381	884	0.64	3386	3183	0.94	3273	7005	2.14
2005	3029	20927	6.91	1599	1117	0.70	1632	1353	0.83	2052	4136	2.02
2006	3372	23509	6.97	3613	2536	0.70	1827	1442	0.79	2256	4525	2.01
2007	3041	20072	6.60	4658	3394	0.73	2028	1771	0.87	2114	4287	2.03
2008	4307	26164	6.07	5358	4055	0.76	3052	2749	0.90	2668	6301	2.36
2009	4795	28755	6.00	4658	3663	0.79	4357	4105	0.94	2239	6239	2.79
2010	4918	29448	5.99	7138	6226	0.87	4213	4091	0.97	2910	7631	2.62
2011	5029	30086	5.98	6675	5340	0.80	6790	6383	0.94	3776	11223	2.97
2012	4444	30039	6.76	9500	8740	0.92	8352	7183	0.86	3122	6807	2.18
2013	3494	23791	6.81	8461	7869	0.93	8295	4728	0.57	1686	5059	2.17
2014	4554	30560	6.71	13935	11148	0.80	6475	5763	0.89	2029	6088	2.07

Años	Palma			Plátano			Yuca		
	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)	Área de producción (ha)	Producción (t)	Rendimiento del cultivo (t/ha)
2004	7116	173706	24.41	4815	58160	12.08	508	6108	12.02
2005	8062	164224	20.37	5129	59493	11.60	539	6468	12.00
2006	8106	193251	23.84	5059	60605	11.98	949	11388	12.00
2007	9437	191674	20.31	5328	64684	12.14	1022	12264	12.00
2008	13086	188444	14.4	5270	65237	12.38	684	8290	12.12
2009	12905	206088	15.97	5797	64867	11.19	751	9134	12.16
2010	13873	224329	16.17	6313	80990	12.83	1243	16988	13.67
2011	22467	250054	11.13	6904	90446	13.10	1054	20640	19.58
2012	23090	311018	13.47	7795	95640	12.27	1620	24560	15.16
2013	17820	316840	17.78	7160	87849	12.27	1554	20264	13.04
2014	19537	333110	17.05	7383	90591	12.27	1645	21446	13.04

Fuente: Elaboración propia en base a datos oficiales del MINAGRI (2014), DRASAM (2012), Agencia Agraria Tocache (2014) e INEI (2015)

Es importante mencionar que los datos mostrados en la tabla 6, se referencia en múltiples fuentes, por lo que mucha de esta información muestra disparidades con estudios específicos para cada cultivo. También se ha podido constatar una leve disparidad entre fuentes estatales y carencia de información por años. Esto se debe a la forma como se recopila y sistematiza la información. Antes del año 2014, la instancia encargadas de esta labor era la Oficina de Estadística Agraria, a partir de ese año, se ha delegado la función a las direcciones regionales, quienes a su vez recopilan la información de las agencias agrarias distritales (Colquichagua, 2014).

Asimismo, se debe mencionar que la información consignada muestra los totales provinciales, considerando aquellos cultivos que crecen en asociación (árboles frutales y pastos).

Con la información obtenida, se ha generado una base de datos para un horizonte temporal de 11 años que servirá para las estimaciones de biomasa residual y potencial energético.

Sobre la gestión de los residuos en general se puede indicar que ninguna municipalidad distrital ha desarrollado plan alguno para el manejo responsable de los residuos sólidos; estos se eliminan directamente a los ríos y en lugares públicos. Sobre la gestión de los residuos agrícolas, MPT (2008) menciona que la Empresa Privada Palmas del Espino e incluso otras pequeñas plantas industriales, vierten sus aguas servidas y desechos al aire libre a campo abierto o a los ríos incrementando de este modo la contaminación de los cuerpos de agua y del medio ambiente en general. Situación que es especialmente preocupante en los distritos de Tocache y Uchiza, pues ahí se concentra la actividad agroindustrial.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Análisis documental y fuentes

Se recopiló información, bases de datos e inventarios agrícolas de las siguientes fuentes:

- Agencia Agraria de Tocache, dependiente de la Dirección Regional Agraria San Martín
- Dirección Regional de Agricultura de San Martín – DRASAM dependiente del Gobierno Regional de San Martín
- Oficina de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego

Se buscó asimismo información de asociaciones de productores y proyectos especiales situados en la zona de estudio, entidades nacionales e internacionales, que tuvieran relevancia en el sector agrícola y la temática de la presente investigación.

La información obtenida se valoró, acepto o descarto en función de la rigurosidad, origen de los datos, así como su horizonte temporal.

3.1.2. Observación directa y entrevista a informantes clave

Se realizó una observación directa del tipo participante y no participante. Para ello se programaron 02 visitas a la zona de estudio a fin de recolectar información sobre la gestión de los residuos y la situación del acceso a la energía de la población.

Asimismo se realizó consultas a especialistas y expertos mediante entrevistas no estructuradas, con la finalidad de recoger opinión acerca de la situación agrícola

nacional y provincial, la potencialidad de la biomasa como recurso energético, tipo de tecnología más apropiado y la posibilidad de desarrollo a nivel local.

Se participó en eventos, seminarios, foros virtuales, cursos que permitieron ampliar conocimientos en temas específicos mediante una red de especialistas más amplia.

3.1.3. Generación de base de datos y Procesamiento de la información

En base a la investigación bibliográfica sobre inventarios agrícolas, factores de conversión y/o Ratios Productos/Residuos y disponibilidad de residuos, se organizó una base de datos de biomasa disponible y generación de energía. Se procesó y generó tablas y gráficos utilizando hojas de cálculo del programa Excel.

La información procesada y su localización se muestran mediante la generación de mapas temáticos utilizando sistema de información geográfica (GIS por sus siglas en inglés).

3.2. Métodos

3.2.1. Determinación de la Biomasa Residual Agrícola Potencial y Disponible

El objetivo principal de esta evaluación es la estimación, con la mayor aproximación, de la biomasa residual potencial y disponible producida en la actividad agrícola y el procesamiento en la Provincia de Tocache para los 07 cultivos estudiados.

La biomasa que se genera o es posible generar es denominada potencial y aquella que es factible de utilizar en unas condiciones determinadas, se denominó posible.

Se plantearon 3 pasos:

Paso 1: Estudio sobre la disponibilidad de residuos de cosecha

Se buscó identificar la disponibilidad de residuos de cosecha, por lo que se estudio los calendarios de cosecha y los principales indicadores económicos de la actividad: superficie cultivada, producción y rendimiento.

Para ello se recopiló información de la Agencia Agraria Tocache (Calendario de cosecha 2008), Dirección Regional Agraria – DRASAM (Calendario de cosecha 2007) y Ministerio de Agricultura y Riego (Calendario de cosecha 2008 nacionales)

Se elaboró un análisis por tipo de cultivo, porcentajes de recolección de cosechas y su disponibilidad mensual y anual.

Paso 2: Planteamiento de Flujo grama de cultivo y proceso

Los residuos estudiados se generan en diferentes etapas. Para determinar las etapas donde se obtienen estos residuos se plantearon flujogramas para cada cultivo.

De forma general, estas etapas están compuestas por las labores culturales, cosecha y postcosecha o procesamiento, en donde la generación de residuos puede ser variable, tal como se muestra en la Figura 7

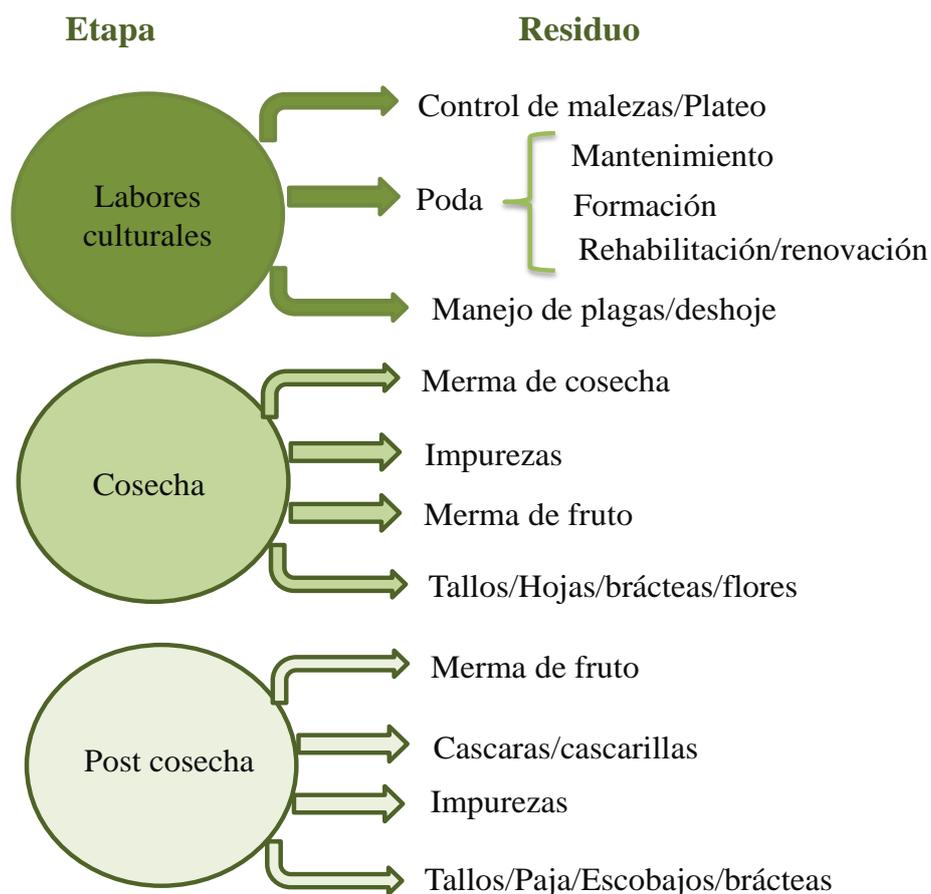


Figura 7: Generación de residuos por etapa productiva de un cultivo tipo.

Fuente: elaboración propia

Una vez identificado los residuos, se plantearon los Factores de producción de Residuos (FPR) a partir de fuentes de información primaria y secundaria. Con ello se seleccionó la *biomasa residual potencial*.

Para la determinación de la *biomasa residual disponible*, se utilizó fuentes de información primaria a través de inspección en campo y entrevistas. Se generó una calificación según los usos identificados durante la labor de campo. Con ello se planteó el uso actual y la disponibilidad.

Paso 3: Formulación de ecuaciones para la estimación de Biomasa Residual

Una vez identificados los Factores de producción de residuos (FPR) y calificado su uso actual, se estimó los volúmenes de biomasa residual en base a la

información presentada en la Tabla 6. Se consideró en el cálculo las siguientes aclaraciones de la metodología de los censos agrarios, propuestas por MINAGRI (2010?):

- Superficie cosechada (ha). Es toda área o superficie de la cual se obtiene la producción de un determinado cultivo. Esta superficie puede ser de cultivos transitorios o permanentes.
- Producción (t), comprende el volumen total obtenido de producto primario al cosechar una determinada área, excepto para el maíz amarillo en donde la información reportada es sólo en grano y en el caso del café la información reportada es el café pergamino (sin mucilago).
- Rendimiento (t/ha). Es un índice que se obtiene al dividir el volumen de producción obtenido entre la superficie cosechada correspondiente.

Para todos los casos se prefirieron los valores de producción en toneladas. En el caso de contar con la superficie cosechada en hectáreas se utilizó el rendimiento para obtener el valor de la producción.

Asimismo, se consideró el valor propuesto por FAO (2014), que señala que un 25% de los residuos generados en campo, deben quedar sobre el suelo a fin de contar siempre con materia orgánica de protección.

Así, se plantearon las Ecuación 3 de estimación:

$$\text{BRD} = \text{Productox FPRx75\% (3)}$$

Se aplicará sobre los cultivos de arroz, cacao, palma, yuca y plátano.

En donde:

BR: Biomasa residual

Producto: Valor para cada cultivo (t)

FPR: Factores de producción de residuos (% , t/ha, ha)

75%: Debido a que el porcentaje de biomasa que debe dejarse en campo es del 25% (FAO, 2010)

La Ecuación 4 se aplicará el cultivo del café:

$$BRD = \frac{\text{Producto} \times 100\%}{56\%} \times FPR \times 75\% \quad (4)$$

En donde:

BRD: Biomasa residual disponible de café (t/año)

Producto: Valor para cada cultivo (t/año), en donde el 56% equivale a café pergamino del total de la producción según FNC (2014.)

FPR: Factores de producción de residuos (% , t/ha, ha)

75%: Debido a que el porcentaje de biomasa que debe dejarse en campo es del 25% (FAO,2010)

La Ecuación 5 se aplicará el cultivo del maíz amarillo:

$$BRD = \frac{\text{Producto} \times 100\%}{51\%} \times FPR \times 75\% \quad (5)$$

En donde:

BRD: Biomasa residual disponible del maíz amarillo (t/año)

Producto: Valor para cada cultivo (t/año), en donde el 51% equivale a granos del total de la producción según Goizueta y Castellao (2013)

FPR: Factores de producción de residuos (% , t/ha, ha)

75%: Debido a que el porcentaje de biomasa que debe dejarse en campo es del 25% (FAO, 2010)

Aunque el objetivo es el estudio de la provincia, se realizará una aproximación sobre los distritos utilizando la misma secuencia de cálculo. Advirtiéndose que los datos utilizados corresponden a una versión aun sin publicar de la oficina de estadística agraria del MINAGRI, por lo que sólo servirán para una primera aproximación.

Para todas las estimaciones, se prefirió un cálculo conservador, eligiendo siempre los valores menores de un rango de datos, por ejemplo en el caso de factores de producción de residuos. En el uso de cifras, se prefirió el redondeo inmediato superior, sin decimales. Excepto cuando las cifras fueron muy pequeñas. Toda la información se procesó en hojas Excel.

Para la identificación de la distribución espacial se utilizó mapas bases de la provincia y mapas de uso actual del territorio en formato shape para su procesamiento mediante un GIS.

3.2.2. Estimación del potencial energético

El objetivo principal de este apartado es el la estimación del potencial energético y la cantidad de energía térmica y eléctrica que se puede generar a partir de la biomasa residual disponible de la Provincia de Tocache. Para este fin se establecieron 3 pasos:

Paso 1: Identificación de características fisicoquímicas y energéticas

Para los fines del estudio se identificaron las características fisicoquímicas y energéticas de la biomasa residual potencial de los 07 cultivos basados en la recopilación de fuentes secundarias. Se puso especial énfasis en los porcentajes de humedad y el poder calórico.

Paso 2: Cálculo de la energía potencial aprovechable y su valorización

Una vez identificados los valores del paso 1, se calculó el potencial energético utilizando la Ecuación 6:

$$EP = \frac{(BRD \times \%H)}{100} \times PCI \quad (6)$$

Dónde:

EP= Energía potencial (TJ/año)

BRD= Biomasa Residual Disponible (t/año)

%H= Contenido de humedad de la materia fresca

PCI= Poder calórico inferior (TJ/t)

Una vez obtenido los valores de potencial energético, se realizó conversiones para para obtener valores comparativos con los energéticos de mayor importancia en la matriz de consumo del Perú (petróleo y gas natural). Se utilizan los factores de conversión de OLADE (2004) y se aplicó la Ecuación 7 y Ecuación 8:

$$BEP = 720.5649 \times Tcal \quad (7)$$

$$TEP = \frac{BEP}{7.205649} \quad (8)$$

En donde:

BEP= Barril equivalente de petróleo

Tcal= Tera Calorías

TEP= Tonelada equivalente de petróleo

A fin de inferir el valor monetario que podrían tener los residuos como energéticos, se realizó el cálculo tomando como referencia el precio de un barril

de petróleo BRENT. Se utilizan los factores de conversión de OLADE (2004) y se aplicó la Ecuación 9 y Ecuación 10:

$$\text{Barril} = \frac{\text{BEP}}{1.0015} \quad (9)$$

$$\text{USD} = \text{Barril} \times \text{Precio barril } \$ \quad (10)$$

En donde:

Precio barril = 47.98 BRENT (proyección de setiembre a noviembre 2016)

Paso 3: Cálculo de la capacidad instalada MWt y MWe

Finalmente, se calculó la capacidad instalada térmica y eléctrica que se puede obtener con el potencial energético aprovechable de la biomasa residual. Se utilizó la Ecuación 11 y Ecuación 12 propuesto por Barrena et al (2010).

$$MWt = \frac{EP \times 278}{7000} \quad (11)$$

En dónde:

MWt = Megavatio térmico, capacidad de una planta para generar energía térmica (MWh/año)

EP = Energía Potencial (TEP/año) y su conversión a TJ

278 = factor de conversión de TJ a MWh

7000 = Número de horas de operación de una planta de energía promedio

$$MWe = MWt \times 30\% \quad (12)$$

En dónde:

MWe = Megavatio eléctrico, capacidad de una planta para generar energía eléctrica (MWh/año)

30%= Eficiencia promedio de tecnología de conversión de vapor a electricidad (eficiencia termoeléctrica)

Se cálculo también la energía ofertada en GWh, para ello se utilizó los factores de conversión de OLADE (2004) y la Ecuación 13:

$$EO= TEP \times 0.011629517 \text{ (13)}$$

En donde:

EO= Energía Ofertada (GWh/año)

TEP= 11.629517 (MWh/año)

TEP= 0.011629517 (GWh/año)

Toda la información se procesó en hojas Excel. En todos los casos se prefirió un cálculo conservador. En el uso de cifras, se prefirió el redondeo inmediato superior, sin decimales. Excepto cuando las cifras fueron muy pequeñas. Según sea el caso para una mejor presentación de resultados se seleccionaron los prefijos numéricos Tera, Mega o Giga.

Para la identificación de la distribución espacial del potencial energético se utilizó mapas bases de la provincia en formato shape para su procesamiento mediante un GIS.

Se realizó una aproximación sobre los distritos utilizando la misma secuencia de cálculo.

3.2.3. Aporte energético de la Biomasa Residual

El objetivo principal de este apartado es determinar el aporte energético de la Biomasa Residual Agrícola para la atención de la demanda en la Provincia de Tocache. Para este fin se establecieron 3 pasos:

Paso 1: Demanda Energía eléctrica a nivel doméstico

Para la estimación de la demanda doméstica se elaboró un listado de centros poblados sin dotación energética en la provincia de Tocache y sus distritos.

Se discriminó aquellos poblados que cuenten con pronóstico de abastecimiento energético por electrificación rural de cualquier tipo. Para ellos se utilizaron las siguientes fuentes de información:

- Primaria: Entrevista no estructura en la provincia de Tocache a las direcciones u oficinas relacionadas con la generación y distribución de energía.
- Secundaria: Base de datos de la Dirección Regional de Electricidad de San Martín; bases de datos del Sistema Nacional de inversión pública, Ministerio de energías Minas, proyecto Eurosolar y Fondo de Inclusión Social Energético – FISE.

Para el cálculo de la demanda de energía eléctrica se utilizará el valor promedio de 59 kWh por mes por hogar, señalado por Portugal y Gonzales (2015) para condiciones de Consumo promedio mensual residencial de energía eléctrica en San Martín

El aporte que puede proveer la biomasa residual se calculó en porcentajes y se comparó con la biomasa de menor y mayor aporte en el distrito donde se ubique el centro poblado.

Paso 2: Demanda Energía para cocción a nivel doméstico

Para el cálculo de la demanda de energía para cocción se utilizó el valor promedio de 10 GJ/año per capita de requerimiento energético de calor, planteado por Flores (2006). Se utilizó la misma población demandante que en el paso 1, considerando una media de 4 personas por vivienda.

El aporte que puede proveer la biomasa residual se calculó en porcentajes y se comparó con la biomasa de poda de cacao, café y tallos de yuca.

Paso 3: Demanda energía agroindustrial

Tomando como referencia la información de la cedula agroindustrial recopilada por la Agencia Agraria Tocache (2014), se caracterizó la agroindustria en la provincia y sus 05 distritos.

Según la capacidad de procesamiento se propuso un listado de equipos que permitan la generación de valor agregado a los cultivos de la zona. Mediante la capacidad de cada equipo y considerando un funcionamiento de 79 días hábiles de funcionamiento del equipo, se calculó la demanda energética por año.

El aporte que puede proveer la biomasa residual se calculó en porcentajes y se comparó con la biomasa disponible de la actividad de la agroindustria correspondiente.

Finalmente, se representó la localización de la demanda de energía doméstica y agroindustrial en la provincia, utilizando el mapa base provincial y el mapa de potencial de biomasa residual en formato shape para su procesamiento en GIS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Biomasa Residual Agrícola disponible para la generación de energía

4.1.1. Cultivos, Flujogramas de producción y Factor de Producción de Residuos

Dado que los residuos estudiados se obtienen de la actividad agrícola y del procesamiento de la cosecha, para los fines del estudio se estudio en primera instancia los periodos de recolección de cosecha. Se utilizaron los calendarios de cosechas disponibles de los años 2007 y 2008. Así, se identificó que en los 07 cultivos estudiados anuales o permanentes, la recolección es constante, como se muestra en la Tabla 7 .

Tabla 7: Tipo de cultivo, recolección de cosechas y disponibilidad

Tipo de Cultivo	Producto	Recolección de Cosechas (%)												Disponibilidad
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Anual (Transitorios)	Arroz cáscara (a)	12.0	9.1	6.1	6.8	8.8	12.8	13.0	8.0	6.1	6.1	6.4	5.0	Constante. 12 meses
	Maíz amarillo duro (a)	6.9	28.8	11.4	5.1	0.8	6.8	22.3	13.4	1.4	0.9	1.0	1.2	Variable. 11 Meses
	Yuca (b)	6.8	8.7	8.5	8.1	9.2	8.6	8.3	9.1	7.9	8.7	7.9	8.2	Constante. 12 meses
Permanentes	Cacao (a)	6.4	6.9	7.9	9.4	10.7	12.5	10.4	8.9	8.1	7.0	6.2	5.6	Constante. 12 meses
	Café (b)	0.2	0.9	5.6	15.8	31.1	27.8	11.1	4.1	2.0	1.0	0.2	0.2	Variable. 8 meses
	Palma aceitera (b)	8.7	8.3	8.6	7.9	8.3	7.8	7.7	7.8	7.8	9.0	9.0	9.1	Constante. 12 meses
	Plátano (a)	8.1	8.0	8.7	8.6	8.7	8.9	8.7	8.5	8.4	7.9	7.9	7.6	Constante. 12 meses
% Promedio Mensual		7.0	10.1	8.1	8.8	11.1	12.2	11.6	8.5	6.0	5.8	5.5	5.3	

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Agencia Agraria Tocache (2014)

(a) Calendario de cosechas año 2008

(b) Calendario de cosechas año 2007

Se ha determinado que los cultivos como el café y maíz amarillo, presentan una disponibilidad variable, pues sus porcentajes de recolección son altos dos veces al

año y bajos el resto del tiempo. Por otro lado, cultivos como el arroz, cacao, palma, plátano y yuca, son más contantes durante el año. Tal como se muestra en la Figura 8. Los rangos de recolección de cosecha varían entre 5.3 a 12.2%, lo que indica que, existe la disponibilidad de biomasa residual agrícola durante los 12 meses del año.

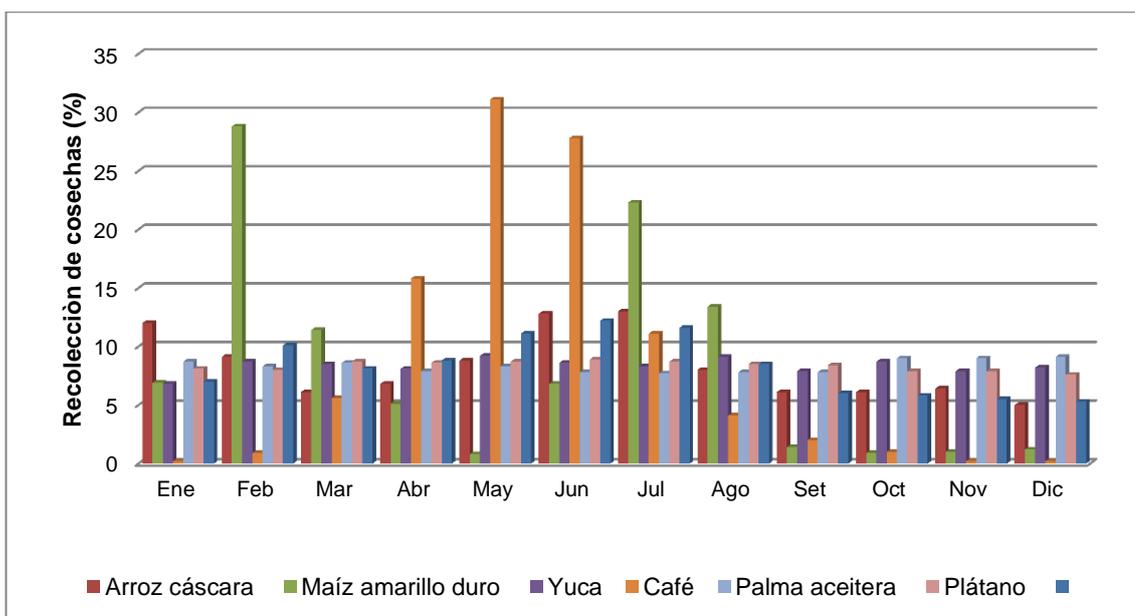


Figura 8. Porcentaje de Recolección de cosechas Arroz, Maíz amarillo, yuca, café, palma y plátano en la Provincia de Tocache durante el periodo 2007-2008.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Agencia Agraria Tocache (2014)

Siendo que es posible obtener biomasa residual agrícola de los 07 cultivos estudiados y que esta actividad está compuesta por varias etapas, para efectos del estudio se plantean flujogramas de cultivo y procesamiento a fin de identificar las fuentes de producción de residuos por etapa de transformación y sus porcentajes.

a. Flujograma del cultivo del arroz y su procesamiento

En la Figura 9 se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

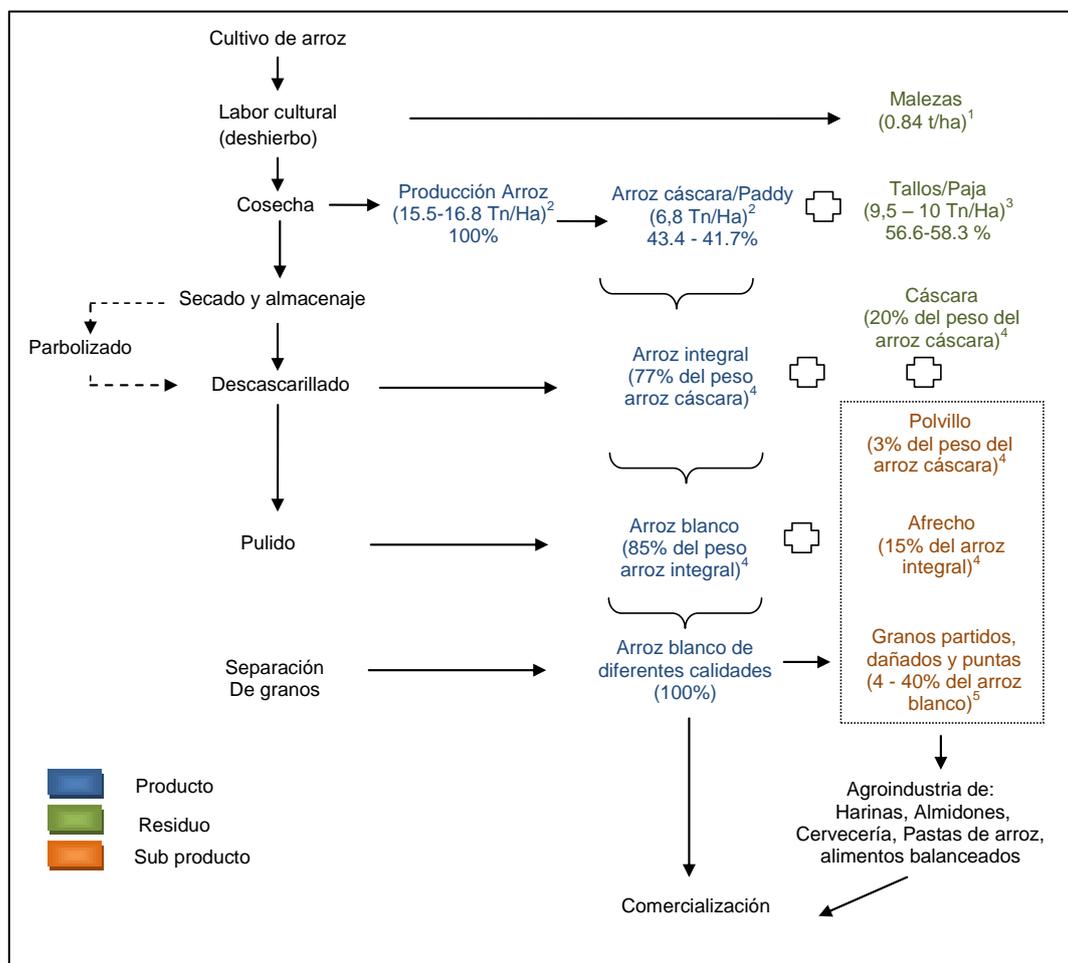


Figura 9: Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del arroz y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) FAO,1996, (2) DRASAM,2009, (3)Glossman S. ,2002, (4) Scarlato, G. 2000 (5) Loubes MA&Tolaba M.2013.

Así se ha podido identificar que durante la etapa agrícola de este cultivo se pueden obtener 02 residuos: maleza y tallos/paja.

En la identificación de la producción de maleza, se utilizan los datos planteados por FAO (1996), considerando un cultivo de arroz con prácticas tradicionales y en valores de masa seca por m².

Gliossman (2002) plantea unos porcentajes para el tallo de arroz que se ajustan a los que se consiguen en la generación de residuos reportados en las cédulas agroindustriales de la Agencia Agraria Tocache (2014).

En la etapa de procesamiento se puede obtener 01 residuo (cáscara) y 03 sub productos (polvillo, afrecho y granos partidos) que tienen uso posterior y valor comercial.

Barrena et al (2010) y Scarlato (2000) proponen que la cantidad de cáscara de arroz en base seca representa el 20% del arroz cáscara cosechada, el mismo que coincide con Agencia Agraria Tocache (2014), por lo que se toma como referencia este valor.

Los residuos potenciales como las malezas, tallos/paja y cáscaras, se muestran en la Figura 10.



Figura 10: Residuos en el cultivo del arroz (*Oryza Sativa*) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

b. Flujograma del cultivo del cacao y su procesamiento

En la Figura 11 se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

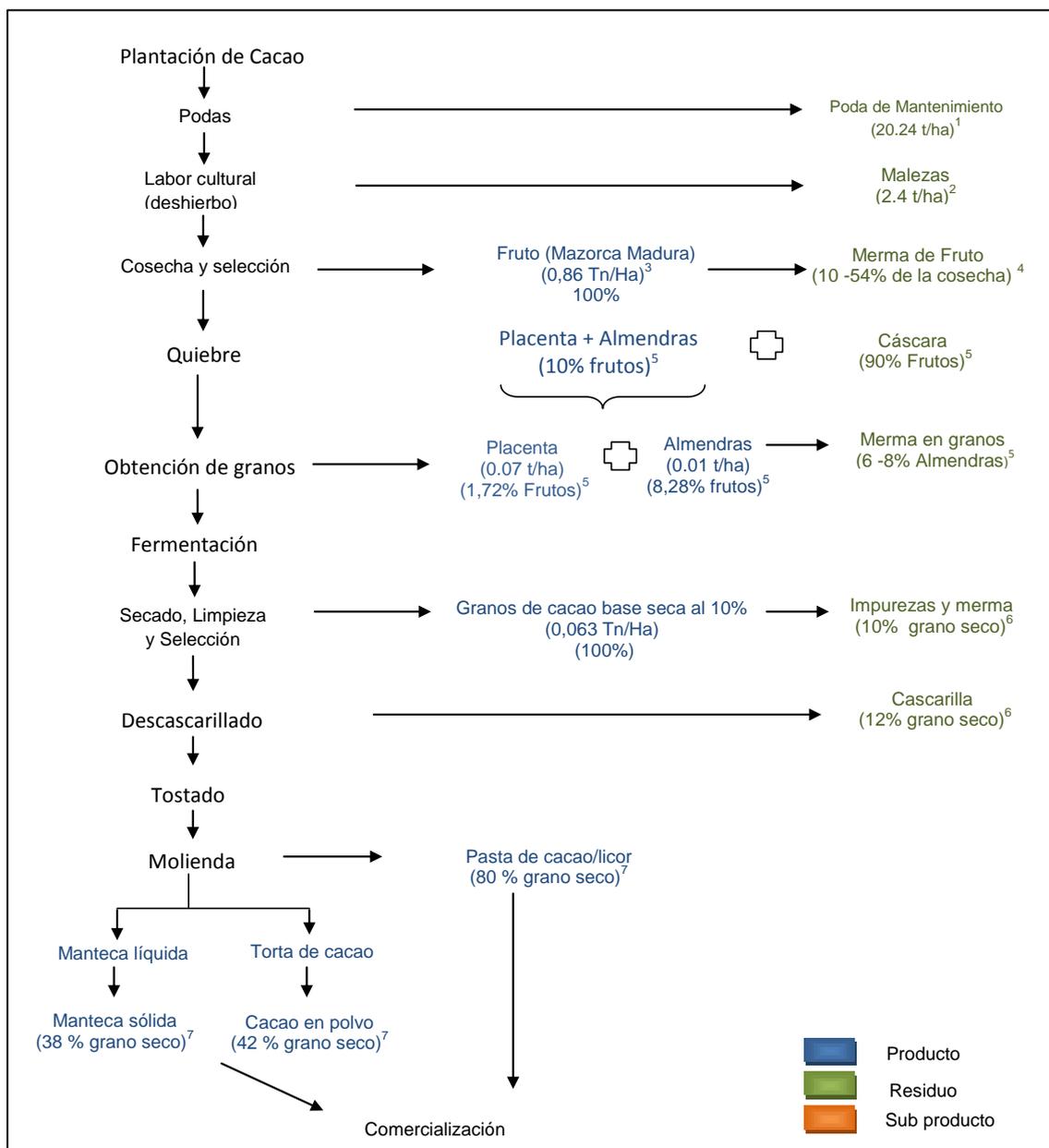


Figura 11. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del cacao y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) Fundaçiòn MCCCH, 2012, (2) Ludeña A. 2014, (3) Cerròn G. 2012 (4) Baena LM y& Garcia N. ,2012 ; (5) Graziani et al 2002; (6) Sangronis et al, 2014.

Así se ha podido identificar que durante la etapa agrícola de este cultivo se pueden obtener 05 residuos: poda, maleza, merma de cosecha, cáscaras de los frutos y merma de los granos germinados.

Fundación MCCH (2012), plantea 04 tipos de podas en el cacao: de formación (2 a 3 ramas por planta joven), de mantenimiento (ralear la copa en 30 %), fitosanitaria (eliminación de todas las partes enfermas del follaje) y de rehabilitación (eliminación de más del 70% del área foliar). Para efectos del estudio, se utiliza sólo los valores de poda de mantenimiento por representar la forma más constante de generación de residuos.

Para el caso de maleza, se toma los datos planteados por Ludeña (2014), que estudia la biomasa de malezas en cacao fino cultivado con prácticas tradicionales y en valores de masa seca por ha.

La merma del fruto corresponden a mazorcas sobre maduras o que presentan daños por plagas o insectos.

La cáscara y la merma por fruto germinado, se obtienen en campo durante la etapa de quiebre.

En la etapa de procesamiento se puede obtener 02 residuos, impurezas y mermas del grano seco del cacao y las cascarillas secas del grano del cacao.

Los residuos identificados como potenciales: maleza, poda, cáscara, cascarilla, merma de cosecha y de procesamiento se muestran en la Figura 12.



CACAO

(*Theobroma cacao*)



Figura 12. Residuos en el cultivo del Cacao (*Theobroma cacao*) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

c. Flujograma del cultivo del café y su procesamiento

En la Figura 13 se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

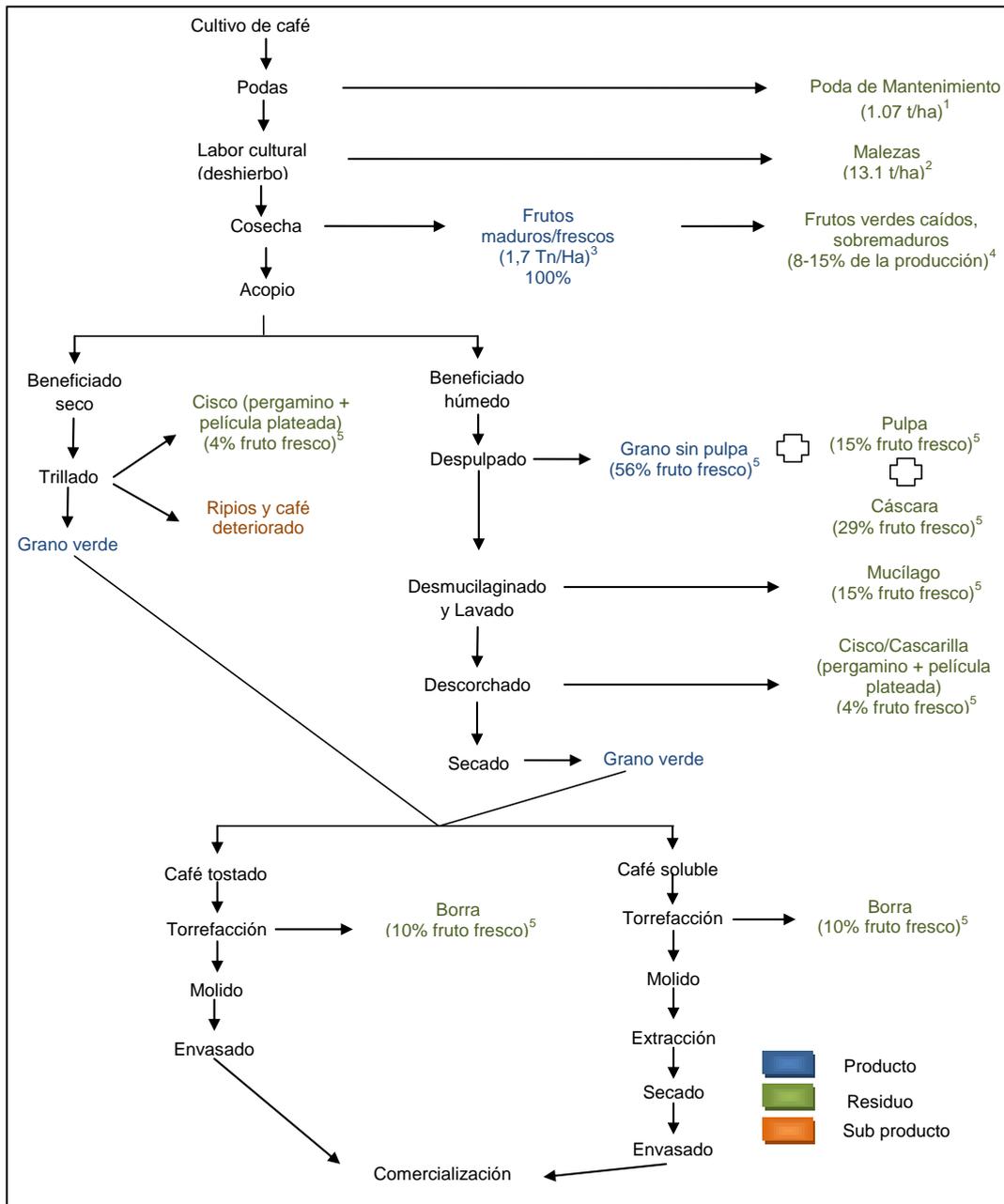


Figura 13. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del café y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) Mestre – Mestre A. & Ospina H, 1994, (2) Sánchez H. et al, 1993, (3) DRASAM, 2008, (4) Vèlez J. et al, 1999, (5) FNC, 2014.

Así se ha podido identificar que durante la etapa de agrícola de este cultivo se pueden obtener 03 residuos: Poda, maleza y frutos verdes caídos o sebrema maduros.

Arcila et al (2007) señala 03 tipos de poda en los cafetales: poda parcial (descope o eliminación de ramas deterioradas), poda total (eliminación de la parte aérea del cafeto o zoqueo) y resiembra o renovación. Para efectos de este estudio, se considera una actividad de poda más constante como la parcial de mantenimiento, tomando como referencia los datos de Mestre – Mestre y Ospina (1994).

Para el caso de la maleza, se utilizan los datos de Sánchez et al (1993) para un cultivo tradicional de café bajo sombra a 90 días de la siembra en valores de biomasa promedio de maleza materia seca en kg/ha.

Para los residuos de procesamiento se considera el beneficio húmedo, por lo que se pueden obtener 05 residuos: pulpa, cáscara, mucilago, cisco/cascarilla y borra. De este grupo, se descarta el mucilago por ser residuo líquido que queda en el agua de lavado del café. Tampoco se considera la borra, pues el proceso de torrefacción del café no se lleva a cabo en Tocache.

Los residuos identificados como potenciales se muestran en la Figura 14.



Figura 14. Residuos en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

d. Flujograma del cultivo del maíz amarillo y su procesamiento

En la Figura 15 se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

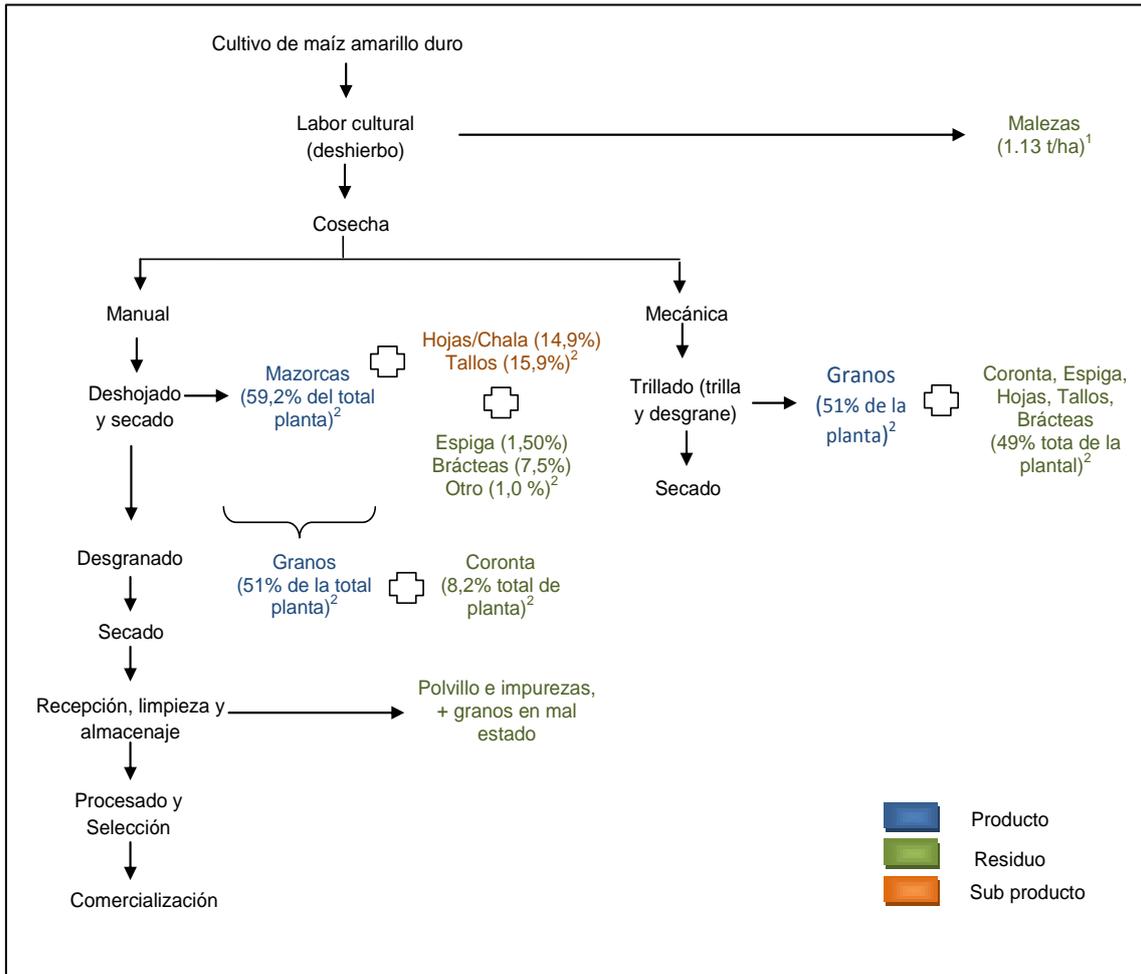


Figura 15. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del maíz amarillo y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) Garcia y Salas (2011) y (2) Goizueta y Castellao (2013)

Así se ha podido identificar que durante la etapa agrícola de este cultivo se pueden obtener 03 residuos: maleza, espigas, brácteas, otros rastrojos y coronta.

En el caso de maleza se toman los datos de Garcia y Salas (2011), que estudian la biomasa verde y seca de las malezas del cultivo de maíz en una superficie de 225 m², con y sin herbicidas.

Barrena et al (2010) propone que los residuos del maíz amarillo (tallos, hojas/follaje, panoja/limbos y coronta) en base seca equivalen a 2.5 veces el peso del grano de maíz cosechado. Sin embargo, en Tocache, las hojas y tallos (chala) poseen uso, por lo que sólo pueden aprovecharse las espigas (panoja), brácteas y otros rastrojos producto de la actividad de deshoje de tallos y mazorcas del maíz, por lo que se considera los porcentajes propuesto por Goizueta y Castellao (2013).

La coronta se obtiene después del proceso de desgrane. En ambos casos los residuos se producen en campo, sin embargo existe una fracción sin determinar de mazorca de maíz que se traslada para su comercialización sin desgrane.

En la etapa de procesamiento se puede obtener 01 residuo: polvillo, impurezas y granos en mal estado. En todos los casos, los residuos producidos no se pueden recolectar de forma significativa para su aprovechamiento energético, por lo que son descartados.

Los residuos identificados como potenciales se muestran en la Figura 16.



MAÍZ AMARILLO

(*Zea mays*)



Figura 16. Residuos en el cultivo del maíz amarillo (*Zea mays*) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

e. Flujograma del cultivo de palma aceitera y su procesamiento

En la Figura 17 se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

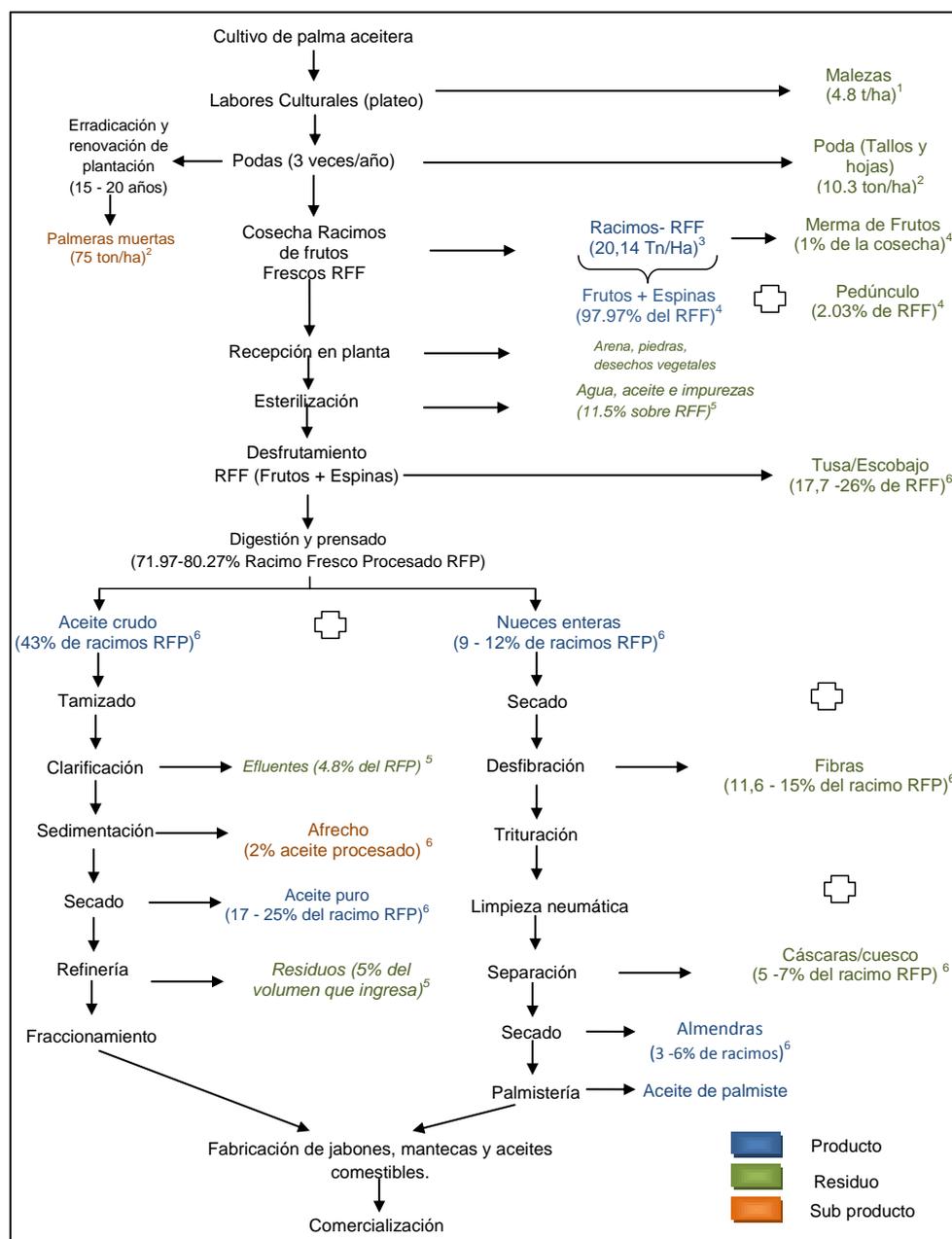


Figura 17. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo de la palma aceitera y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) Barrios- Maestre R. et al, 2011, (2) Jaramillo R.,2012, (3) GRUPO PALMAS, 2012, (4)Tailliez et al., 1996, (5)Dongo J., 2014, (6)Santos G.,2007

Así se ha podido identificar que durante la etapa agrícola de este cultivo se pueden obtener 04 residuos: maleza, poda, merma de frutos y pedúnculos.

Se considera la producción de complejo de malezas constituido por gramíneas y ciperáceas como: *Paspalum convexum*, *Paspalum virgatum*, *Panicum maximum*, *Axonopus* sp., *Cyperus flavus*, *Cyperus* sp., *Ludwigia erecta*, *Ludwigia octovalvis*, *Sida rhombifolia*, *Sida* sp., *Indigofera* sp., entre otras, sobre una plantación de palma aceitera con seis meses de establecimiento en un bosque húmedo tropical estudiadas por Barrios- Maestre et al (2011).

Para el caso de podas, se considera la poda de mantenimiento y se descarta la poda de renovación por ser intermitente, tomándose como referencia los valores planteados por Jaramillo (2012).

Los frutos caídos, considera aquellos sobremaduros o que quedan después de la cosecha sobre el plateo. Al igual que el pedúnculo, ambos residuos quedan en campo. Aunque se ha podido constatar la presencia de tusa o escobajo en campo, la mayor fracción se genera durante el desfrutamiento.

En la etapa de procesamiento se puede obtener 03 residuos: Tusa o escobajo, fibras de la nuez y cáscaras o cuescos. Se ha identificado que una fracción de estos residuos son utilizados para la generación de energía por las empresas de la zona. Sin embargo, no se ha podido constatar el porcentaje de uso.

Los residuos identificados como potenciales se muestran en la Figura 18.



PALMA ACEITERA

(*Elaeis guineensis*)



Figura 18. Residuos en el cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

f. Flujograma del cultivo del plátano y su procesamiento

En la x se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

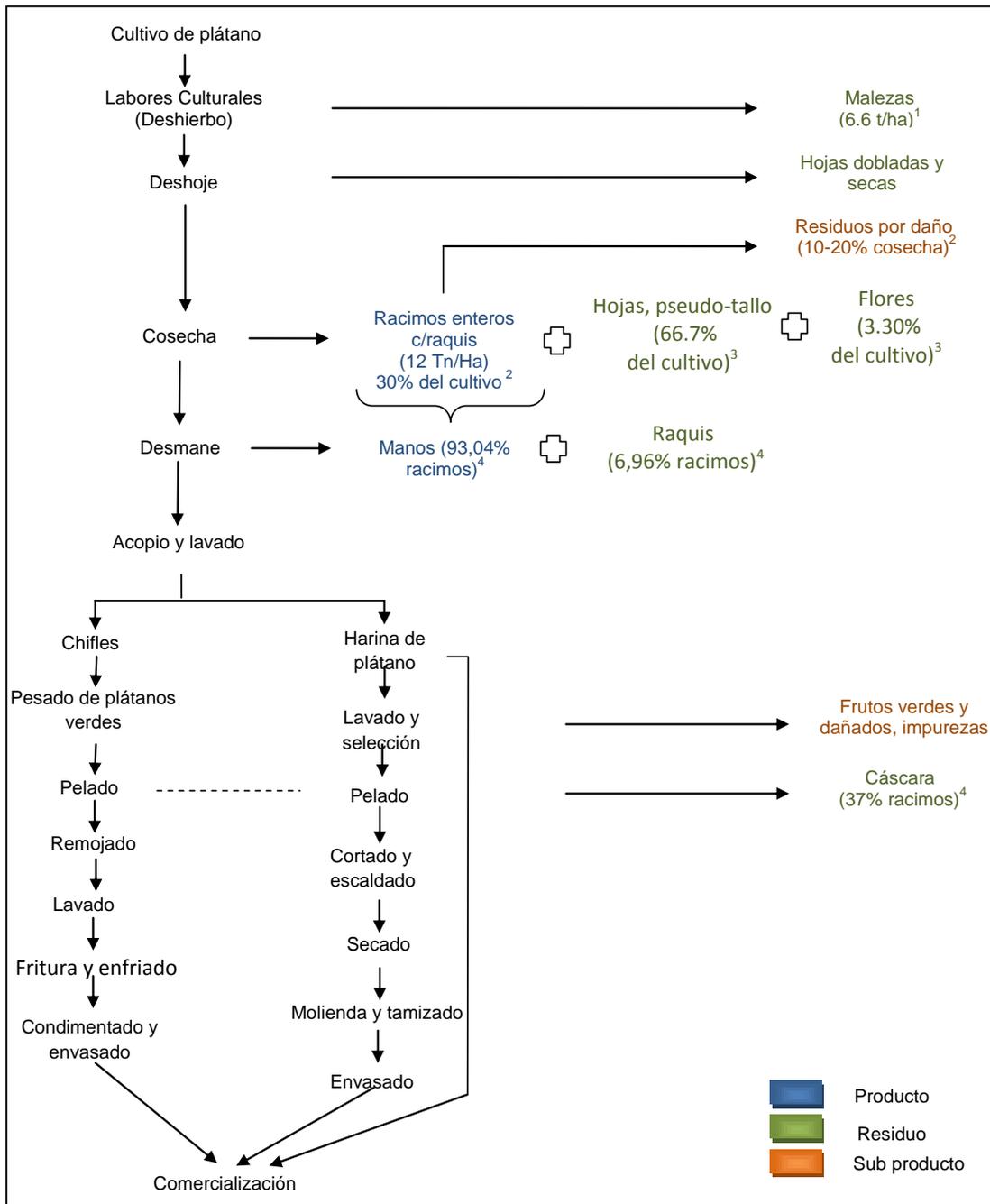


Figura 19. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo del plátano y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) Sánchez et al (1993), (2) Cárdenas (2009); (3) Alvarez (2013) y (4) Angarita (2008)

Así se ha podido identificar que durante la etapa agrícola de este cultivo se pueden obtener 05 residuos: maleza, hojas dobladas o secas, hojas y pseudo tallo, flor y el raquis o pinzote.

Para el caso de la maleza, se utilizan los datos de Sánchez et al (1993), que estudia un manejo tradicional de plátano a 250 días de la siembra en valores de biomasa promedio de maleza materia seca en kg/ha.

Las hojas secas y el pseudotallo generan residuos de forma intermitente dependiendo del tipo de manejo, por lo que no se considera de interés. La flor y el raquis por el contrario, presentan una generación más constante, asociada directamente a la cosecha del fruto.

En la etapa de procesamiento se puede obtener 01 residuo: cáscara. No existe agroindustria para el procesamiento del fruto, por lo que se descarta su uso.

Los residuos identificados como potenciales se muestran en la Figura 20.



PLÁTANO

(*Musa paradisiaca* L.)



Figura 20. Residuos en el cultivo del plátano (*Musa Paradisiaca* L.) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

g. Flujograma del cultivo de la yuca y su procesamiento

En la Figura 21 se presentan los residuos identificados y sus rangos de producción.

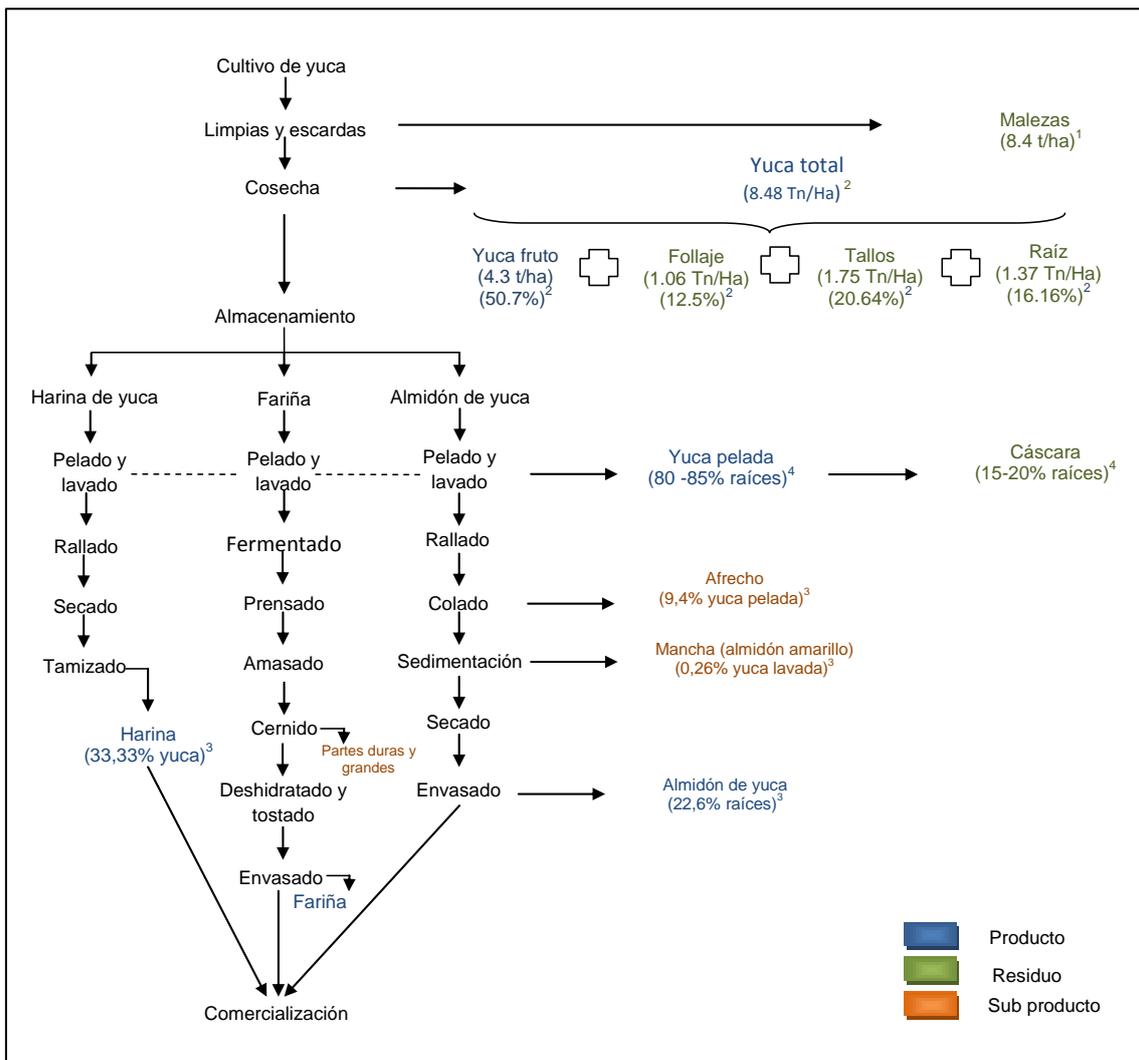


Figura 21. Flujograma de generación de productos y residuos en el cultivo de la yuca y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia en base (1) Flores (2008), (2) Veiga et al (2016), (3) MINCI e IICA (1978) y (4) Marmolejo y Pérez (2008)

Así se ha podido identificar que durante la etapa agrícola de este cultivo se pueden obtener 03 residuos: maleza, follaje, tallos y raíz.

Estudios realizados por Flores (2008), determinan que la acumulación de biomasa de malezas en yuca bajo manejo convencional, están representadas por la especies predominantes, *Xiphophorus unicus* (Persl), *Sorghum halepense* (L) Pers (invasor), *Tithonia rotundifolia* (Mill) y *Cyperus rotundus* L.(coyolillo), por lo que se utilizan estos valores de biomasa de maleza materia seca en gr./m²

Se descarta el uso de follaje como residuo, debido a que los tallos y la raíz presentan mejores condiciones para su aprovechamiento energético (Veiga et al, 2016)

En la etapa de procesamiento se puede obtener 01 residuo: cáscaras. No existe agroindustria para el procesamiento de la yuca, por lo que se descarta su uso.

Los residuos identificados como potenciales se muestran en la Figura 22.



YUCA

(*Manihot esculenta*)



Figura 22. Residuos en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*) y su procesamiento.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se resume la información de los flujogramas de generación de productos y residuos de los 07 cultivos. Para los fines del presente estudio, se clasifican y seleccionan los residuos potenciales de todos los cultivos.

Se entiende como potenciales, aquellos que podrían ser accesibles, tienen uso limitado y constituyen un problema en su disposición, por lo que se clasifican de acuerdo a 5 calificaciones que corresponden al resumen de información recolectada en campo. Esta información servirá de base para determinar el volumen de biomasa residual disponible en Tocache.

Tabla 8. Cultivos, tipos de residuos producidos, Factores de Producción de residuos (FPR)

Producto	Cultivo, Factores de Generación de residuo y uso actual								
	Labores culturales	Factores de generación de residuos (FPR) t/ha	Uso Actual	Cosecha	Factores de generación de residuos (FPR) %	Uso actual	Procesamiento	Factores de generación de residuos (FPR) %	Uso actual
Arroz	Maleza	0.84	(4)	Tallos/Paja	56.6-58.3	(2)(4)(5)	Cáscara	20.00	(2)(4)(5)(3)
Cacao	Maleza	2.4	(4)	Cáscara	90.00	(4)(1)(5)	Merma granos dañado	10.00	(5)(4)
	Poda	20.2	(4)(3)	Merma de cosecha	10.00-54.00	(4)(1)(5)	Cascarilla	12.00	(5)(4)
Café				Merma fruto germinado	6.00-8.00	(4)(1)(5)			
	Maleza	13.1	(4)	Merma de cosecha	8.00-15.00	(4)(1)(5)	Cáscara	29.00	(4)(1)
	Poda	1.07	(4)				Cascarilla	4.00	(4)(1)
Maíz Amarillo	Maleza	1.13	(4)	Espiga, Hojas, tallo y otros	10.00-33.30	(5)(4)(2)	Coronta	8.20	(5)(4)
Palma	Maleza	4.8	(4)(1)	Merma de cosecha	1.00	(4)(2)(1)	Tusa	17.70-26.00	(4)(2)(1)
				Pedúnculo	2.03	(4)(2)(1)	Fibra	11.60-15.00	(3)
	Poda	10.3	(2)(4)(1)				Cuesco	5.70	(3)
Plátano	Maleza	6.6	(4)	Flor	3.30	(4)	-		
				Raquis o pinzote	6.96	(4)(5)			
Yuca	Maleza	8.4	(4)	Tallos	20.64	(4)(3)	-		
				Raíz	16.16	(4)	-		

Leyenda:

Calificación	Uso
1	Preparación de abono
2	Quema al ambiente
3	Combustible doméstico/industrial
4	Se dispone al ambiente (acumulación, vertimiento, otros)
5	Consumido por el usuario (uso alimenticio, pecuario, medicinal, otros)

En la Figura 23 se presenta una muestra fotográfica que evidencia el manejo de los residuos en la Provincia de Tocache para la época de realización del trabajo en campo.



(Continúa)



(a) Arroz; (b) Cacao; (c) Cafè; (d) Palma (e) Maíz amarillo (f) Plátano (g) Yuca

Figura 23. Residuos de la actividad agrícola y de procesamiento en la Provincia de Tocache.

4.1.2. Producción de Biomasa Residual Agrícola y su distribución espacial.

Para la estimación del volumen de biomasa residual disponible utilizamos los datos de la tabla 8. Cultivos, tipos de residuos producidos, Factores de Producción de residuos (FPR). En todos los casos en donde se presentan rangos de generación se calcula en base al valor menor.

Uno de los residuos producidos durante las labores culturales es la maleza. En una primera aproximación a la generación de residuos por maleza se estima que los cultivos de cacao, café y maíz amarillo duro son los mayores productores, con 14612.82, 10731.18 y 5982.73 t de residuo/Promedio Año respectivamente de biomasa residual disponible seca (humedad al 10%). Los resultados del cálculo para el periodo temporal 2004-2014 se muestran en la Tabla 9

Tabla 9. Producción de residuos de maleza periodo 2004-2014 en la provincia de Tocache.

CULTIVO	PRODUCCIÓN DE RESIDUOS (t/año)											TOTAL PERÍODO (t)	RESIDUO t/Promedio Año
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
ARROZ	2504	2544	2832	2554	3618	4028	4131	4224	3733	2935	3825	36928	3357.09
CACAO	3314	3838	8671	11179	12859	11179	17131	16020	22800	20306	33444	160741	14612.82
CAFÉ	7927	3816	4272	4766	7149	10222	9872	15895	19551	19416	15157	118043	10731.18
MAÍZ AMARILLO	7259	4541	4992	4683	5921	4959	6459	8380	6924	5170	6522	65810	5982.73
PALMA	3389	3840	3861	4495	6233	6147	6608	10701	10998	8488	9305	74065	6733.18
PLÁTANO	3186	3394	3347	3525	3487	3836	4177	4568	5158	4737	4885	44300	4027.27
YUCA	426	452	796	857	574	630	1042	884	1358	1303	1379	9701	881.91
TOTAL	28005	22425	28771	32059	39841	41001	49420	60672	70522	62355	74517	Σ509588	

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, estos datos deben considerarse solo referenciales debido a que parten de fuentes secundarias. Según menciona FAO (1996), uno de los aspectos más estudiados sobre malezas es la duración de periodos de presencia o ausencia. Refiere también que en la mayoría de los estudios se infiere el grado de infestación de la maleza, por lo que su densidad y nivel de permanencia pueden ser variables bajo diferentes condiciones. Sin un estudio de campo con las metodologías adecuadas, no será posible evaluar el nivel de importancia como residuo y fuente de energía.

El resto de residuos disponibles durante la labor cultural (poda), cosecha y procesamiento se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Producción de residuos de poda, cosecha y procesamiento en el periodo 2004-2014 en la provincia de Tocache.

CULTIVO	RESIDUO	PRODUCCIÓN DE RESIDUOS (t/año)										TOTAL PERÍODO (t)	RESIDUO t/Promedio Año	Ratio Residuo/ Superficie (t/ha)	
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013				2014
ARROZ	Paja	8400	8868	9962	8506	11087	12185	12479	12749	12729	10081	12950	119996	10909	4.67
	Cáscara	3965	4185	4702	4014	5233	5751	5890	6017	6008	4758	6112	56635	5149	
												Σ	176631	\bar{X}	8029
CACAO	Cáscara +Mermas	608	768	1745	2334	2790	2520	4283	3674	6012	5413	7669	37816	3438	1.21
	Poda	2795	3236	7313	9428	10845	9428	14447	13510	19228	17125	28204	135559	12324	4.34
	Cascarilla +Mermas	14	18	40	54	64	58	98	85	139	125	177	872	79	
												Σ	174247	\bar{X}	5280
CAFÉ	Grano Merma	341	145	155	190	295	440	438	684	770	507	617	4582	417	0.22
	Poda	647	311	349	389	584	834	806	1297	1596	1585	1237	9635	876	0.46
	Cáscara	1648	701	747	917	1424	2126	2119	3305	3720	2448	2984	22139	2013	
	Cascarilla	227	97	103	127	196	293	292	456	513	338	412	3054	278	
												Σ	39410	\bar{X}	896
MAÍZ	Rastrojo +Otros	343	203	222	210	309	306	374	550	333	248	298	3396	309	0.28
AMARILLO	Coronta	1126	665	728	689	1013	1003	1227	1804	1094	813	979	11141	1013	0.91
												Σ	14537	\bar{X}	661
PALMA	Pedúnculo+ Merma	3947	3732	4392	4356	4282	4683	5098	5682	7068	7200	7570	58010	5274	0.59
	Poda	7329	8304	8349	9720	13479	13292	14289	23141	23783	18355	20123	160164	14560	1.62
	Tusa	30439	28777	33863	33587	33021	36113	39309	43817	54500	55520	58371	447317	40665	
	Cuesco	8598	8129	9566	9488	9328	10201	11104	12378	15395	15684	16489	126360	11487	
	Fibra	19948	18859	22193	22012	21641	23667	25762	28716	35717	36386	38254	293155	26650	
												Σ	1085006	\bar{X}	19727
PLÁTANO	Flor+ Merma	5801	5934	6045	6452	6507	6470	8079	9022	9540	8763	9036	81649	7423	1.37
	Raquis/Pinzote	3643	3727	3796	4052	4086	4063	5073	5666	5991	5503	5675	51275	4661	0.86
												Σ	132924	\bar{X}	6042
YUCA	Tallos	946	1001	1763	1898	1283	1414	2630	3195	3802	3137	3320	24389	2217	3.17
	Raíz	740	784	1380	1486	1005	1107	2059	2502	2977	2456	2599	19095	1736	2.48
												Σ	43484	\bar{X}	1977
TOTAL PROVINCIAL		101505	98444	117413	119909	128472	135954	155856	178250	210915	196445	223076	Σt	1666239	

CULTIVO	TOTAL CULTIVO PERIODO (t)	(%)
ARROZ	176631	10.60
CACAO	174247	10.46
CAFÉ	39410	2.37
MAÍZ AMARILLO	14537	0.87
PALMA	1085006	65.12
PLÁTANO	132924	7.98
YUCA	43484	2.61
TOTAL	1666239	100%

Fuente: Elaboración propia en base a datos preliminares MINAGRI (2015)

Una evolución de la producción de residuos en el periodo 2004-2014 se muestra en la Figura 24 y Figura 25. En ellos se puede observar una tendencia de crecimiento para todos los cultivos, por ende también para la producción de residuos.

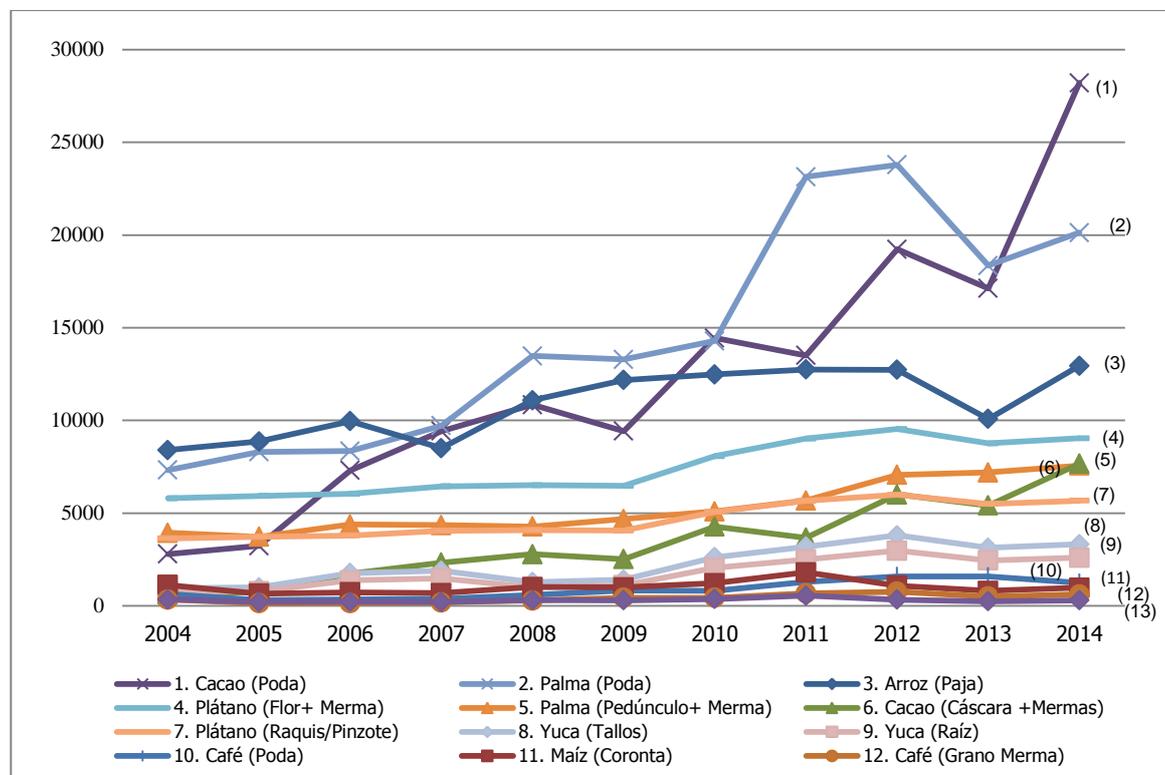


Figura 24. Evolución de la generación de residuos Agrícolas en el periodo 2004-2014 en (t /promedio año)

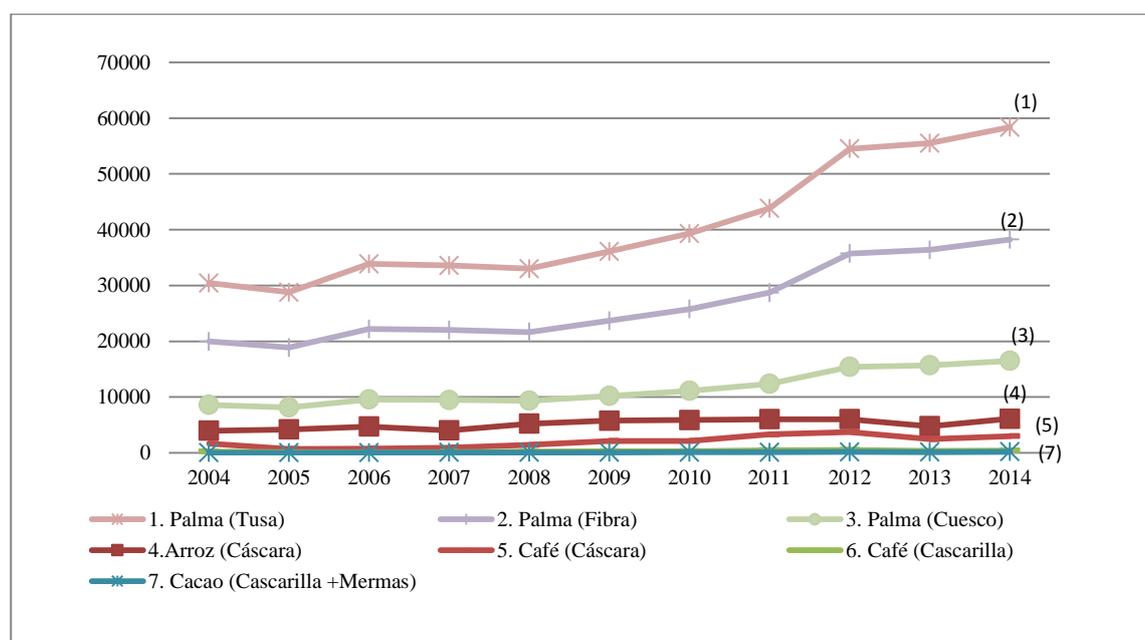


Figura 25. Evolución de la generación de residuos de procesamiento en el periodo 2004-2014 en (t /promedio año)

Los resultados sobre la estimación del volumen de biomasa residual disponible, señalan que la producción durante el periodo de estudio asciende a 1 666 239 toneladas, con una media provincial de 15113 toneladas de residuos de los 7 cultivos durante todas las etapas.

Al segmentar las etapas de producción de residuos, se estima que en las labores culturales de poda de cacao, café y palma el total de residuos asciende a 305 358 toneladas, con una producción promedio año de 9 253 toneladas de residuos en toda la provincia.

En las labores de cosecha del arroz, cacao, café, palma, maíz amarillo, yuca y plátano se estima una producción de 411 349 toneladas de residuos, que equivale a 3740 toneladas de residuos promedio año.

En las labores de procesamiento del arroz, cacao, café, palma, maíz amarillo, yuca y plátano se estima una producción de 949 532 toneladas de residuos, que equivalen a 12 332 toneladas de residuos promedio año.

Se presentan tablas y gráficos más detallados en el Anexo 1.

La generación de residuos en la etapa de poda representa el 18%, el de labores cosecha el 25% y el procesamiento el 57% de la producción total de biomasa residual provincial.

Del análisis de la producción de residuos por cultivo, se determina que la palma, el arroz y el cacao han sido los generadores de la mayor cantidad de residuos en el periodo estudiado. Sin embargo, existe una variación en la producción de residuos promedio año, en donde el cultivo de plátano, desplaza al cultivo de

cacao. Esto se debe a que los residuos obtenidos del cacao proceden de diversas fuentes y varían en rangos de producción de 79 a 12374 toneladas promedio año. La distribución espacial de estos residuos se muestra en la Figura 26.

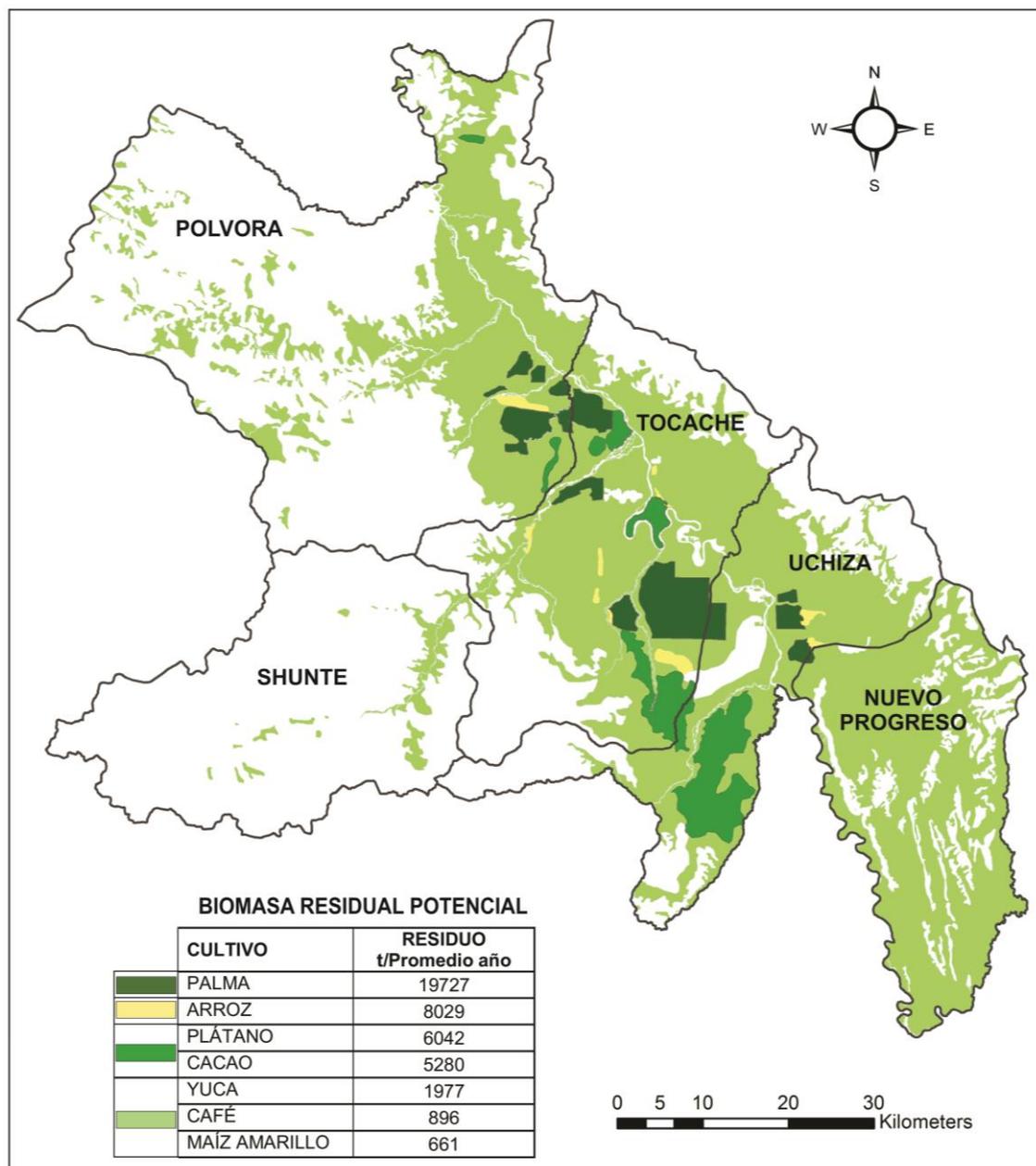


Figura 26. Distribución espacial de la biomasa residual potencial en la provincia de Tocache.

Fuente: Elaboración propia en base a MTP (2006)

Una aproximación a la producción de residuos por superficie (Ratio Residuo/Superficie) de los 03 cultivos más importantes, revela que se producen en campo un promedio de 0.59 - 1.62 toneladas de residuos de palma por hectárea (pedúnculo y poda), 4.67

toneladas de paja de arroz por hectárea y 1.21 - 4.34 toneladas por hectárea de cacao (cáscara +mermas y poda).

Los distritos que presentan una mayor cantidad de biomasa residual son Tocache, Uchiza y Polvora, en donde los residuos predominantes son producto del cultivo de palma, arroz y la asociación de cacao y plátano. Una aproximación a la producción de residuos en los 05 distritos de la provincia se muestra en el Anexo 2. Se advierte que los resultados mostrados corresponden al periodo 2004-2008 y son sólo referenciales.

En la figura 27 sobre producción promedio de residuos por distritos se confirma que la generación de residuos se concentra en Tocache, Uchiza y Polvora con una producción promedio anual de 8 606, 3369 y 1898 toneladas de residuos.

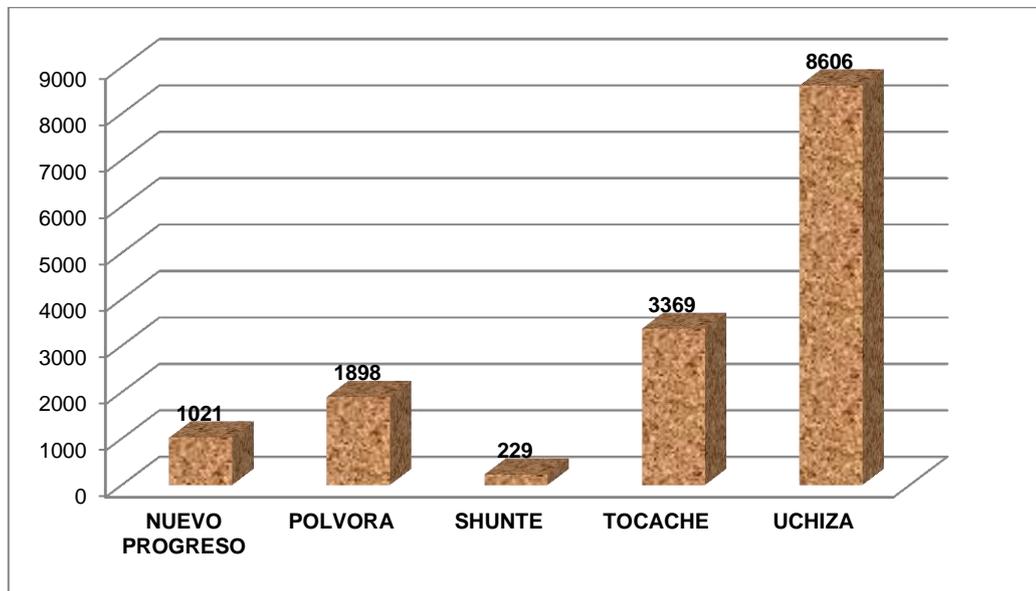


Figura 27. Producción promedio de residuos en los 05 distritos de la provincia de Tocache.

Los cultivos que mayor producción de residuos tienen se muestran en la figura 28. En donde los mayores aportantes son la palma, el arroz y el cacao.

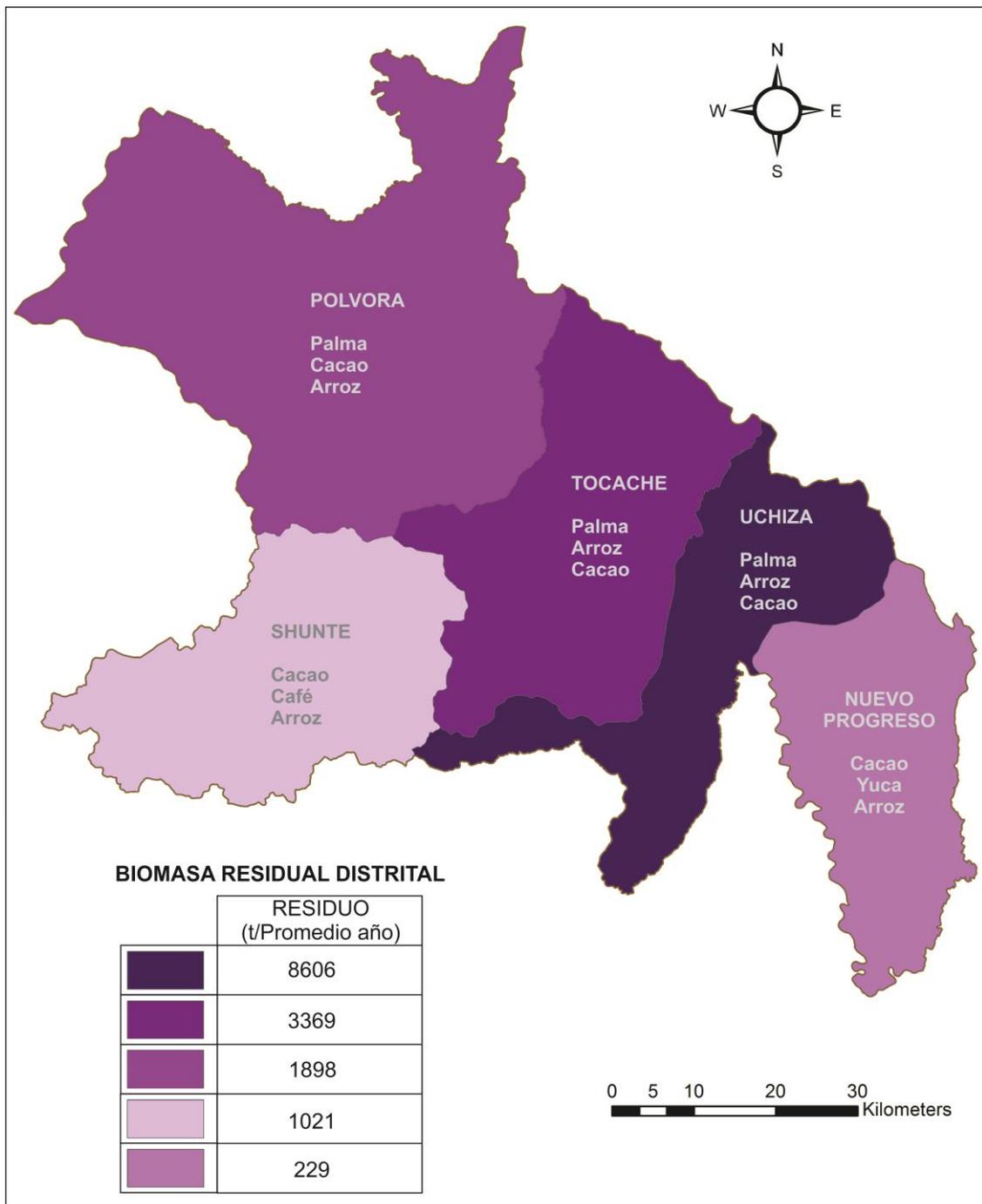


Figura 28. Producción de residuos por distritos y cultivos en el periodo 2004-2008 en la provincia de Tocache.

Barrena et al (2010), estima para la provincia de Tocache, en el periodo 2005-2008, una producción promedio de 11333 toneladas de tallo/paja de arroz y 12 113 toneladas de residuo de tallo, follaje, panoja y coronta de maíz amarillo. Estos resultados difieren en parte con los resultados obtenidos en el presente documento. En donde para el tallo/paja de arroz se ha estimado una producción promedio de 10 909 toneladas de residuo y 309 toneladas de residuos de rastrojos de maíz amarillo. Esta diferencia se debe a que se usan diferentes factores de producción de residuos.

Asimismo, los resultados obtenidos, podrían generar un nuevo frente de análisis a nivel regional a fin de complementan la propuesta de MINAGRI (2009), que señala sólo a la cascarilla de arroz como recurso potencial en zonas de selva, que coinciden en parte con el pronóstico de MEM (2013).

4.2. Potencial Energético de la Biomasa Residual en la Provincia de Tocache

Para los fines del estudio se identificaron las características fisicoquímicas y energéticas de la biomasa residual potencial de los 07 cultivos. En la Tabla 11 se presentan las características identificadas y sus correspondientes valores.

Tabla 11. Características fisicoquímicas y energéticas de la biomasa residual potencial de los 07 cultivos estudiados.

Cultivo	Tipo de Residuo	Contenido de Humedad		Poder calórico*		Cenizas (% de peso)	Materia Volátil (% de peso)
		Fresco (%)	Seco (%)	MJ/kg	kcal/kg		
Arroz	Cascara	15.00 ⁽¹⁸⁾	4.04 ⁽¹⁾	15.72 ⁽¹⁾	3754.32	16.67 ⁽¹⁾	63.37 ⁽¹⁾
	Paja	12.12 ⁽²⁾	7.01 ⁽¹⁾	13.67 ⁽¹⁾	3265.00	15.64 ⁽¹⁾	61.95 ⁽¹⁾
Cacao	Cascara + Mermas	82.17 ⁽⁴⁾	13.40 ⁽³⁾	14.60 ⁽³⁾	3487.15	9.09 ⁽³⁾	58.71 ⁽³⁾
	Cascarilla +Mermas	-	6.70 ⁽⁵⁾	15.68 ⁽⁵⁾	3745.10	8.58 ⁽⁵⁾	-
Café	Poda	-	11.00 ⁽⁶⁾	16.96	4051.00 ⁽⁶⁾	2.50 ⁽⁶⁾	77.90 ⁽⁶⁾
	Granos Merma	67.52 ⁽⁷⁾	11.13 ⁽⁷⁾	15.60 ⁽⁸⁾	3726.00	-	-
	Cáscara	43.58 ⁽⁷⁾	10.10 ⁽⁹⁾	16.90 ⁽⁹⁾	4036.50	2.25 ⁽⁹⁾	74.80 ⁽⁹⁾
	Cascarilla	11.13 ⁽⁷⁾	8.20 ⁽¹⁰⁾	17.90 ^{**} (10)	4275.34	5.60 ⁽¹⁰⁾	77.00 ⁽¹⁰⁾
Maíz	Poda	34.7 ⁽¹¹⁾	11.44 ⁽¹¹⁾	17.52 ⁽¹¹⁾	4184.51	2.03 ⁽¹¹⁾	73.63 ⁽¹¹⁾
	Rastrojo	-	6.06 ⁽¹²⁾	15.68 ⁽¹²⁾	3745.10	4.75 ⁽¹²⁾	75.96 ⁽¹²⁾
Amarillo	(Espiga+restos)	-	-	-	-	-	-
	Coronta	-	7.04 ⁽¹⁾	16.38 ⁽¹⁾	3912.13 ⁽¹⁾	2.90 ⁽¹⁾	72.57 ⁽¹⁾
Palma	Pedúnculo + Merma	82.6 ⁽¹³⁾	55.00 ⁽¹⁸⁾	14.00 ^{**} (13)	3343.84	-	-
	Tusa	57.20 ⁽¹⁴⁾	6.10 ⁽¹⁷⁾	17.02 ^{**} (14)	4282.51	5.12 ⁽¹⁴⁾	69.5 ⁽¹⁷⁾
	Cuesco	21.40 ⁽¹⁴⁾	17.00 ⁽¹⁸⁾	19.78 ^{**} (14)	4724.37	4.38 ⁽¹⁴⁾	-
	Fibras	37.20 ⁽¹⁴⁾	37.00 ⁽¹⁸⁾	19.61 ^{**} (14)	4683.77	3.32 ⁽¹⁴⁾	-
	Poda	71.00 ⁽¹⁶⁾	33.03 ⁽¹⁵⁾	12.36 ⁽¹⁵⁾	2952.14	5.95 ⁽¹⁵⁾	52.94 ⁽¹⁵⁾
Plátano	Flor +Merma	85.00 ⁽¹⁸⁾	50.00 ⁽¹⁹⁾	11.6 ⁽¹⁸⁾	2770.61	-	-
	Raquis/Pinzote	85.00 ⁽¹⁸⁾	50.00 ⁽¹⁹⁾	11.6 ⁽¹⁸⁾	2770.61	1.2 ⁽²⁰⁾	-
Yuca	Tallos	59.71 ⁽²¹⁾	9.62 ⁽²¹⁾	17.21 ^{**} (21)	4110.54	2.91 ⁽²¹⁾	85.87 ⁽²¹⁾
	Raíz	53.87 ⁽²¹⁾	8.60 ⁽²²⁾	15.37 ⁽²²⁾	3671.06	0.74 ⁽²²⁾	74.70 ⁽²²⁾

Fuente:

Fuente: (1) Lu, Y. et al. (2006), (2) Miles T. R., et al (1996) , (3) Phyllis2 -ECN classification #884 (2014), (4) Sánchez J. (2013), (5) Phyllis2 -ECN Phyllis classification #1932 (2014), (6) Lim, K. O., & Vizhi, S. M. (1993) , (7) Montilla (2008), (8) Rodríguez, N. & Zambrano D. (2010), (9) Phyllis2 -ECN Phyllis classification #2882 (2014), (10) Fernández Díez, Y. (2010), (11) Romo N. et al (2011), (12) Phyllis2 -ECN Phyllis classification #704 (2014), (13) Omar, R., et al (2011), (14) Uemura, Y., et al (2011), (15)Phyllis2 -ECN Phyllis classification #3350 (2014), (16) Uemura, Y., et al (2011), (17) Ramírez N. et al (2015), (18)Coto, O. (2013), (19) Roldan, C. (2012), (20) Phyllis2 -ECN Phyllis classification #2582 (2014), (21) Veiga. et al (2016), (22) Panchaluk, S. et al (2013)

(*) Poder calórico inferior PCI/LHV en base seca, tal como llegaron al laboratorio para su análisis. (** *) Poder Calórico Superior PCS/HHV, en base seca

Los datos referenciados en la tabla 11, sirven de base para el cálculo de la estimación del potencial energético que se puede extraer de la biomasa residual, como se detalló en el apartado de la metodología. Los resultados de estos cálculos se presentan en la tabla

12

Tabla 12. Energía Potencial aprovechable y valorización de la biomasa residual agrícola en la Provincia de Tocache

CULTIVO	RESIDUO	RESIDUO	POTENCIAL	RESIDUO		RESIDUO
		t promedio año	ENERGÉTICO	TEP	Mm3	VALORIZADO
			TJ/año		Gas natural	Millones \$ USD
ARROZ	Paja	10909	127	3027	3.65	1.04
	Cáscara	5149	71	1699	2.05	0.59
	Σ	176631	198	4726	5.70	1.63
	\bar{X}	8029	99	2363	2.85	0.82
CACAO	Cáscara +Mermas	3438	9	214	0.26	0.07
	Poda	12324	186	4443	5.35	1.53
	Cascarilla +Mermas	79	1	28	0.03	0.01
	Σ	174247	196	4685	5.64	1.61
	\bar{X}	5280	65	1562	1.88	0.54
CAFÉ	Grano Merma	417	2	51	0.06	0.02
	Poda	876	10	239	0.29	0.08
	Cáscara	2013	19	458	0.55	0.16
	Cascarilla	278	4	105	0.13	0.04
	Σ	39410	35	853	1.03	0.30
	\bar{X}	896	9	213	0.26	0.08
MAÍZ AMARILLO	Rastrojo +Otros	309	5	109	0.13	0.04
	Coronta	1013	15	368	0.44	0.13
	Σ	14537	20	477	0.57	0.17
	\bar{X}	661	10	239	0.29	0.09
PALMA	Pedúnculo+ Merma	5274	13	307	0.37	0.11
	Poda	14560	52	1247	1.50	0.43
	Tusa	40665	296	7454	8.98	2.57
	Cuesco	11487	179	4266	5.14	1.47
	Fibra	26650	328	7839	9.44	2.71
	Σ	1085006	868	21113	25.43	7.29
	\bar{X}	19727	174	4223	5.09	1.46
PLÁTANO	Flor + Merma	7423	13	308	0.37	0.11
	Raquis-Pinzote	4661	8	194	0.23	0.07
	Σ	132924	21	502	0.60	0.18
	\bar{X}	6042	11	251	0.30	0.09
YUCA	Tallos y Hojas	2217	15	367	0.44	0.13
	Raiz	1736	12	294	0.35	0.10
	Σ	43484	27	661	0.79	0.23
	\bar{X}	1977	14	331	0.40	0.12
TOTAL PROVINCIAL ANUAL		1666239	1308	33017	39.78	11.40
PROMEDIO PROVINCIAL ANUAL		7574	68	1651	1.99	0.57

CULTIVO	TEP	%
ARROZ	4726	9.80
CACAO	4685	10.92
CAFÉ	853	2.89
MAÍZ AMARILLO	477	0.92
PALMA	21113	62.28
PLÁTANO	502	7.13
YUCA	661	6.05
TOTAL	33017	100

Se estima que la producción de 1666239 toneladas de biomasa residual disponible en el periodo de estudio, posee un potencial energético de 1308 TJ/año que corresponden a 33017 Toneladas equivalentes de petróleo y pueden constituir un aporte de 39.78 Mm3

de Gas natural. En una aproximación a la valorización de los residuos de biomasa, su aporte a la provincia asciende a 11.40 Millones de dólares.

De la misma forma, se deduce que el promedio de producción de biomasa residual disponible de 7 574 toneladas de residuo, poseen un potencial energético de 68 TJ/año que equivalen a 1651 TEP y pueden constituir un aporte de 1.99 Mm³ de gas natural y ser valorizados en 0.57 Millones de dólares.

Los cultivos que más aportan a este potencial energético son la palma, el cacao y el arroz con una participación porcentual de 62.28, 10.92 y 9.80% respectivamente.

Asimismo, este potencial energético tiene la capacidad de generar 54.90 MWt de calor y 16.47 MWe de energía eléctrica, considerando la totalidad de la biomasa residual agrícola.

Los promedios de producción de biomasa residual de los cultivos permitirían una capacidad instalada de 2.74 MWt para la generación de calor y 0.82 MWe para la generación de energía eléctrica, que constituye una oferta energética promedio año de 19.20 GWh para la provincia. Los resultados parciales por cultivo y residuo se muestran en la tabla 13

Tabla 13. Capacidad instalada térmica y eléctrica aprovechable de la biomasa residual agrícola en la Provincia de Tocache

CULTIVO	RESIDUO	POTENCIA INSTALADA		ENERGÍA OFERTADA AÑO	
		MWt	MWe	MWh	GWh
ARROZ	Paja	5.03	1.51	35203	35.20
	Cáscara	2.82	0.85	19759	19.76
	Σ	7.85	2.36	54962	54.96
	\bar{X}	3.93	1.18	27481	27.48
CACAO	Cáscara +Mermas	0.36	0.11	2489	2.49
	Poda	7.39	2.22	51670	51.67
	Cascarilla +Mermas	0.05	0.01	326	0.33
	Σ	7.80	2.34	54485	54.49
	\bar{X}	2.60	0.78	18162	18.16
CAFÉ	Grano Merma	0.08	0.03	593	0.59
	Poda	0.40	0.12	2779	2.78
	Cáscara	0.76	0.23	5326	5.33
	Cascarilla	0.17	0.05	1221	1.22
	Σ	1.41	0.43	9919	9.92
	\bar{X}	0.35	0.11	2480	2.48
MAÍZ AMARILLO	Rastrojo +Otros	0.18	0.05	1268	1.27
	Coronta	0.61	0.18	4280	4.28
	Σ	0.79	0.23	5548	5.55
	\bar{X}	0.40	0.12	2774	2.78
PALMA	Pedúnculo + Merma	0.51	0.15	3570	3.57
	Poda	2.07	0.62	14502	14.50
	Tusa	12.39	3.72	86686	86.69
	Cuesco	7.09	2.13	49612	49.61
	Fibra	13.03	3.91	91164	91.16
	Σ	35.09	10.53	245534	245.53
	\bar{X}	7.02	2.11	49107	49.11
PLÁTANO	Flor + Merma	0.51	0.15	3582	3.58
	Raquis-pinzote	0.32	0.10	2256	2.26
	Σ	0.83	0.25	5838	5.84
	\bar{X}	0.42	0.13	2919	2.92
YUCA	Tallos	0.18	0.61	4268	4.27
	Raíz	0.15	0.49	3419	3.42
	Σ	0.33	1.10	7687	7.69
	\bar{X}	0.17	0.55	3844	3.85
TOTAL PROVINCIAL ANUAL		54.90	16.47	383972	383.97
PROMEDIO PROVINCIAL ANUAL		2.74	0.82	19199	19.20

CULTIVO	GWh	%
ARROZ	54.96	14.31
CACAO	54.49	14.19
CAFÉ	9.92	2.58
MAÍZ AMARILLO	5.55	1.45
PALMA	245.53	63.95
PLÁTANO	5.84	1.52
YUCA	7.69	2.00
TOTAL	383.98	100.00

Barrena et al (2010), estima para la provincia de Tocache, en el periodo 2005-2008, una producción de 2194 TEP y una capacidad instalada de 1.15 MWe con los residuos del

maíz amarillo; una producción de 3778 TEP y una capacidad instalada de 1.98 MWe con los residuos de tallo/paja de arroz. En un cálculo para este periodo temporal, se obtiene que es posible generar 109 TEP y 0.05 MWe con los residuos de maíz amarillo y 3027 TEP y 1.51 MWe para los residuos de arroz. Resultados que difieren en parte debido que se usan diferentes factores de producción de residuos.

Assureira y Assureira (2013), estiman un potencial energético para el periodo 2003-2011 de 212 563 TEP en la Región San Martín , de los cuales 40387 TEP corresponde al aporte del tallo de arroz, por lo que se puede inferir que el potencial de generación de la provincia de Tocache, representa el 7.5 % del potencial regional.

Una aproximación a la determinación de potencial energético en los 05 distritos de la provincia se muestra en el Anexo 3. Se advierte que los resultados mostrados corresponden al periodo 2004-2008 y son sólo referenciales.

La distribución espacial del potencial energético que se puede obtener con la biomasa residual se muestra en la figura 29.

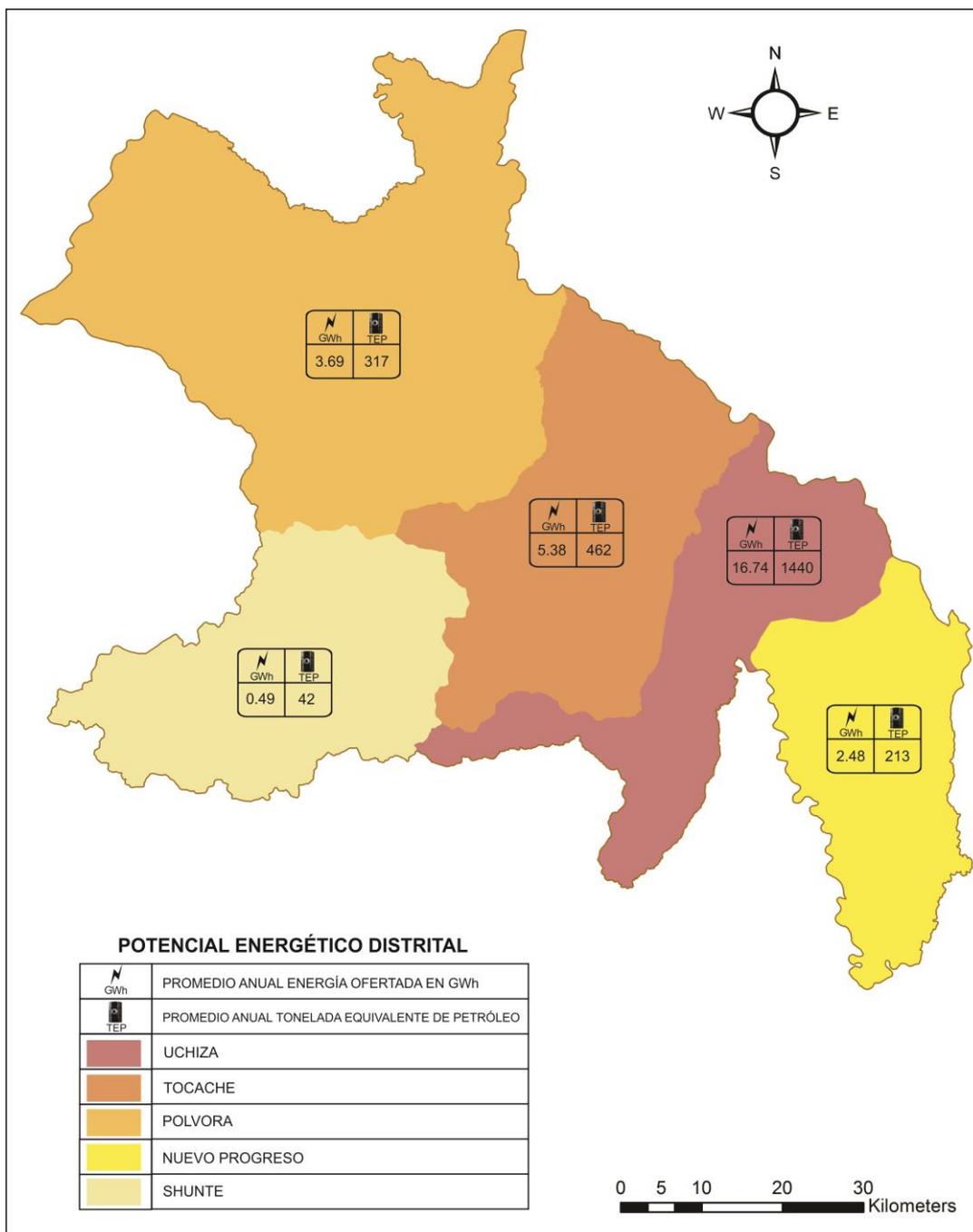


Figura 29. Potencial energético de la biomasa residual agrícola en los 05 distritos de la provincia de Tocache

Se estima que el mayor potencial energético se concentra en Uchiza, Tocache y Polvora, quienes alcanzaron valores promedios de 60, 19 y 13 TJ/promedio año. La oferta energética promedio anual en estos distritos alcanza valores de 16.74, 5.38 y 3.69 GWh de energía.

4.3. Aporte de la Biomasa Residual agrícola como fuente energética

4.3.1. Aporte en la atención de la demanda de energía a nivel doméstico

a. Demanda de energía eléctrica

En la tabla 14 se determina la demanda de energía a nivel doméstico de las poblaciones sin acceso a la energía de los 05 distritos de la provincia de tocache.

Tabla 14. Demanda energética domestica de los distritos de Nuevo Progreso, Polvora, Shunte, Tocahe y Uchiza.

NUEVO PROGRESO			PÓLVORA		
POBLACIÓN	Nº DE FAMILIAS	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/ Prom. Año)	POBLACIÓN	Nº DE FAMILIAS	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/ Prom. Año)
Alto Manteca	52	0.0368	10 De Octubre	18	0.0127
Cerro Verde	25	0.0177	1ro De Enero	35	0.0248
Cesár Vallejo De Pintuyacu	25	0.0177	Balsayaquillo	22	0.0156
Cirhuelo	27	0.0191	Batan	57	0.0404
Huinguillo	20	0.0142	Boca De Polvora	37	0.0262
Janajanca	11	0.0078	Guineayco	32	0.0227
Miguel Grau	26	0.0184	Juan Santos Atahualpa	26	0.0184
Nuevo San Martín	25	0.0177	Llinaico	35	0.0248
Palma Semilla	20	0.0142	Los Tres Suyos	15	0.0106
Pucayacu	20	0.0142	Naranjal	12	0.0085
			Palmeral	32	0.0227
			Pulcache	4	0.0028
			Shiote	13	0.0092
Total Demanda Distrital	251	0.1777	Total Demanda Distrital	338	0.2393

SHUNTE		
POBLACIÓN	Nº DE FAMILIAS	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/Prom.Año)
Alto Meseta	20	0.0142
Bajo Las Palmas	25	0.0177
Bajo Meseta	25	0.0177
Calabaza	22	0.0156
Dos De Mayo Alcantarilla	20	0.0142
Manan	25	0.0177
Pedernal	30	0.0212
Shilco	25	0.0177
Tambo De Paja	3	0.0021
Total Demanda Distrital	195	0.1381

TOCACHE			UCHIZA		
POBLACIÓN	Nº DE FAMILIAS	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/Prom. Año)	POBLACIÓN	Nº DE FAMILIAS	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/Prom. Año)
Alto Culebra	20	0.0142	Alto Pampayacu	110	0.0779
Alto Peso	25	0.0177	Alto Porongo	24	0.017
Alto Porongo	26	0.0184	Bajo Camote	20	0.0142
Alto Sarita	15	0.0106	Bajo Jorge Chávez	20	0.0142
Bajo Sin Sin	42	0.0297	Cachiyacu De Santa Ana	13	0.0092
Bentengebe	20	0.0142	Campo Verde	22	0.0156
Buenos Aires	22	0.0156	Cascarilla	18	0.0127
Cachiyacu	18	0.0127	Cosechapi	20	0.0142
Cairo	30	0.0212	El Cairo	247	0.1749
El Papayal	22	0.0156	El Cruce	38	0.0269
Huaquisha	28	0.0198	Las Flores De Cruzpampa	22	0.0156
Indiana	25	0.0177	Nuevo Bélgica	30	0.0212
Jerusalén	65	0.046	Porongo	24	0.017
Jordan	43	0.0304	San Diego	29	0.0205
Jorge Chávez	19	0.0135	San José Km 2	30	0.0212
Las Malvinas	20	0.0142	Santa Rosa De Cachiyacu	26	0.0184
Naranjos	30	0.0212	Santa Rosa	20	0.0142
Nueva Chilia	15	0.0106	Saraí	25	0.0177
Nuevo Bambamarca	212	0.1501			
Porvenir	90	0.0637			
Santo Cristo	15	0.0106			
Sector Primavera	15	0.0106			
Tipishca	25	0.0177			
Unión Alegre	22	0.0156			
Total Demanda Distrital	864	0.6117	Total Demanda Distrital	762	0.5395

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la *DREMSM (2014)*

Se estima que la demanda de energía calculada puede ser cubierta al 100% en todos los casos, considerando las biomásas de menor y mayor presencia a nivel distrital. Se muestran los resultados en la tabla 15

Tabla 15. Aporte de la biomasa para la atención de la demanda de centros poblados sin energía en la provincia de Tocache.

DISTRITOS	Nº DE FAMILIAS	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/Prom. Año)	RANGO DE GENERACION (GWh/Prom. Año)	APORTE DE LA BIOMASA (%)
Nuevo Progreso	251	0.1777	0.2 - 8.84 (Maíz y Cacao)	113-4958
Pólvora	338	0.2393	0.8-9.99 (Maíz y Cacao)	334-4175
Shunte	195	0.1381	0.21-0.81(Maíz y Cacao)	152 – 588
Tocache	864	0.6117	0.61-9.79 (Café y Arroz)	100-1600
Uchiza	762	0.5395	0.79-49.75 (Café y Palma)	146-9222
Total Demanda Provincial	142190	1.7063		

b. Demanda de energía para cocción

En la tabla 16 se determina la demanda de energía para cocción de las poblaciones sin acceso a la energía de los 05 distritos de la provincia de tocache.

Tabla 16. Demanda energética para cocción de los distritos de Nuevo Progreso, Polvora, Shunte, Tocache y Uchiza.

DISTRITOS	DEMANDA DE ENERGIA PER CÁPITA (TJ/PROMEDIO AÑO)	COMBUSTIBLE PARA COCCIÓN					
		CA CAO/PODA (TJ/PROMEDIO AÑO)	APORTE DE BIOMASA (%)	CAFÈ /PODA (TJ/PROMEDIO AÑO)	APORTE DE BIOMASA (%)	YUCA /TALLO (TJ/PROMEDIO AÑO)	APORTE DE BIOMASA (%)
Nuevo Progreso	18.11	76	420	2	11	11	61
Pólvara	24.38	101	414	2	8	6	25
Shunte	14.07	547	3888	1.4	10	1.6	11
Tocache	62.32	4922	7898	1.8	3	6	10
Uchiza	54.97	4464	8121	2	4	6	11

Se estima que la demanda de energía calculada puede ser cubierta al 100% en todos los casos considerando la poda del cacao como combustible, un promedio de 23.6% con los tallos de yuca y sólo un 7.2% si se utiliza la poda del café como combustible.

4.3.2. Aporte en la atención de la demanda agroindustrial

Tomando como referencia la información de la cedula agroindustrial recopilada por la Agencia Agraria Tocache (2014), se elabora la tabla 17, a fin de caracterizar la agroindustria en la provincia e inferir una demanda energética considerando su capacidad de procesamiento.

Tabla 17. Relación de Agroindustrias en la provincia de Tocache y capacidad de procesamiento.

DISTRITO	AGROINDUSTRIA	ACTIVIDAD	MATERIA PRIMA	CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO (t)
Tocache	OLEAGINOSAS DEL PERU	Extracción de aceite Crudo de palma	Racimo de palma-REF	4734.0
Tocache	COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL TOCACHE LTDA	Compra de grano de cacao	Grano seco de cacao	21.8
Tocache	MOLINO EL TIGRE	Pilado de arroz	Arroz cascara	65.8
Tocache	JORALREY EIRL	Pilado de arroz	Arroz cascara	58.3
Tocache	MOLINERA SAN JUAN SRL	Pilado de arroz	Arroz chala	838.8
Tocache	MOLINERA LA SELVA EIRL	Pilado de arroz	Arroz cascara	333.8
Tocache	MOLINERA CJL LA MORENITA	Pilado de arroz	Arroz cascara	180.7
Tocache	EMPRESA MOLINERA TOCACHE SAC	Pilado de arroz	Arroz cascara	0.0
Uchiza	INDUSTRIAS DEL ESPINO SA	Aceites, mantecas y jabones	Racimo de palma-REF	22768.5
Uchiza	SANTA LUCIA SA	Conservas de palmito	Tallos de pijuayo	28.6
Uchiza	MOLINO ESCALANTE EIRL	Pilado de arroz	Arroz cascara	121.3
Uchiza	MOLINO ALEJANDRINA	Pilado de arroz	Arroz cascara	160.0

Fuente: Elaborado a partir de Agencia Agraria Tocache, 2014

Se seleccionan para el cálculo las agroindustrias de cacao, arroz y se realiza una aproximación a la agroindustria del café. Se descarta la agroindustria de palmito y palma pues esta centralizado en empresas privadas y cuyo cálculo de demanda, escapan a los objetivos perseguidos por el presente trabajo de investigación.

Las agroindustrias están centralizadas en Tocache y Uchiza. Se han encontrado 06 piladoras de arroz en Tocache y 02 en Uchiza. Existe sólo 01 agroindustria relacionada al cacao, pero su actividad mayoritaria es la exportación de materia prima. Aunque no existe registro de agroindustria del café, de la información recogida en campo se sabe que existe una producción artesanal de café tostado molido.

a. Demanda de energía de la Agroindustria del cacao

En base a la capacidad de procesamiento de cacao, se seleccionan de GIZ (2013) una lista de equipos que permitirían el procesamiento de los granos de cacao hasta la obtención de un producto procesado. Esta demanda ascendería a 4.42 GWh/año. El detalle de los equipos se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Demanda de energía proyectada para el procesamiento de cacao

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	POTENCIA (HP)	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/año)
Despedregadora	Marca IMSA Modelo NA-1	5	0.29
Oreadora secadora	Marca IMSA Modelo AS-10	5	0.29
Descascarilladora de cacao	MAQUIAGRO Modelo DESC - 100	2.5	0.15
Peladora de cacao	CREDISA PEL-1	2	0.12
Seleccionadora por tamaño	IMSA CM-15	5	0.59
Tostadora	FISCHER Modelo PEDRO 200	0.5	0.03
Molino de granos	FISCHER Modelo INOX-1	5	2.95
TOTAL			4.42

b. Demanda de energía de la Agroindustria del café

Se seleccionan de GIZ (2013) una lista de equipos que permitirían el procesamiento de los granos del café hasta la obtención de un producto procesado. Esta demanda ascendería a 6.36 GWh/año. El detalle de los equipos se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Demanda de energía proyectada para el procesamiento de café

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	POTENCIA (HP)	° DEMANDA DE ENERGIA (GWh/año)
Despulpadora granos de café	IMSA Modelo Compacto-1D	3	0.18
Separadora gravimétrica	IMSA Modelo IMSA-3	5	0.29
Oreadoras secadoras	IMSA Modelo CM-25	5	0.29
Piladoras y pulidoras de café	IMSA Modelo AR-10	18	5.30
Seleccionadora por tamaño	IMSA Modelo CM - 15	5	0.29
TOTAL			6.36

c. Demanda de energía de la Agroindustria del arroz

Se seleccionan de Zaccaria (2016) y GINSAC (2015?) una lista de equipos que permitirían el procesamiento del arroz cascara para la obtención de arroz pilado. Esta demanda ascendería a 1.48 GWh/año. El detalle de los equipos se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Demanda de energía proyectada para el procesamiento de arroz càscara.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	POTENCIA (HP)	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/año)
Secador Rotativo	Secador Rotativo Continuo -SRCZ-1	0.023 (5.8 kW)	0.00046
Maquina piladora de arroz	PILADORA DE ARROZ SB-30D	25	1.47
Pulidora manual	ZUKAI MODELO MNMS18	0.03 (22 Kw)	0.0017
TOTAL			1.48

d. Aporte de la biomasa

Considerando que el aporte de biomasa residual estaría dado por la generación de residuos de la propia agroindustria o de las actividades agrícolas conexas, en la tabla 21 se estima el aporte de energía provisto por la biomasa.

Tabla 21. Demanda energética agroindustrial y aporte de la biomasa residual

DISTRITO	DEMANDA DE ENERGIA (GWh/Prom. Año)	Nº DE AGROINDUSTRIAS	TIPO		
				FUENTE DE ENERGÍA	APORTE DE LA BIOMASA (%)
Tocache	4.42	1	PROCESAMIENTO CACAO	Cáscara +Mermas	26.24
				Poda	466.97
				Cascarilla +Mermas	3.39
	6.36	1	PROCESAMIENTO CAFÉ	Grano Merma	2.67
				Poda	7.86
				Cáscara	24.37
				Cascarilla	3.14
	8.88	6	PILADO ARROZ	Paja	144.59
				Cáscara	75.90
Uchiza	2.96	2	PILADO ARROZ	Paja	544.26
				Cáscara	285.81

Para el caso del procesamiento del cacao, se estima que la demanda de energía calculada puede ser cubierta al 100% sólo con el uso de poda. En el caso de la agroindustria del café, se estima un aporte del 24.37 % sólo con el uso de cáscaras. Para el pilado de arroz, se cubre la demanda al 100% con el uso de la paja. Los demás residuos presentan un aporte mucho menor.

En la figura 30, se muestra la localización de la demanda de energía doméstica y agroindustrial. Se aprecia que la satisfacción de la demanda energética está relacionada con la producción de biomasa residual. Así, los distritos de Tocache, Uchiza y Polvora tienen una fuente energética potencial, con capacidad de atender su demanda.

Por otro lado, distritos como Shunte y Nuevo Progreso, tienen menores probabilidades en el uso de estas fuentes por la menor diversificación de residuos.

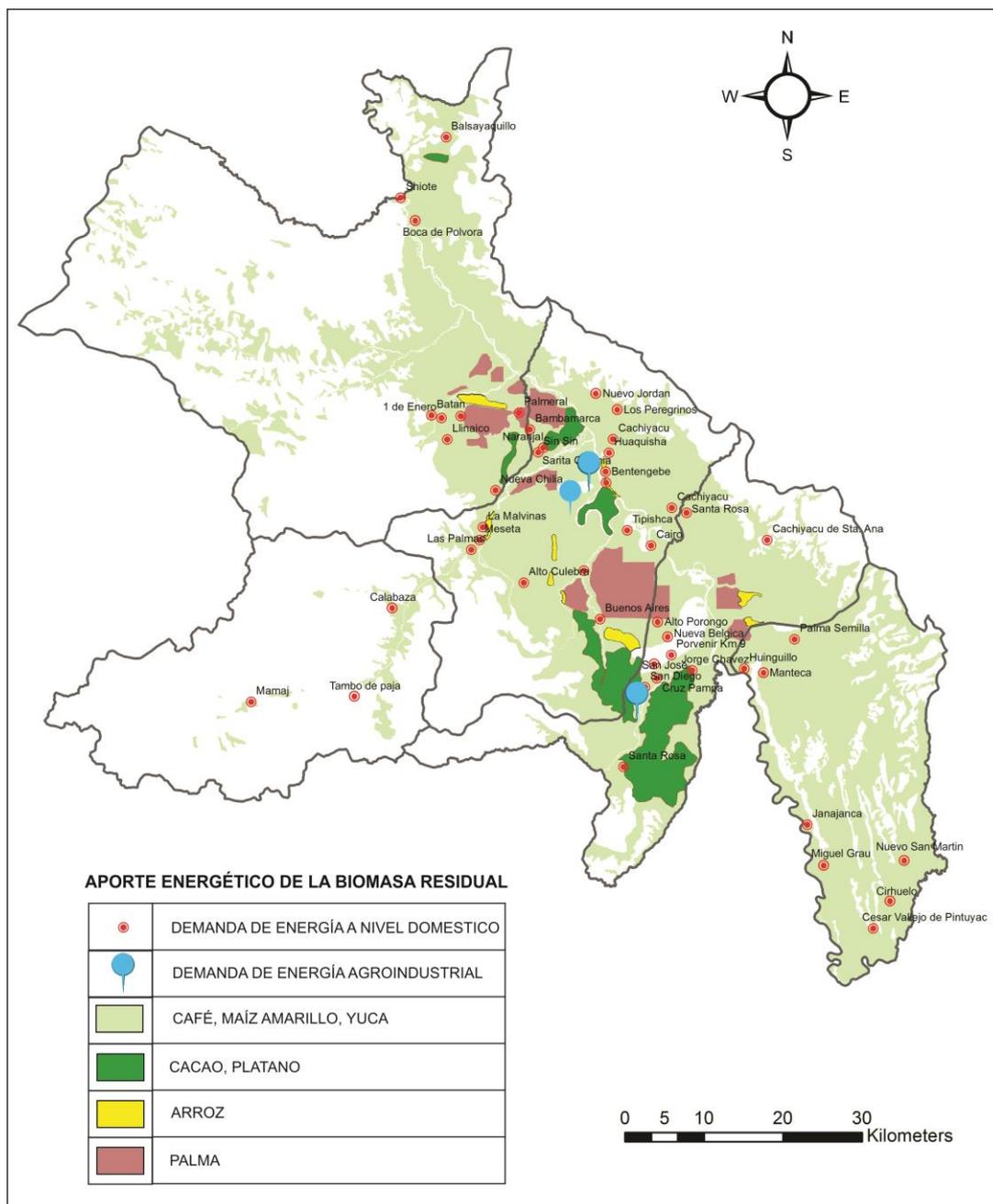


Figura 30. Localización de la demanda de energía doméstica y agroindustrial en la provincia de Tocache y potencial aporte de la biomasa residual.

Los resultados obtenidos muestran que en todos los casos, la demanda de energía puede ser cubierta con la biomasa generada por la provincia. Aun considerando el promedio de generación 34.91 GWh/año. Por lo que la biomasa residual agrícola puede constituirse en una fuente probable de energía para la provincia.

V. CONCLUSIONES

Se ha determinado que la Provincia de Tocache puede generar en promedio entre 3740 y 9253 toneladas de biomasa residual agrícola y 12 332 toneladas de biomasa residual de procesamiento y que para el periodo de estudio han significado un potencial energético de 22, 83 y 128 GJ/año respectivamente.

La biomasa residual agrícola está disponible casi en su totalidad y la biomasa residual de procesamiento posee una disponibilidad parcial. En ambos casos, los porcentajes de uso son variables y se ha encontrado evidencia de un bajo nivel de gestión y un problema ambiental provincial en ciernes por disposición.

Esta biomasa disponible tiene potencial energético con capacidad de producir energía térmica y eléctrica suficiente para el abastecimiento energético de la población demandante y la promoción de una agroindustria de valor agregado del cacao, café y arroz.

La biomasa residual del procesamiento tiene una mayor capacidad de generación de energía en comparación con la agrícola. Sin embargo, para su aprovechamiento se requiere una evaluación más detallada sobre volúmenes de producción, uso, dispersión y logística de recolección. No obstante, para los supuestos del estudio y los cálculos realizados, se muestra que las agroindustrias generadoras de estos residuos pueden atender su demanda energética.

La biomasa puede constituirse en una fuente energética de interés en la Provincia de Tocache. Si bien las tecnologías para el aprovechamiento de energético de la biomasa residual para la generación de energía eléctrica aún no están desarrolladas del todo en el país, existen otras para el aprovechamiento de calor en procesos térmicos agroindustriales o domésticos, que pueden ser más viables para esta población.

VI. RECOMENDACIONES

En una primera aproximación conservadora sobre la biomasa residual disponible de la maleza, se ha estimado que tienen la capacidad de producir más residuos que la poda y cosecha en la provincia. Por lo que se realizar estudios de campo más detallados para corroborar los resultados obtenidos.

Para la determinación de factores de producción de residuos FPR, debido al flujo de información gestionada en el presente estudio, la mayor parte de los valores proceden de fuentes secundarias y en contextos internacionales. No se ha podido constatar la existencia de flujo gramas de producción o balances de masa para la mayoría de los cultivos de este documento. Por lo que estudios más detallados en el contexto peruano, podrían constituir aportes al conocimiento de generación de residuos, el planteamiento de su gestión y nuevos esquemas de aprovechamiento.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, puede servir de base para el desarrollo de esquemas de aprovechamiento térmico y eléctrico. Por ejemplo, considerando la potencialidad de palma, arroz y cacao, pueden plantearse estudios más detallados de factibilidad técnica y económica.

La determinación de potencial, la elección de la tecnología idónea y el aprovechamiento energético de la biomasa residual, está condicionada al conocimiento de las características fisicoquímicas y energéticas de la biomasa residual. Se ha evidenciado que la información disponible sobre estos aspectos en el contexto nacional es escasa. En los estudios existentes, la tendencia es utilizar información secundaria que no detalla las condiciones de caracterización de la materia, lo que lleva a inferir valores y resultados con incertidumbre. Esta situación, lejos de constituir un problema o carencia de información, puede motivar un campo fértil de investigación en la caracterización y valoración energética de la biomasa residual.

Sobre las características antes mencionadas, debe indicarse que existen otras como la densidad, granulometría y forma geométrica, que pueden influir en el aprovechamiento energético. Por lo que se recomienda estudiar estos aspectos a fin de evaluar su relación con los tiempos y las formas de combustión de la materia.

El uso de proyecciones para estimar la generación futura de biomasa residual, también puede generar información útil para calcular tamaño de plantas de generación o atención de demandas de una población creciente. Por lo que se recomienda estudiar estos aspectos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENCIA AGRARIA TOCACHE. 2014. Calendario de cosecha 2008. Com. Per.
2. -----, 2014. Cedula agroindustrial. Documentación interna. Sin publicar.
3. AIE (Agencia Internacional de la Energía, US). 2009. Hoja de Ruta Tecnológica: Bioenergía para Calor y Electricidad (en línea). Consultado 15 mar 2015. Disponible en <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/bioenergy.pdf>
4. ALVAREZ, W. 2013. Efecto del raquis floral de banano procesado sobre el vigor de la planta y la incidencia del desorden fisiológico conocido como “balaastro” en banano (*Musa spp* .AAA Gran Nain). Tesis para obtener la Licenciatura en Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Agronomía. Heredia. Costa Rica. Disponible en <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5971>.
5. ANGARITA, P., ARIZA H., BLANCO I., NOGUERA C., REDONDO I. 2008. Aprovechamiento del raquis del banano y otros residuos biodegradables como fertilizantes orgánicos en el cultivo de esta fruta. Colombia. Disponible en http://app.infotephvg.edu.co/cienaga/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_524.pdf
6. ARCILA J., FARFÁN F., MORENO A., SALAZAR LF., HINCAPIÉ E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. FNC-Cenicafé. Chinchiná, CO. 309 p
7. ASSUREIRA E., ASSUREIRA MA. 2013. Potencial Energético de la Biomasa Residual en el Perú. In Conferencias anual del consorcio de Universidades. Investigación para el crecimiento y desarrollo inclusivo en el Perú. Lima 16 y 17 de octubre. Disponible en conferencia2013.consorcio.edu.pe/wp-content/uploads/2014/09/3-Assureira.pdf.
8. BAENA, LM., GARCIA N. 2012. Obtención y caracterización de fibra dietaría a partir de cascarilla de semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. de

- una industria chocolatera colombiana. Tesis para optar el del título de Químico Industrial. Universidad Tecnológica De Pereira. Pereira - Colombia. 93 pp. http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/Elaboraci%C3%B3n_de_fibra.pdf
9. BARRENA V., GIANELLA J. GARCIA H., FLORES N., RUBÍN E., OCAÑA JC., GUILLÉN R. 2010. Metodología aplicada en el análisis de recursos de Biomasa leñosa y de Residuos para uso combustible. In. El análisis de BEFS para el Perú. Compendio técnico metodologías. Documento de Trabajo Manejo del Ambiente y los Recursos Naturales, no. 39. Roma, IT. v.ii., 170p
 10. BARRIOS-MAESTRE R., FARIÑAS J., SILVA-ACUÑA R., SANABRIA D. 2011. Comportamiento de cinco especies de leguminosas como cobertura viva en palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. IDESIA (Chile) Volumen 29, N° 2. Mayo-Agosto 2011, pp. 29-37. Disponible en. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292011000200004
 11. CÁRDENAS, F. 2009. Estudio del mercado de la cadena de plátano. Ministerio de Agricultura y Riego, PE. s.p.
 12. CERRÓN, G. 2012. Asistencia técnica dirigida en manejo de cultivo de cacao. AGROBANCO. Junin- Perú. 30pp
 13. COLQUICHAGUA, J. 2014. Entrevista Estadísticas Agrarias. Comunicación personal. Lima, PE.
 14. COTO, O. 2013. Evaluación de la Generación de Residuos Agrícolas Orgánicos. Costa Rica. 1-69. Disponible en : <http://www.mag.go.cr/proyectos/proy-residuos-agricolas-org/productos/Informe%20RAO%20CR%20Producto%201.pdf>
 15. DAMIEN, A. (2010). La Biomasa: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones. (A. L. otros, Trad.) Paris, FR. Mundi-Prensa. 250p
 16. DE JUANA, J.; DE FRANCISCO, A.; SANTOS, F.; HERRERO, M.; CRESPO, A. 2007. Energías renovables para el desarrollo. Editorial Thompson-Paraninfo. España. 233-239 p.
 17. DOMÍNGUEZ, J.; SÁNCHEZ, D.; LASRY, P.; CIRIA, M.P.; ESTEBAN, L. 2002. Biomasa potencial para la producción de energía en Navarra. X

- Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Universidad de Valladolid – España. 16-24 p
18. DONGO J. 2014. Proceso de extracción, purificación y refinación del aceite crudo de palma aceitera y obtención de productos derivados . Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima- Perú. 108 pp
http://ateneo.unmsm.edu.pe/ateneo/bitstream/123456789/4443/1/Dongo_Valdivia_Jesus_Hernando_2014.pdf
 19. DRASAM (Dirección Regional De Agricultura San Martín, PE). 2008. Plan estratégico regional del sector agrario San Martin 2009-2015 Gobierno Regional San Martín. Tarapoto –Perú. 64 p
 20. -----2013. Campaña Agrícola 2011-2012. Com. Per.
 21. DREMSM (Dirección Regional de Energía y Minas de San Martín, PE). 2014. Centros Poblados sin electrificar. Disponible en <http://www.dremsm.gob.pe/>.
 22. ECN Phyllis classification, por ECN Phyllis, s.f., Recuperado de <http://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis>
 23. ELIAS, X. 2010. Tratamiento y valorización energética de los residuos. Editorial Diaz de Santos. España. 420-472 p.
 24. ESTEBAN L. 2010. Fuentes y Evaluación de Recursos. In G.-G. D. Sebastián F., Energía de la Biomasa. Zaragoza ES. Prensas Universitarias de Zaragoza. v. 1, 557p
 25. ETOSA (Electro Tocache SA, PE). 2014. Estudio de coordinación de protecciones proyecto: mejoramiento de prestación del Servicio eléctrico del sistema eléctrico de Electro Tocache SA. s.n.p.t. 20 p
 26. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1996. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal - 120. Roma-IT. 403 p
 27. -----2010. Bioenergía y Seguridad Alimentaria – BEFS; El análisis de BEFS para el Perú. Compendio técnico Resultados y conclusiones. Documento de Trabajo Manejo del Ambiente y los Recursos Naturales, no. 39. Roma, IT. v.1, 147p.

28. -----2014. Evaluación rápida BEFS. Modulo de Recursos Naturales. Componente Residuos Agropecuarios, residuos agrícolas y residuos ganaderos, Manual del Usuario. 34 p. Disponible en www.fao.org/publications.
29. FERNÁNDEZ DÍEZ, Y. 2010. Tratamientos térmicos asistidos con microondas en procesos de valorización energética.) Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/25033/1/Tesis%20Doctoral%202010.%20Yolanda%20Fern%C3%A1ndez%20D%C3%ADez.pdf>
30. FLORES M. 2006. Demanda de energía y acceso a servicios energéticos, Work package N° 5. Informe proyecto no. EIE/05/141/SI2.420262. Piura, PE. Disponible en https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/andenergy_energy_demand_and_access_es.pdf
31. FLORES M.A. 2008. Dinámica poblacional de arvenses en el cultivo de la yuca (Manihot esculenta, Crantz) bajo un sistema convencional y un sistema orgánico. Trabajo de diploma Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria. Managua-Nicaragua. 50 pp. <http://repositorio.una.edu.ni/2110/1/tmf08f634d.pdf>
32. FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia).2014. Guía ambiental para el sector cafetero. 2da edición. Colombia. 137 pp. https://www.federaciondecafeteros.org/caficultores/es/servicios_para_el_cafetero/documentacion/
33. FUNDACIÓN MCCH (Fundación Maquita Cushunchic, EC). 2012. Manual de podas en cacao. Quito Ecuador http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/Podas_en_cacao.pdf
34. GARCIA D., REZEAU A. 2010. Introducción al aprovechamiento energético de biocombustibles sólidos. In G. -G. Sebastián F., Energía de la Biomasa.Zaragoza ES. Prensas Universitarias de Zaragoza. v. 1, 557p
35. GARCIA G., SALAS P. 2011. Eficiencia de las dosis de diferentes formulaciones del herbicida atrazina + simazina en el control de malezas en el cultivo de maíz. Investigación Agraria. 2011;13(2):81-86.

36. GIL, M. 2010. Energía de la Biomasa. Pretratamientos: reducción granulométrica. In G.-G. D. Sebastián F. Zaragoza ES. Prensas Universitarias de Zaragoza. v. 1, 239-282 p
37. GINSAC. 2015?. Cosechadoras de Arroz, zukai 2.5. disponible en <https://www.ginsac.com.pe/web/cosechadoras-de-arroz-zukai-4lz-2.50/19/11.html>
38. GIZ (Cooperación Alemana al Desarrollo, AL). 2013. Catálogo de maquinaria para procesamiento de cacao. Proyecto Energía, Desarrollo y Vida - EnDev/GIZ. s.n.t.p. 26 p
39. -----2013. Catálogo de maquinaria para procesamiento de café. Proyecto Energía, Desarrollo y Vida - EnDev/GIZ. s.n.t.p. 54 p
40. GLOSSMAN, S. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Costa Rica
41. GOIZUETA, M., CASTELLAO, A. (2013) .Alternativas de agregado de valor en la cadena de maíz. Estrategias y actores por agroindustria derivada. INTA. Argentina. <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/Alternativas-Agregado-Valor-Cadena-Maiz-Argentina.pdf>
42. GÓMEZ M. (1995). El Estudio de los Residuos: Definiciones, Tipología, Gestión y Tratamiento. Serie Geográfica no5. España. 21-42p.
43. GRAZIANI, L. ORTIZ, L., ANGULO J., PARRA P. (2002). Características físicas del fruto de cacao tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. Agronomía Tropical versión impresa ISSN 0002-192X. Agronomía Trop. v.52 n.3 Maracay sep. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300006
44. HORTA, A. 1988. Energía de la Biomasa. In Propuesta para un plan de desarrollo de las fuentes de energías nuevas y renovables. Lima, PE, Ministerio de Energía y Minas. 21p
45. INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática - PE). 2012. Sistema de información regional para la toma de decisiones. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales. En línea

<http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD1/inicio.html#app=db26&d4a2-selectedIndex=1&d9ef-selectedIndex=1>

46. -----2015. Sistema de información regional para la toma de decisiones. Series nacionales. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>
47. JARAMILLO, R. (2012). Ventajas económicas y ambientales de industrializar los desechos de palma aceitera. In II Congreso Internacional de Palma Aceitera en Tingo María-Perú el 12 y 13 de Octubre- IPNI. Tarapoto-Perù.
48. LIM, K. O., VIZHI, S. M. (1993). Carbonisation of cocoa tree prunings at moderate temperatures. *Bioresource technology*, 44(1), 85-87.) K.O. Lim, S. Malar Vizhi, Carbonisation of cocoa tree prunings at moderate temperatures, *Bioresource Technology*, Volume 44, Issue 1, 1993, Pages 85-87, ISSN 0960-8524.
49. LÓPEZ E. Y SEBASTIÁN F. 2010. Energía de la Biomasa. Pretratamientos: reducción del contenido de humedad. In G.-G. D. Sebastián F. Zaragoza ES. *Prensas Universitarias de Zaragoza*. v. 1, 207-237 p
50. LÓPEZ E., LLERA E. 2010. Energía de la Biomasa. Caracterización de los biocombustibles sólidos. In G.-G. D. Sebastián F. Zaragoza ES. *Prensas Universitarias de Zaragoza*. v. 1, 207-237 p
51. LOUBES MA Y TOLABA M. 2013. Arroz: rendimiento de molienda mediante análisis de imágenes. *La Alimentación Latinoamericana* N° 308. 44-49pp.
<http://publitec.com.ar/contenido/objetos/Arrozrendimientodemoliendamedianteanalisisdeimgenes.pdf>
52. LU, Y. J., GUO, L. J., JI, C. M., ZHANG, X. M., HAO, X. H., YAN, Q. H. 2006. Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water: a parametric study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(7), 822-831.
53. LU, Y. J. G. LIEJIN, Z. XIMIN, J. CHENGMENG. 2012. Hydrogen production by supercritical water gasification of biomass: explore the way to maximum hydrogen yield and high carbon gasification efficiency *Int J Hydrogen Energy*, 37 (2012), pp. 3177–3185

54. LUDEÑA A.. (2014). Efecto de tres leguminosas sobre el control de las malezas y crecimiento del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao* L.) Durante el primer año de establecimiento, en la concordia, provincia de santo domingo de los Tsáchilas. Tesis para optar el del título de ingeniero agropecuario. Universidad de las Fuerzas Armadas. Quito- Ecuador.83pp
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7843/1/T-ESPE-002688.pdf>
55. MADRIGAL S. 2015. Metodología para la evaluación y actualización participativa del Plan de Ordenamiento Territorial: el caso de la provincia de Tocache, San Martín (Perú). *Revista Ciudad y Territorio*. n°183. 107-119p
56. MARMOLEJO F., PEREZ A. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en pequeñas empresas de almidón agrio de yuca. Colombia.
57. MEDIAVILLA, I. 2010. Energía de la Biomasa. Pretratamientos: densificación. In G.-G. D. Sebastián F. Zaragoza ES. *Prensas Universitarias de Zaragoza*. v. 1, 283-303 p
58. MEM (Ministerio de Energía y Minas, PE). 2010. Plan Nacional de Electrificación Rural en Sistema de Información Geográfica - GIS (2011 - 2020). Disponible en <http://dger.minem.gob.pe/pnergis/>
59. -----, 2013. Estudio para determinar el potencial de la Bionergía a Desarrollarse en Loreto, Ucayali, san Martín y Madre de Dios. Resumen Ejecutivo. Dirección General de Eficiencia Energética. Lima- PE. s.n.p.t. 39p
60. MESTRE-MESTRE,A; OSPINA H. 1994. Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Avances técnicos* 201 CENICAFE. Colombia
61. MILES T. R., MILES R., BAXTER L. L., BRYERS R.W., JENKINS B. M., ODEN L. L. 1996, Alkali deposits found in biomass power plants. A preliminary investigation of their extent and nature. Tech. rep. NREL. USA, 1996; accessed: 12.03.2014.
62. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2008. Calendario de Siembras y cosechas. Dirección General de información Agraria. 59 p. Disponible en http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/calendario_siembras%20_cosechas_pags_1%20al_%2059.pdf

63. ----- . 2009. Propuesta Plan Nacional de Agroenergía 2009-2020. 29 p. Disponible en http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/informacion-especializada/2012/propuesta_agroenergia.pdf
64. ----- . 2010?. Lineamientos Metodológicos II, Estadística agrícola (SIEA-OEEE). 50p. disponible en http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/ii_estad%C3%ADstica_agricola.pdf
65. ----- . 2014. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. Disponible en <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos>
66. ----- . 2016. Políticas y avances en el manejo de los residuos sólidos del Sector Agrario. V Congreso de Residuos Sólidos en el Perú Logística, reciclaje, rehúso, tratamiento y disposición final. Del 08 al 10 de setiembre del 2016. Lima. PE.
67. MINCI (Ministerio de Agricultura de Costa Rica) , IICA (Instituto Interamericano De Desarrollo, CR). 1978. Diagnostico de la producción e industrialización de la yuca en el país. Venezuela.
68. MONTILLA J., ARCILA P., ARISTIZÁBAL L., MONTOYA R., PUERTA Q., OLIVEROS T., CADENA G. 2008. Caracterización de algunas Propiedades Físicas y Factores de Conversión del Café durante el Proceso de Beneficio Húmedo Tradicional. Cenicafé, 59(2):120-142. Disponible en [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(02\)120-142.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(02)120-142.pdf)
69. MPT (Municipalidad Provincial de Tocache, PE). 2006. Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) en la provincia de Tocache. Tocache - San Martín, Perú. s.n.p.143 p
70. ----- . 2008. Tocache hacia el Desarrollo Sostenible, Plan de Ordenamiento Territorial. Tocache - San Martín, Perú. s.n.p. 164 p.
71. OLADE (Organismo Latinoamericano de Energía, EC).2004. Metodología de Conversión de Unidades. Guía M-5. s.n.p.t 22p. Disponible en <http://www.sistemamid.com/download.php?a=82116>.
72. OMAR, R., IDRIS, A., YUNUS, R., KHALID, K., ISMA, M. A. 2011. Characterization of empty fruit bunch for microwave-assisted pyrolysis. Fuel, 90(4), 1536-1544.) . Disponible en <http://psasir.upm.edu.my/40351/>

73. Panchaluck S., Duangduen A., Viboon S. 2013. Enhancement of Cassava Rhizome Gasification Using Mono - Metallic Cobalt Catalysts. Energy Procedia 34 (2013) 273 – 281p
74. PALMAS. Comprometidos por la amazonia: Reporte de sostenibilidad. 2012.s.n.t.p.
75. PORTUGAL E., GONZALES J. 2015. El Consumo mínimo de energía eléctrica y su relación con la selección de beneficiarios del vale de descuento FISE. Proyecto Fondo de Inclusión Social Energético- FISE, PE. Año 3 N° 4. s.n.t .p. 35 p
76. PRANDO, R. 2014. Energías Renovables en la Industria de Procesos (en línea). Uruguay. Consultado 15 mar. 2015. Disponible en <http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/industria/EERR-Biomasa.pdf>
77. RIEGELHAUPT, E. 2015. Curso Gestion de Biocombustibles, Clase 1. (pág. 12). Quito: Organismo Latinoamericano de la Energía –OLADE.
78. RAMÍREZ, N., ARÉVALO, A. Y GARCIA-NUNEZ, J. A. (2015). Inventario de la biomasa disponible en plantas de beneficio para su aprovechamiento y caracterización fisicoquímica de la tusa en Colombia. Palmas, 36(4), 41-54 p
79. ROLDAN C. 2012. Informe de Capacidad de Energías Limpias Disponibles En Costa Rica 2010. Programa De Energías Limpias Del TEC (PELTEC), Instituto Tecnológico de Costa Rica. s.n.t.p. 27 p
80. ROMO N., TORO A., FLORES LM., CAÑAS A. 2011. Evaluación De Las Propiedades Fisicoquímicas Y Térmicas De Tallos De Café Y Su Análisis Económico Para La Producción De Pellets Como Biocombustible Sólido. Revista EIDENAR: Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle Cali, Colombia. núm. 10, enero-diciembre, 2011. 79-91p
81. SÀNCHEZ H., VELLEJOS RM.,DE LA CRUZ R., MERAYO A. 1993. Establecimiento y Efecto de Leguminosas de cobertura de diferentes cultivos perennes. Memoria de la Semana Científica del Programa Agricultura

Tropical Sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. v I. Turrialba – Costa Rica. 208.pp

82. SANGRONIS, E., SOTO MJ., VELERO Y., BUSCEMA I. 2014. Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. Archivos Latinoamericanos de Nutrición versión impresa ISSN 0004-0622. ALAN vol.64 no.2 Caracas.
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222014000200007
83. SANTOS G. 2007. Diagnostico y propuesta de gestión de los residuos sólidos y generados por el proceso de extracción de aceite crudo de palma africana en palmas oleaginosas Bucarelia S.A. Colombia.
84. SCARLATO,G. 2000. Trayectoria y demandas tecnológicas de las cadenas agroindustriales en el Mercosur ampliado – cereales: maíz y arroz. Uruguay. disponible en http://www.procisur.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=423:documento-ejemplo252&catid=74&Itemid=160.
85. SEBASTIÁN F., GARCIA- GALINDO D. Y REZEAU A. 2010. Energía de la Biomasa. In G.-G. D. Sebastián F. Zaragoza ES. Prensas Universitarias de Zaragoza. v. 1, 557p
86. SUÁREZ L., CASTILLO L. MARLÍN M, CARRILLO G., RIMAC L., POMALAYA J., MENCAHCO R. 2006. Estudio de la variación estacional de ozono troposférico y aerosoles del Perú relacionado a las quemadas de vegetación en la Amazonía. Revista Mosaico Científico. Perú .v.3, no.2, p.36-41. ISSN 1817-8391.
87. SUÁREZ L., TAZZA C., EGOAVIL M., ORELLANA D. CHALCO Y., KRUIJIT B. 2008. Variación Estacional y efecto del fuego en la respiración del suelo en el bosque de la Amazonía del Perú. Biologist (Lima). v.6, N°1, ene-jun 2008, 22-29. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v06_n1/pdf/a04v6n1.pdf
88. TAILLIEZ B., SIAKA M., BONNY C.P, JACQUEMARD J´CH. 1996. La maduración de los racimos de palma y los criterios de cosecha en Palmindustrrie (Costa De Marfil)*. PALMA , Volumen n 17, No. 1.

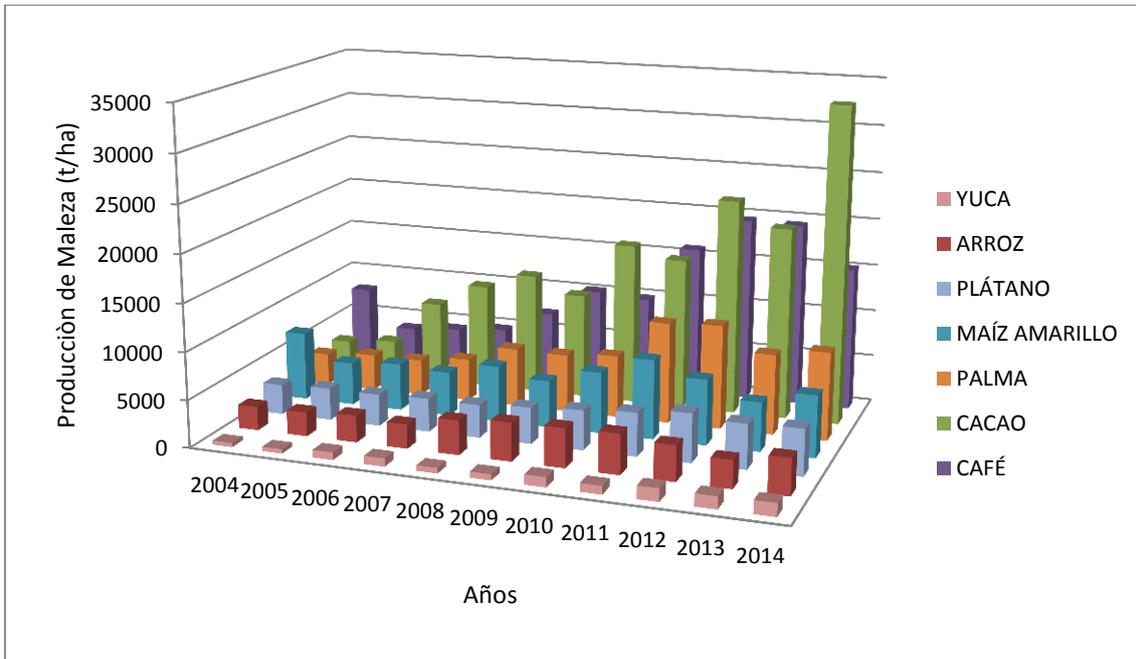
Disponible en
<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/528>

89. UEMURA, Y., OMAR, W. N., OTHMAN, N. A. B., YUSUP, S. B., TSUTSUI, T. 2011. Effect of atmosphere on torrefaction of oil palm wastes. In Proceedings of World Renewable Energy Congress, Mayo 08–13, 2011. Linköping, Sweden.
90. UEMURA, Y., OMAR, W. N., TSUTSUI, T., & YUSUP, S. B. 2011. Torrefaction of oil palm wastes. *Fuel*, 90(8), 2585-2591. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111001499>
91. VALENCIA, N. R., ZAMBRANO-FRANCO, D. A. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. Chinchiná, Colombia: Cenicafé.) N. Rodríguez-Valencia and D. A. Zambrano-Franco, “Los subproductos del café: fuente de energía renovable,” *Avances Técnicos Cenicafé*, no. 393, pp. 1–8, 2010.
92. VARGAS A. 2013. Estimación Del Potencial De Generación De Energía Eléctrica Distribuida A Partir De Biomasa Residual Agrícola En La Región De Madre De Dios. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina. 138 p
93. VEIGA JPS., LOSADA T., FELTRAN JC., BIZZO W. 2016 . Characterization and productivity of cassava waste and it uses as an energy source. *Renewable Energy*. v93. 691–699p
94. VÈLEZ J., MONTOYA E., OLIVEROS C. 1999. Estudio de Tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. Centro Nacional de Investigaciones de Cafè-CENICAFE. Caldas – Colombia. 96 pp. <http://www.cenicafe.org/es/publications/bot021.pdf>
95. VOIVONTAS D., ASSIMACOPOULOS D., KOUKIOS E. (2001). Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass & Bioenergy*, 20, 101-112.
96. ZACCARIA. 2016. Máquinas para beneficio de Arroz. Disponible en <http://www.zaccaria.com.br/site/por/home>

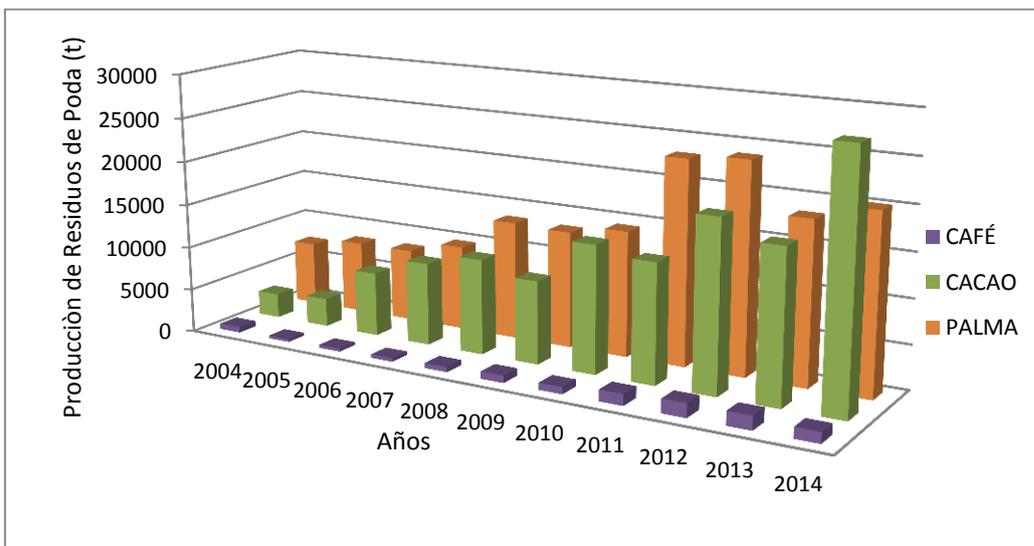
VIII. ANEXOS

Anexo 1. Cálculos detalles para determinación de Biomasa Residual Agrícola y de Procesamiento

Producción de residuos de labores culturales de deshierbe

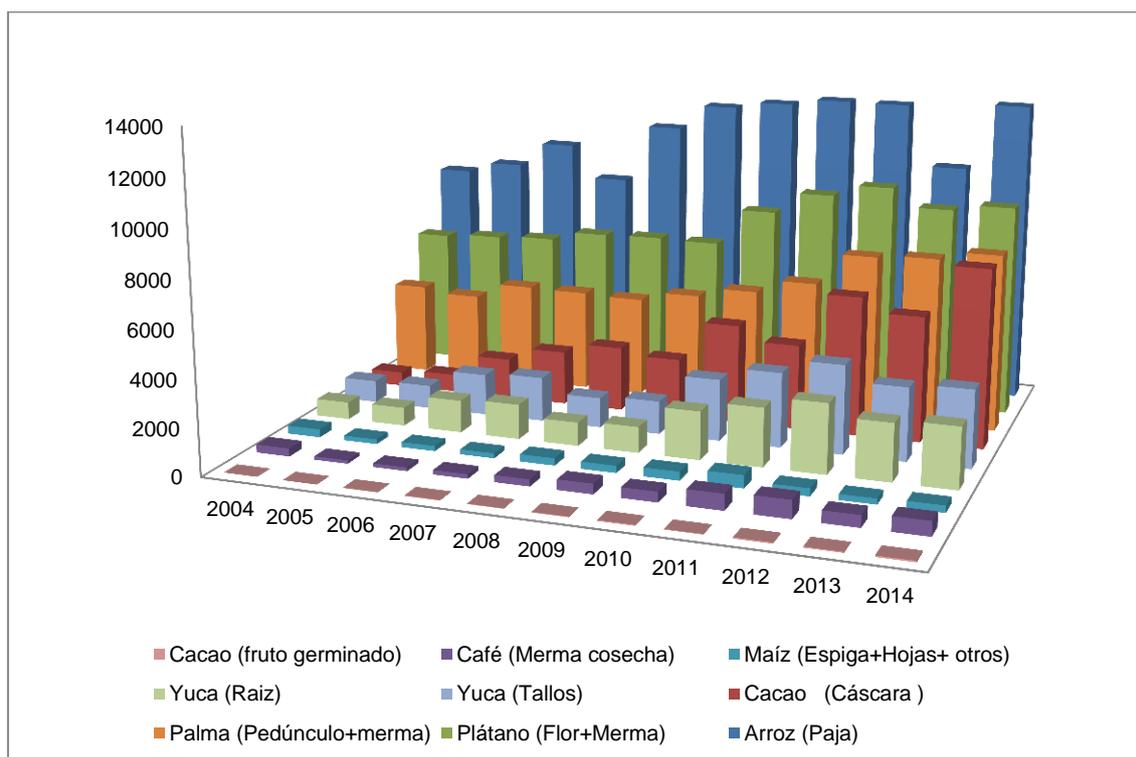


Producción de residuos de labores culturales de poda



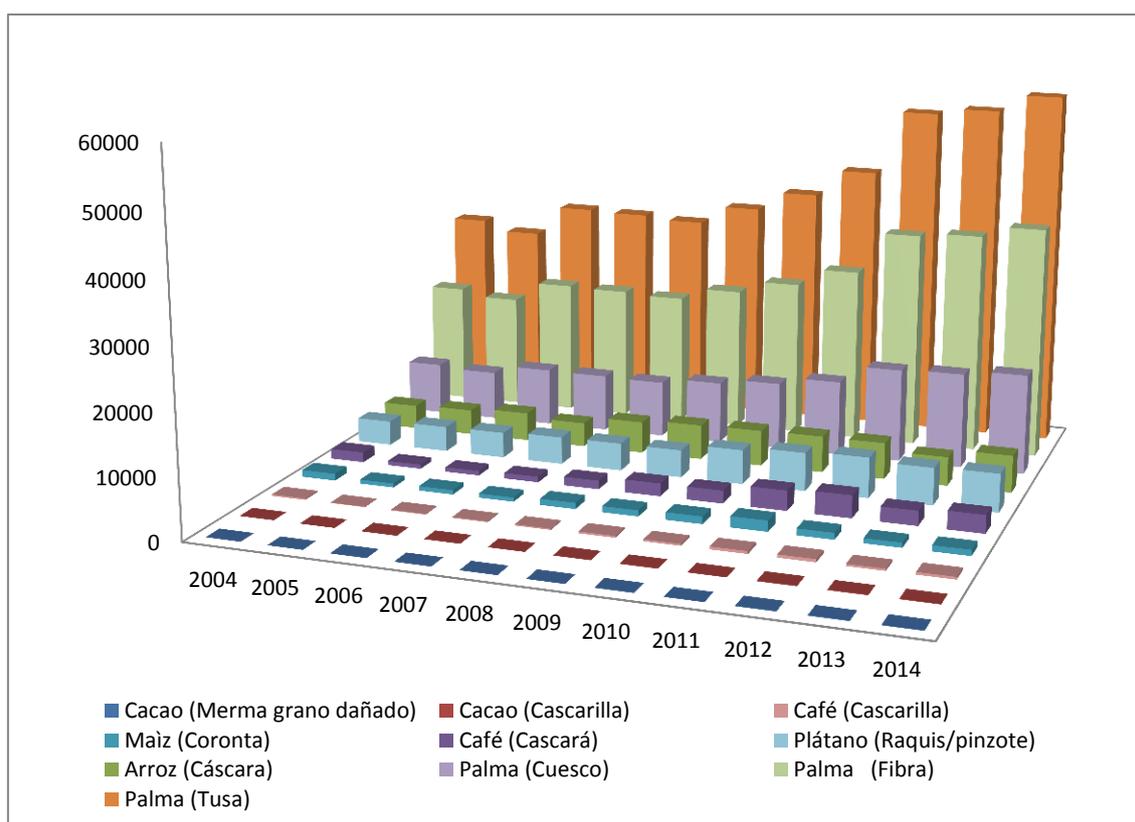
Producción de residuos de cosecha

Años	Arroz (Paja) (t)	Cacao		Café (Merma cosecha) (t)	Maíz (Espiga +Hojas +otros) (t)	Palma (Pedúnculo +merma) (t)	Plátano		Yuca	
		Cacao (Cáscara) (t)	Cacao (fruto germinado) (t)				Plátano (Flor +Merma) (t)	Plátano (Raquis /pinzote) (t)	(Tallos) (t)	(Raíz) (t)
2004	8400	603	5	341	343	3947	5801	4048	946	740
2005	8868	762	6	145	203	3732	5934	4141	1001	784
2006	9962	1731	14	155	222	4392	6045	4218	1763	1380
2007	8506	2316	18	190	210	4356	6452	4502	1898	1486
2008	11087	2768	22	295	309	4282	6507	4540	1283	1005
2009	12185	2500	20	440	306	4683	6470	4515	1414	1107
2010	12479	4249	34	438	374	5098	8079	5637	2630	2059
2011	12749	3645	29	684	550	5682	9022	6295	3195	2502
2012	12729	5965	47	770	333	7068	9540	6657	3802	2977
2013	10081	5371	42	507	248	7200	8763	6114	3137	2456
2014	12950	7609	60	617	298	7570	9036	6305	3320	2599



Biomasa Residual del Procesamiento

Años	Arroz (Cáscara) (t)	Cacao		Café		Maíz (Coronta) (t)	Palma		
		Cacao (Merma grano dañado) (t)	Cacao (Cascarilla) (t)	Café (Cascará) (t)	Café (Cascarilla) (t)		Palma (Tusa) (t)	Palma (Cuesco) (t)	Palma (Fibra) (t)
2004	3965	7	7	1648	227	1126	30439	8598	19948
2005	4185	9	9	701	97	665	28777	8129	18859
2006	4702	19	21	747	103	728	33863	9566	22193
2007	4014	26	28	917	127	689	33587	9488	22012
2008	5233	31	33	1424	196	1013	33021	9328	21641
2009	5751	28	30	2126	293	1003	36113	10201	23667
2010	5890	47	51	2119	292	1227	39309	11104	25762
2011	6017	41	44	3305	456	1804	43817	12378	28716
2012	6008	67	72	3720	513	1094	54500	15395	35717
2013	4758	60	65	2448	338	813	55520	15684	36386
2014	6112	85	92	2984	412	979	58371	16489	38254



Anexo 2. Biomasa residual potencial en los 05 distritos de la provincia de Tocache en el periodo 2004-2008

CULTIVO	RESIDUO	NUEVO PROGRESO		PÓLVORA		SHUNTE		TOCACHE		UCHIZA	
		TOTAL PERÍODO (t)	RESIDUO (t/Promedio Año)								
ARROZ	Paja	4148	1383	4009	1336	375	125	11547	3849	14483	4828
	Cáscara	1958	653	1892	631	177	59	5450	1817	6835	2278
	Σ	6106	X̄ 1018	Σ 5901	X̄ 984	Σ 552	X̄ 92	Σ 16997	X̄ 2833	Σ 21318	X̄ 3553
CACAO	Cáscara+Mermas	19 094	6365	6802	2267	511	170	4833	1611	4552	1517
	Poda	15 186	5062	20112	6704	1641	547	14767	4922	13392	4464
	Cascarilla+Mermas	441	147	158	53	12	4	111	37	105	35
Σ	34721	X̄ 3858	Σ 27072	X̄ 3008	Σ 2164	X̄ 240	Σ 19711	X̄ 2190	Σ 18049	X̄ 2005	
CAFÉ	Grano Merma	278	93	621	207	281	94	363	121	392	131
	Poda	466	155	611	204	365	122	471	157	557	186
	Cáscara	1342	447	3001	1000	1363	454	1756	585	2439	813
	Cascarilla	186	62	415	138	189	63	136	45	146	49
Σ	2272	X̄ 189	Σ 4648	X̄ 387	Σ 2198	X̄ 183	Σ 2726	X̄ 227	Σ 3534	X̄ 295	
MAÍZ AMARILLO	Rastrojo+Otros	68	23	266	89	70	23	302	101	715	238
	Coronta	222	74	872	291	230	77	994	331	868	289
Σ	290	X̄ 49	Σ 1138	X̄ 190	Σ 300	X̄ 50	Σ 1296	X̄ 216	Σ 1583	X̄ 264	
PALMA	Pedúnculo+ Merma	303	101	126	42	-	-	290	97	11879	3960
	Poda	552	184	57082	19027	-	-	132046	44015	226497	75499
	Tusa	2336	779	970	323	-	-	2246	749	91597	30532
	Cuesco	660	220	275	92	-	-	635	212	25875	8625
	Fibra	1531	510	637	212	-	-	1473	491	60039	20013
Σ	5382	X̄ 359	Σ 59090	X̄ 3939	-	-	Σ 136690	X̄ 387	Σ 415887	X̄ 27726	
YUCA	Tallos	4773	1591	2598	866	558	186	2514	838	2452	817
	Raíz	1585	528	2034	678	-	-	1969	656	1920	640
Σ	6358	X̄ 1060	Σ 4632	X̄ 772	Σ 1271	X̄ 212	Σ 4483	X̄ 747	Σ 4372	X̄ 729	
TOTAL DISTRITAL		Σt 55129		Σt 102481		Σt 6485		Σt 181903		Σt 464743	

Fuente: El autor en base a datos preliminares de la Oficina de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego (2015)

Anexo 3. Producción de Energía potencial y capacidad instalada en MWt y MWe

CULTIVO	RESIDUO	NUEVO PROGRESO				POLVORA				SHUNTE				TOCACHE				UCHIZA			
		RESIDUO t/Promedio Año	TJ/año	TEP	Miles \$ USD	RESIDUO t/Promedio Año	TJ/año	TEP	Miles \$ USD	RESIDUO t/Promedio Año	TJ/año	TEP	Miles \$ USD	RESIDUO t/Promedio Año	TJ/año	TEP	Miles \$ USD	RESIDUO t/Promedio Año	TJ/año	TEP	Miles \$ USD
ARROZ	Paja	1383	17	397	137	1336	16	383	132	125	1.5	36	12	3849	46	1104	381	4828	58	1385	478
	Cáscara	653	9	208	72	631	8	201	69	59	0.8	19	6	1817	24	580	200	2278	30	727	251
	Σ \bar{X}	6106	26	605	209	5901	24	584	201	552	2	55	18	16997	70	1684	581	21318	88	2112	729
CACAO	Cáscara +Mermas	6365	17	396	137	2267	6	141	49	170	0.4	11	4	1611	4	100	35	1517	4	94	33
	Poda	5062	76	1825	630	6704	101	2417	834	547	8.3	197	68	4922	74	1775	613	4464	67	1609	556
	Cascarilla +Mermas	147	2	51	18	53	0.8	18	6	4	0.1	1	0.5	37	0.5	13	4	35	0.5	12	4
Σ \bar{X}	34721	95	2272	785	27072	108	2576	889	2164	9	209	73	19711	79	1888	652	18049	72	1715	593	
CAFÉ	Grano Merma	93	0.5	11	4	207	1	25	9	94	0.5	11	4	121	0.6	15	5	131	0.7	16	5
	Poda	155	2	42	15	204	2	56	19	122	1.4	33	11	157	1.8	43	15	186	2	51	18
	Cáscara	447	4	102	35	1000	10	228	79	454	4.3	103	35	585	6	133	46	813	8	185	64
Σ \bar{X}	189	8	179	62	4648	15	362	125	2198	7	171	58	2726	9	208	72	3534	12	270	93	
MAÍZ AMARILLO	Rastrojo +Otros	23	0.3	8	3	89	1.3	31	11	23	0.3	8	3	101	1.5	35	12	238	4	84	29
	Coronta	74	1.1	27	9	291	4	106	36	77	1.2	28	10	331	5	120	42	289	4	105	36
	Σ \bar{X}	290	1	35	12	1138	5	137	47	300	2	36	13	1296	7	155	54	1583	8	189	65
PALMA	Pedúnculo + Merma	101	0.2	6	2	42	0.1	2	1	-	-	-	-	97	0.2	6	2	3960	10	230	80
	Poda	184	0.7	16	5	19027	68	1629	562	-	-	-	-	44015	158	3768	1301	75499	271	6464	2231
	Tusa	779	6	143	49	323	2	59	20	-	-	-	-	749	5	137	47	30532	222	5596	1932
Σ \bar{X}	5382	16	397	136	59090	75	1786	617	-	-	-	-	136690	172	4134	1427	415887	883	21380	7381	
YUCA	Tallos	1591	11	263	91	866	6	143	50	238	1.6	39	14	838	6	139	48	817	6	135	47
	Raíz	528	4	89	31	678	5	115	40	186	1.3	31	11	656	5	111	38	640	5	108	37
	Σ \bar{X}	6358	15	352	122	4632	11	258	90	1271	3	70	25	4483	11	250	86	4372	11	243	84
TOTAL DISTRITAL	55129	161	3840	1326	102481	238	5703	1969	6485	23	541	187	181903	347	8319	2872	464743	1073	25909	8945	
PROMEDIO DISTRITAL	1021	9	213	74	1898	13	317	109	229	2	42	14	3369	19	462	160	8606	60	1440	497	

(Continúa)

CULTIVO	RESIDUO	NUEVO PROGRESO			POLVORA			SHUNTE			TOCACHE			UCHIZA		
		POTENCIA INSTALADA		ENERGÍA OFERTADA AÑO	POTENCIA INSTALADA		ENERGÍA OFERTADA AÑO	POTENCIA INSTALADA		ENERGÍA OFERTADA AÑO	POTENCIA INSTALADA		ENERGÍA OFERTADA AÑO	POTENCIA INSTALADA		ENERGÍA OFERTADA AÑO
		MWe	MWt	GWh	MWe	MWt	GWh	MWe	MWt	GWh	MWe	MWt	GWh	MWe	MWt	GWh
ARROZ	Paja	0.20	0.66	4.61	0.19	0.64	4.46	0.02	0.06	0.42	0.55	1.84	12.84	0.69	2.30	16.11
	Cáscara	0.10	0.35	2.42	0.10	0.33	2.34	0.01	0.03	0.22	0.29	0.96	6.74	0.36	1.21	8.46
	Σ	0.30	1.01	7.03	0.29	0.97	6.80	0.03	0.09	0.64	0.84	2.80	19.58	1.05	3.51	24.57
	\bar{X}	0.15	0.51	3.52	0.15	0.49	3.40	0.02	0.05	0.32	0.42	1.40	9.79	0.53	1.76	12.29
CACAO	Cáscara +Mermas	0.20	0.66	4.60	0.07	0.23	1.64	0.01	0.02	0.12	0.05	0.17	1.16	0.05	0.16	1.10
	Poda	0.91	3.03	21.22	1.21	4.02	28.11	0.10	0.33	2.29	0.89	2.95	20.64	0.80	2.68	18.72
	Cascarilla +Mermas	0.03	0.09	0.60	0.01	0.03	0.21	0.001	0.002	0.02	0.01	0.02	0.15	0.01	0.02	0.14
	Σ	1.14	3.78	26.42	1.29	4.28	29.96	0.11	0.35	2.43	0.95	3.14	21.95	0.86	2.86	19.96
	\bar{X}	0.38	1.26	8.81	0.43	1.43	9.99	0.04	0.12	0.81	0.32	1.05	7.32	0.29	0.95	6.65
CAFÉ	Grano Merma	0.01	0.02	0.13	0.01	0.04	0.29	0.01	0.02	0.13	0.01	0.02	0.17	0.01	0.03	0.18
	Poda	0.02	0.07	0.49	0.03	0.09	0.65	0.02	0.06	0.39	0.02	0.07	0.50	0.03	0.08	0.59
	Cáscara	0.05	0.17	1.18	0.11	0.38	2.65	0.05	0.17	1.20	0.07	0.22	1.55	0.09	0.31	2.15
	Cascarilla	0.01	0.04	0.27	0.03	0.09	0.61	0.01	0.04	0.28	0.01	0.03	0.20	0.01	0.03	0.22
	Σ	0.09	0.30	2.07	0.18	0.60	4.20	0.09	0.29	2.00	0.11	0.34	2.42	0.14	0.45	3.14
	\bar{X}	0.02	0.08	0.52	0.05	0.15	1.05	0.02	0.07	0.50	0.03	0.09	0.61	0.04	0.11	0.79
MAÍZ AMARILLO	Rastrojo + Otros	0.004	0.01	0.09	0.02	0.05	0.36	0.004	0.01	0.10	0.02	0.06	0.41	0.04	0.14	0.98
	Coronta	0.01	0.04	0.31	0.05	0.18	1.23	0.01	0.05	0.32	0.06	0.20	1.40	0.05	0.17	1.22
	Σ	0.01	0.05	0.40	0.07	0.23	1.59	0.01	0.06	0.42	0.08	0.26	1.81	0.09	0.31	2.20
	\bar{X}	0.01	0.03	0.20	0.04	0.12	0.80	0.01	0.03	0.21	0.04	0.13	0.91	0.05	0.16	1.10
PALMA	Pedúnculo+ Merma	0.0029	0.010	0.07	0.0012	0.0041	0.028	-	-	-	0.0028	0.009	0.07	0.11	0.38	2.68
	Poda	0.01	0.03	0.18	0.81	2.71	18.94	-	-	-	1.88	6.27	43.82	3.22	10.75	75.17
	Tusa	0.07	0.24	1.66	0.03	0.10	0.69	-	-	-	0.07	0.23	1.60	2.79	9.30	65.08
	Cuesco	0.04	0.14	0.95	0.02	0.06	0.40	-	-	-	0.04	0.13	0.91	1.60	5.33	37.25
	Fibra	0.07	0.25	1.75	0.03	0.10	0.73	-	-	-	0.07	0.24	1.68	2.94	9.79	68.46
	Σ	0.19	0.67	4.61	0.89	2.97	20.79	-	-	-	2.06	6.88	48.08	10.66	35.55	248.64
	\bar{X}	0.04	0.13	0.92	0.18	0.59	4.16	-	-	-	0.41	1.38	9.62	2.13	7.11	49.73
YUCA	Tallos	0.13	0.44	3.06	0.07	0.24	1.67	0.02	0.07	0.46	0.07	0.23	1.61	0.07	0.23	1.57
	Yuca	0.04	0.15	1.04	0.06	0.19	1.34	0.02	0.05	0.37	0.06	0.18	1.29	0.05	0.18	1.26
	Σ	0.17	0.59	4.10	0.13	0.43	3.01	0.04	0.12	0.83	0.13	0.41	2.90	0.12	0.41	2.83
	\bar{X}	0.09	0.30	2.05	0.07	0.22	1.51	0.02	0.06	0.42	0.07	0.21	1.45	0.06	0.21	1.42
TOTAL DISTRITAL		1.92	6.38	44.66	2.85	9.48	66.34	0.27	0.90	6.31	4.15	13.83	96.76	12.92	43.08	301.33
PROMEDIO DISTRITAL		0.11	0.35	2.48	0.16	0.53	3.69	0.02	0.07	0.49	0.23	0.77	5.38	0.72	2.39	16.74

