

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

GERENCIA DE ELECTRICIDAD
DIRECCIÓN PLANIFICACIÓN Y SOSTENIBILIDAD
PROCESO SOSTENIBILIDAD

Energía y Desarrollo Eléctrico

POTENCIAL DE GENERACIÓN A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL EN COSTA RICA

Agosto 2022



POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE LA BIOMASA RESIDUAL EN COSTA RICA

SUS COMENTARIOS SON BIENVENIDOS

Por favor dirija sus comentarios, observaciones o consultas a:
Carolina Hernández Chanto, Energía y Desarrollo Eléctrico, ICE
Correo electrónico: chernandezch@ice.go.cr
Teléfono: (506) 2000 5889
www.grupoice.com

ELABORACIÓN

Ing. Carolina Hernández Chanto, Energía y Desarrollo Eléctrico, ICE
Ing. Rodolfo Amador Bikkazakova, Energía y Desarrollo Eléctrico, ICE
Ing. Jorge Chacón Chacón, Energía y Desarrollo Eléctrico, ICE
Pasante Ing. Alejandra Granados Solís, Energía y Desarrollo Eléctrico, ICE

REVISIÓN

Ing. Ana Gertrud Sánchez Eger, Energía y Desarrollo Eléctrico, ICE.

COORDINACIÓN

Energía y Desarrollo Eléctrico, Proceso Sostenibilidad, Dirección Planificación y Sostenibilidad, Gerencia de Electricidad. Instituto Costarricense de Electricidad.

REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial este documento, bajo la condición de que se acredite la fuente.

Tabla de contenido

ABREVIATURAS	4
RESUMEN EJECUTIVO	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. JUSTIFICACIÓN	8
3. OBJETIVOS	9
3.1 Objetivo general	9
3.2 Objetivos específicos	9
4. METODOLOGÍA	10
4.1 Selección de año base y fuentes de datos	10
4.1.1 Sector de caña de azúcar.....	12
4.1.2 Sector de la Piña.....	12
4.1.3 Sector de café.....	13
4.1.4 Sector bananero.....	13
4.1.5 Sector arrocero	14
4.1.6 Sector de palma aceitera.....	14
4.1.7 Sector de ganadería	15
4.1.8 Sector avicultura.....	16
4.1.9 Sector porcicultura.....	16
4.1.10 Sector aguas residuales de origen doméstico.....	17
4.1.11 Sector residuos orgánicos de origen doméstico.....	17
4.1.12 Sector aserraderos.....	18
4.1.13 Oferta de leña.....	18
4.2 Determinación de la energía eléctrica y potencia por instalar para la biomasa húmeda	18
4.3 Determinación de la energía eléctrica y potencia por instalar para la biomasa seca	19
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA Y POTENCIA POR INSTALAR A PARTIR DE BIOMASAS	20
5.1 Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomasa húmedas	20
5.1.1 Caña de azúcar.....	22
5.1.2. Piña.....	24
5.1.3 Café.....	25
5.1.4 Banano.....	26
5.1.5 Ganadería.....	28
5.1.6 Arroz.....	29
5.1.7 Avicultura.....	30
5.1.8 Aguas residuales domésticas.....	31
5.1.9 Residuos orgánicos de origen doméstico.....	32
5.1.10 Porcicultura	33
5.1.11 Palma aceitera.....	34
5.2 Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca ... 35	
5.2.1 Caña de azúcar.....	37
5.2.2 Palma aceitera	38
5.2.3 Aserraderos	40
5.2.4 Arroz.....	41

5.2.5 <i>Café</i>	43
5.2.6 <i>Oferta de leña</i>	44
5.3 Resultados del potencial energético	45
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
6.1 Conclusiones	48
6.2 Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS.....	51
ANEXOS.....	57
A.1 Datos empleados para el cálculo de generación eléctrica y potencia por instalar	57
A.2 Parámetros empleados en los cálculos.....	72
A.3 Resultados.....	76
A.4 Muestra de cálculo	77

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
BR	Banano de rechazo
CANAPALMA	Cámara Nacional de Productores de Palma
CANAVI	Cámara Nacional de Avicultores de Costa Rica
CF	Café fruta
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria
GAM	Gran área metropolitana
GEI	Gases de efecto invernadero
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
LAICA	Liga Agrícola Industrial de la Caña
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación y Política Económica
MOCUPP	Monitoreo del Cambio de Uso y Cobertura de la Tierra en Paisajes Productivos
Muc	Mucílago
NDC	Contribución determinada a nivel nacional
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
ONF	Oficina Nacional Forestal
PCS	Poder Calórico Superior
RA	Rastrojo de arroz
RC	Rastrojo de caña
RO	Residuos orgánicos
SDRS	Sitios de disposición de residuos sólidos
SEPSA	Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria
SEPSE	Secretaría De Planificación Del Subsector Energía
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles

RESUMEN EJECUTIVO

La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable orgánica, la cual se produce mayormente a partir de residuos agrícolas, forestales, pecuarios, entre otros. Esta biomasa puede ser empleada para la generación de electricidad mediante el empleo de tecnologías como la combustión directa y la digestión anaerobia.

En Costa Rica, históricamente se ha empleado la hidroelectricidad para abastecer las necesidades de electricidad. Sin embargo, las tendencias en generación eléctrica apuestan por sistemas de generación eléctrica que aprovechan fuentes de energía renovable no convencional como la eólica, solar y las biomasas. Esta última fuente, suministra aproximadamente un 8% de la demanda total de energía en el país.

Incrementar la participación de la biomasa en la matriz eléctrica del país es un objetivo importante por considerar para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, así como con el Plan de Descarbonización, el Plan Nacional de Energía 2015-2030, entre otros. Por esta razón, el objetivo de este estudio es actualizar el potencial técnico – teórico de generación eléctrica a partir de biomasas residuales.

Para esto se seleccionó el año 2020 como el año base porque es el año con datos más actualizados. Luego se realizó un análisis semáforo para valorar la información disponible para cada biomasa. Posterior a esto se recopilaron datos de producción, y se emplearon parámetros de rendimiento de cada residuo, DQO, poder calórico superior, concentración de sólidos totales y sólidos volátiles, entre otros; a partir de estudios científicos. Para así calcular la generación eléctrica y potencia por instalar para cada residuo disponible.

Se concluye que los residuos biomásicos que se generan en Costa Rica podrían generar 3.560 GWh/año de energía eléctrica y una potencia por instalar de 683 MW anuales. De los cuales 2.548 GWh/año de energía eléctrica y 440 MW de potencia por instalar provendrían de biomasas húmedas, mientras 1.012 GWh/año de energía eléctrica y 242 MW de potencia por instalar provendrían de biomasas secas.

Se recomienda enfocar los esfuerzos para aumentar la participación de la biomasa en la matriz eléctrica deben dirigirse en el aprovechamiento del bagazo, el rastrojo de caña y el rastrojo de piña que correspondería a un aprovechamiento del 57% de la potencia por instalar total en verano (391 MW). El resto de los meses podría incorporarse además del rastrojo de piña, vástago de banano y residuos de aserraderos que correspondería a un 56% de la potencia por instalar del resto de los meses del año (291 MW).

1. INTRODUCCIÓN

La biomasa se considera una energía renovable orgánica. Se produce en su mayoría a partir de residuos de actividad agrícola, agropecuaria, forestal, así como de cultivos energéticos, algas y la fracción orgánica de residuos municipales e industriales, entre otros.

La biomasa puede ser empleada para la generación de electricidad. De acuerdo con Mehmey et al. (2020) existen dos tecnologías para convertir la energía contenida en la biomasa en energía eléctrica: la combustión directa y la digestión anaerobia. En la combustión directa, biomasa seca puede quemarse en calderas convencionales para generar vapor o agua caliente. Este vapor pasa por una turbina acoplada a un generador para producir electricidad. En la digestión anaerobia, o recuperación de metano, los residuos orgánicos húmedos se convierten en metano y calor. En este proceso, la materia orgánica se descompone por medio de bacterias en ausencia de oxígeno para producir un biogás compuesto principalmente por metano y otros gases como el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno. Este gas puede emplearse para producir electricidad o calor.

En Costa Rica, la forma de abastecer las necesidades de electricidad ha sido mediante la instalación de grandes centrales, principalmente hidroeléctricas. Aunque aún se cuenta con una capacidad de 5.600 MW identificados de hidroelectricidad (Instituto Costarricense de Electricidad ICE, 2020), esta fuente de energía es cada vez más difícil de desarrollar por el rechazo social. Actualmente, las tendencias en generación eléctrica apuestan por minicentrales y la generación distribuida. En este modelo, pequeños sistemas de generación eléctrica se instalan en el mismo sitio donde se consume la energía, y aprovechan las fuentes de energía renovable no convencional disponibles en los sitios, tales como el sol, biomasa, eólica, entre otros.

La biomasa se utiliza ampliamente con fines energéticos y suministra aproximadamente un 8% de la demanda total de energía en Costa Rica (ICE, 2021). Según el ICE (2021), el país cuenta con un potencial teórico de 580 MW para la generación de energía a partir de biomasa residual, pero solo tiene instalados 78 MW lo que representa menos del 13%.

2. JUSTIFICACIÓN

El uso de biomasa para generación eléctrica es importante para el cumplimiento de los objetivos climáticos de Costa Rica. En el 2017, el país emitió a la atmósfera 2.004,5 toneladas métricas de metano (CH₄), lo cual corresponde al 29,1% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de ese año (Instituto Meteorológico Nacional, 2021). Estas emisiones provienen principalmente del sector agropecuario debido a la fermentación entérica de bovinos y la gestión de estiércoles, así como de la quema de biomasa del sector agrícola y la generación de residuos sólidos urbanos, de acuerdo con el último Inventario Nacional de GEI de Costa Rica (Instituto Meteorológico Nacional, 2021).

En la última Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) del país, este se comprometió con alcanzar un máximo absoluto de emisiones netas en el 2030 de 9,11 millones de toneladas de CO₂e. Por otro lado, el país forma parte del Compromiso Mundial sobre el Metano, en el cual se acordó tomar medidas voluntarias para reducir las emisiones mundiales de metano en al menos un 30% respecto a los niveles de 2020 para el año 2030. Por lo que la adopción de tecnologías que permitan la captura del biometano para generar electricidad es una medida importante para reducir dichas emisiones de GEI.

El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos ayudaría a solucionar el problema de la contaminación ambiental que genera la disposición de residuos de biomasa provenientes de sectores como el agrícola, pecuario, forestal y urbano. El Instituto Costarricense de Electricidad podría contribuir con el cumplimiento de los objetivos en energía y gestión integral de residuos contemplados en el Plan Nacional de Descarbonización de Costa Rica (MINAE, 2018). Así como a cumplir con los objetivos contemplados en el eje 3 sobre biorrefinería de biomasa residual de la Estrategia Nacional de Bioeconomía 2020 - 2030.

El uso de biomasa para fines energéticos también se enmarca en la Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). En el caso específico de la bioquímica, la industria del biogás puede ayudar a proveer seguridad energética y alimentaria, administrar los residuos, proteger las fuentes

de agua, restaurar la salud de los suelos, mejorar la calidad del aire, promover la salud y sanidad, así como generar empleos locales (Asociación Mundial de Biogás, 2019). En el caso de termoquímica, la producción de energía, mediante biomasa seca, presenta ventajas ambientales, sociales y de eficiencia energética que la hacen única (fija el CO₂) respecto a otras energías renovables.

En el Plan Nacional de Energía 2015-2030 (MINAE, 2015), se plantea como objetivo estratégico propiciar las condiciones para la producción de electricidad de energías renovables no convencionales. En dicho plan, se encomendó al ICE elaborar un inventario de biomásas con el fin de realizar una planificación integral de los recursos energéticos de acuerdo con su disponibilidad y su aprovechamiento óptimo. Por ende, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué potencial técnico tiene el ICE para generar electricidad a partir de biomásas residuales disponibles en el país?

Debido a esto, el área de Energía y Desarrollo Eléctrico del ICE, estableciendo como unidad de análisis el Programa Biogás, actualizará la información sobre la disponibilidad de biomasa para definir el potencial energético que puede aprovechar la empresa para generar electricidad. Así, el ICE podrá priorizar las inversiones en proyectos de generación eléctrica, en el marco de una economía circular donde se pueda maximizar el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Actualizar el potencial técnico de generación eléctrica a partir de biomasa residual en el país con base en el año 2020 en un plazo de 16 semanas.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar los residuos que se analizarán en la actualización, de acuerdo con la información disponible 2022.
- Determinar el potencial de producción de biomasa por actividad.
- Calcular el potencial de generación de energía eléctrica.
- Calcular la potencia por instalar.

4. METODOLOGÍA

4.1 Selección de año base y fuentes de datos

Como primer paso para estimar el potencial de generación eléctrica fue la selección del año. El año 2020 fue el tomado como el base para realizar el estudio, ya que es el año con más datos actualizados. Luego se estudiaron las biomásas que se generan en Costa Rica a partir de la valoración tipo semáforo del estado de disponibilidad y accesibilidad de la información de la biomasa de las actividades prioritarias que se realizó para la “Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica” del año 2018.

En la tabla 4.1 se muestra el análisis semáforo sobre la disponibilidad de información. Para esto, se buscó información sobre la producción del cultivo, rendimientos de biomasa, contenido de sólidos volátiles, humedad y poder calorífico.

Tabla 4.1

Valoración de la información disponible en el 2020 para cada biomasa estudiada según actividad y sector

Sector	Actividad	Tipo de biomasa	¿Existen datos de producción anual al 2020?	¿Existen datos de rendimiento de cantidad de biomasa/producto?	¿Existe datos para determinar potencial energético?
Agrícola	Café	Pulpa			
		Cascarilla			
		Mucílago			
		Aguas residuales			
		Leña Café			
	Arroz	Cascarilla de arroz			
		Rastrojo de arroz			
	Caña de azúcar	Bagazo			
		Cachaza			
		Melaza/Vinaza			
		Rastrojo de caña			
	Palma aceitera	Fibra de mesocarpio			
		Cascarilla de coquito			
		Fibra de pinzote de palma			
		Aguas residuales			

Sector	Actividad	Tipo de biomasa	¿Existen datos de producción anual al 2020?	¿Existen datos de rendimiento de cantidad de biomasa/producto?	¿Existe datos para determinar potencial energético?
	Cítricos	Residuos de naranja			
	Piña	Rastrojo de piña			
		Corona de piña			
	Banano	Pinzote de banano			
		Banano de rechazo			
		Vástago de banano			
Forestal	Aserraderos	Aserrín			
		Leña de aserradero			
		Otros residuos de aserrío			
		Burucha			
	Consumo de leña	Consumo de leña			
	Plantaciones y explotación forestal / residuos de campo	Residuos de campo de plantaciones y explotación forestal			
Pecuario	Porcicultura	Cerdaza			
	Avicultura	Pollinaza			
		Gallinaza			
	Ganadería de leche	Estiércol de ganado de leche			
	Ganadería de carne	Estiércol de ganado de carne			
Urbano / Municipal	Aguas residuales urbanas	Aguas negras domiciliarias			
	Residuos domésticos	Residuos domésticos orgánicos			

La simbología empleada para el análisis semáforo es la siguiente:

Tabla 4.2

Simbología empleada para el análisis semáforo

Color	Significado
Verde	Información existente
Amarillo	Información no tan accesible o tiene alta incertidumbre
Rojo	Información no existe o es inaccesible

Como se puede observar en la tabla 4.1, la información sobre cantidad de residuos de cítricos para el año 2020 es inaccesible, por lo que es la única biomasa que no se pudo contemplar en el estudio.

4.1.1 Sector de caña de azúcar

La cosecha de caña de azúcar es estacional y varía, ligeramente, de región a región en Costa Rica. Del cultivo y la industrialización de la caña de azúcar, se genera biomasa residual tanto del campo como del proceso industrial. Del campo se obtiene el rastrojo y del proceso industrial el bagazo, la cachaza, la melaza, aguas residuales y cenizas principalmente. Cuando el ingenio produce alcohol, como es el caso de algunos ingenios grandes, también se genera vinaza y lodos proteicos.

Para el sector de la caña de azúcar, se emplearon datos de producción y área sembrada en el año 2020 del Boletín Estadístico Agropecuario N.º 32. A partir de estos datos se calculó el rendimiento en (t/Ha). Para poder tener datos de producción por provincia se utilizaron datos sobre el área de cobertura en el año 2020 según LAICA (2021). A partir del rendimiento y el porcentaje de cobertura por provincia, se obtuvo la producción de caña de azúcar por provincia y se calculó la generación de cada tipo de biomasa residual y su potencial de generación eléctrica. Es importante destacar que, para el cálculo del potencial de generación eléctrica a partir de vinaza, se empleó la producción de alcohol en el año 2020.

4.1.2 Sector de la Piña

La producción de la piña en el país se encuentra distribuida en tres regiones: Región Brunca, Región Huetar Atlántica y Región Huetar Norte. La actividad piñera ha crecido significativamente en las últimas dos décadas, debido principalmente, al incremento en área sembrada y, en menor grado a una mejora en la productividad por área. Del cultivo y la agroindustria de la piña, se genera biomasa residual tanto del campo como del proceso industrial. Del campo se obtiene el rastrojo y del proceso industrial la corona.

Para el caso de la piña se emplearon datos de producción de piña, así como su respectiva área sembrada en el año 2020 del Boletín Estadístico Agropecuario N° 32. Con estos datos se calculó un rendimiento de cultivo en t/Ha. Se emplearon datos del Sistema de Monitoreo del Cambio de Uso y Cobertura de la Tierra en Paisajes Productivos (MOCUPP) sobre el área de cobertura por provincia para el año 2018. Suponiendo que el porcentaje de cobertura por provincia no ha cambiado significativamente al 2020 con respecto al 2018, se calculó la producción de piña por provincia y luego la generación de cada biomasa, su potencial de generación eléctrica y finalmente la potencia por instalar.

4.1.3 Sector de café

Esta actividad presenta dos tipos de generador: el beneficiado de café (industrialización) y la plantación cafetalera. La cosecha de café es estacional y varía entre las regiones. La actividad se concentra en los meses de diciembre a marzo, por lo que, no hay generación de biomasa en los demás meses del año. De la industrialización del café se obtienen cuatro tipos de biomasa las cuales son: pulpa de café, cascarilla de café, mucílago y aguas residuales del proceso.

Para los datos de producción de café fruta por provincia para el año 2020 se tomaron del Boletín Estadístico Agropecuario N° 32. A partir de estos datos se calculó la generación de cada residuo, su potencial de generación eléctrica y la potencia por instalar.

4.1.4 Sector bananero

En la actividad bananera destacan dos tipos de generadores de biomasa, la plantación y la planta empacadora adonde se da el proceso de clasificación y empaque del banano. Las empresas bananeras se encuentran ubicadas en cuatro de las regiones MIDEPLAN: la Región Brunca, la Región Huetar Norte, la Región Pacífico Central y la Región Huetar Atlántica.

En las bananeras se genera biomasa tanto del campo, con el pesado tallo o vástago y el sistema foliar; así como en el proceso de selección del banano, donde descartan el banano de calidades inferiores y el tallo verdadero, conocido como raquis o pinzote.

Para calcular la generación eléctrica y potencia por instalar a partir de residuos generados de la actividad bananera, se emplearon datos de la producción de banano de exportación por provincia para el año 2020 a partir del Boletín Estadístico Agropecuario N° 32.

4.1.5 Sector arrocero

Para el período 2019/2020 el 41% del consumo de arroz se cubrió con la producción nacional, mientras que el arroz importado cubrió el 59% restantes. La actividad está compuesta por industrias arroceras (asociadas con la importación y venta del arroz de consumo), importadores terceristas que participan en la venta al detalle y los productores agrícolas.

El consumo absoluto de arroz y el consumo per cápita se han reducido en los últimos años. El área cultivada de arroz también ha disminuido a un ritmo promedio aproximado de 11% anual, coincidiendo con las posibilidades de ingreso de importaciones. Una parte importante de la importación de arroz se realiza en arroz en granza y otra parte en arroz pilado (al que se le ha removido la cascarilla de arroz). La tendencia es una disminución en la importación de arroz en granza.

La actividad arrocera genera varias biomásas. En cantidades importantes se encuentra: la cascarilla y el rastrojo de campo. La ceniza se genera en cantidades menores y la puntilla y la semolina son fracciones de biomásas valiosas, que tienen mercados cautivos y que por tanto no se consideran en el análisis de esta actualización del inventario de biomasa.

Para el caso del arroz se emplearon los datos de producción por provincia para el año 2020 del Boletín Estadístico Agropecuario N° 32. A partir de estos datos se calculó la generación de cada biomasa, su potencial de generación eléctrica y potencia por instalar.

4.1.6 Sector de palma aceitera

En Costa Rica se cultiva palma aceitera como la principal actividad productora de aceite vegetal. La fruta se somete a un proceso en el que se le

extrae el aceite bruto, el cual posteriormente es procesado en plantas refinadoras nacionales o en el exterior.

Las industrias de extracción de aceite de fruta de palma en Costa Rica y en algunos casos sus operaciones integradas de refinamiento de aceite se encuentran ubicadas en las tres regiones productoras del país: Región Brunca, Región Huetar Atlántica y Región Pacífico Central.

Para determinar la generación eléctrica y potencia por instalar a partir de residuos provenientes de la palma aceitera, se emplearon datos de producción de palma, así como su respectiva área sembrada en el año 2020 del Boletín Estadístico Agropecuario N° 32. Con estos datos se calculó un rendimiento de cultivo en t/Ha. Se emplearon datos del MOCUPP sobre el área de cobertura por provincia para el año 2018. Suponiendo que el porcentaje de cobertura por provincia no ha cambiado significativamente al 2020 con respecto al 2018, se calculó la producción de piña y palma aceitera por provincia.

4.1.7 Sector de ganadería

La distribución de animales de ganado bovino lechero en Costa Rica se encuentra principalmente en la Región Huetar Norte, donde hay predominio de lechería tropical y doble propósito; en la Región Central donde existe lechería especializada. La otra zona de existencia de actividades lecheras está en la Región Chorotega. No se observa una tendencia o estacionalidades destacables en la actividad lechera del país.

El 100% de la excreta de ganado lechero se encuentra disponible. Sin embargo, la accesibilidad más importante es para la excreta generada durante las horas de ordeño en la sala y alrededores.

En cuanto a la actividad bovina de carne, únicamente ofrece una biomasa producto de las excretas de los animales y prácticamente toda es esparcida en los potreros y pastizales, ya que, en Costa Rica, la ganadería estabulada u otras técnicas con confinamiento, no son prácticas comunes. La actividad ganadera de carne está concentrada en la Región Huetar Norte y la Región Chorotega.

Para el sector de ganadería no fue posible obtener datos de cantidad de animales por provincia, por lo que se empleó solo los totales por sector a partir de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2020 para el análisis de generación

eléctrica y la potencia por instalar. Esto constituye una de las limitaciones para poder analizar la biomasa disponible por provincia.

4.1.8 Sector avicultura

La actividad de producción de pollos y huevos en Costa Rica tiene una importante concentración de granjas en las regiones Central y Huetar Norte.

Los residuos de excretas en la actividad avícola son de dos tipos principalmente: los de las gallinas para propósito de huevos comerciales o de reproducción, llamada gallinaza y la de los pollos para engorde, que se denomina pollinaza. Sus características están asociadas a la dieta de los animales y a las formas de manejo. La gallinaza se genera a diario y sin mezclar con material absorbente al momento de la generación y la pollinaza es el resultado de las camas de producción de pollo, por lo que la primera es más húmeda y no se mezcla en su generación con cascarilla de arroz o aserrín.

El aserrín se mezcla con gallinaza como absorbente para el tratamiento térmico, que es un tratamiento sanitario obligatorio para el material de cama y excretas, consistiendo en un composteo/volteo por espacio de 5 días.

Para la avicultura no fue posible obtener datos de cantidad de animales por provincia, por lo que se empleó solo los totales por sector a partir de información brindada por CANAVI para el análisis de generación eléctrica y la potencia por instalar. Esto constituye una de las limitaciones para poder analizar la biomasa disponible por provincia.

4.1.9 Sector porcicultura

En esta actividad únicamente se presenta un tipo de biomasa, excretas de los animales, las cuales usualmente se manejan y movilizan dentro de las instalaciones con agua de arrastre. Los registros indican un crecimiento de la actividad en los últimos años, de aproximadamente un 4% anual.

Para el sector de porcicultura no fue posible obtener datos de cantidad de animales por provincia, por lo que se empleó solo los totales por sector a partir de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2020 para el análisis de generación

eléctrica y la potencia por instalar. Esto constituye una de las limitaciones para poder analizar la biomasa disponible por provincia.

4.1.10 Sector aguas residuales de origen doméstico

De acuerdo con Angulo (2021), desde el 2015 el saneamiento por tanque séptico se mantiene como la alternativa de tratamiento de aguas residual de mayor cobertura con alcances de más del 75% de la población. Entre el año 2011 – 2015, se registró un crecimiento de casi 10% en el uso de alcantarillado sanitario con tratamiento debido a la entrada en operación de PTAR Los Tajos. Pero del 2014 – 2020 también aumentó el uso de tanque séptico en un 10%.

Para el cálculo de la potencia por instalar y generación eléctrica de las aguas residuales se emplearon datos de la cantidad de habitantes proporcionada por el INEC a partir de Estadísticas Demográficas del 2020.

4.1.11 Sector residuos orgánicos de origen doméstico

La generación de residuos sólidos y domésticos ordinarios en el país, indican una clara tendencia a la continuación de crecimiento de esta generación de residuos, directamente proporcionales con el aumento de la población.

La mayoría de los residuos, por su origen, se ubican en la Región Central, cercanos a los Sitios de Disposición de Residuos Sólidos (SDRS). Alrededor del 70% de los residuos domésticos están en la Región Central, pues esta región incluye la Gran Área Metropolitana (GAM). Dado que los otros dos grandes rellenos tienen operaciones en Orotina y Montes de Oro, un 20% de los residuos se ubican en la Región Pacífico Central.

Los residuos domiciliarios tienen una importante fracción de residuos orgánicos como biomasa, alrededor del 46%, e incluyen las dos fracciones diferentes de desechos domésticos orgánicos de alimentos (cáscaras y otros), así como la denominada madera y restos de jardines que manejan diferenciadas las clasificaciones y caracterizaciones de fracciones de residuos domiciliarios.

Para determinar la potencia por instalar y generación eléctrica a partir de residuos orgánicos se emplearon datos de la cantidad de habitantes proporcionada por el INEC a partir de Estadísticas Demográficas del 2020.

4.1.12 Sector aserraderos

Los aserraderos representan una actividad importante como oferente de biomasa de uso energético y en la creación de mercados para otros tipos de usos. La información brindada por la (Oficina Nacional Forestal, 2021-ONF), indica la existencia de 269 industrias de aserrío activas, que se encuentran distribuidas en las seis regiones del país. Estas a su vez se encuentran estratificadas de acuerdo con su tamaño de producción, siendo: aserraderos grandes, aserraderos de estrato mediano y personas físicas que trabajan principalmente con aserraderos portátiles o similares.

La producción de leña de los aserraderos y de la oferta de leña se extrajo a partir de datos del Balance Energético Nacional de Costa Rica 2016-2021 del SEPSE.

4.1.13 Oferta de leña

La leña es una biomasa de uso energético, principalmente del tipo tradicional, cuyos generadores son cafetales, aserraderos y principalmente explotaciones forestales, árboles de potrero y áreas con leña generada de forma natural que se recoge en campo.

Para determinar la generación eléctrica y la potencia por instalar a partir de la oferta de leña, se empleó la oferta de leña a partir de datos del Balance Energético Nacional de Costa Rica 2016-2021 del SEPSE.

4.2 Determinación de la energía eléctrica y potencia por instalar para la biomasa húmeda

Para determinar la potencia por instalar de cada biomasa, se calculó el volumen de biometano que se genera a partir de cada residuo generado. Para esto se emplearon propiedades fisicoquímicas de cada residuo como sólidos totales, sólidos volátiles, potencial de metano, y la demanda química de oxígeno (DQO). Los parámetros empleados se encuentran en la tabla A.2.1 de los Anexos. Luego se calculó el volumen de metano generado ($m^3/año$). Para obtener la energía eléctrica (GWh/año), se calculó la generación eléctrica empleando un factor de $9,97 \text{ kWh}/m^3 \text{ CH}_4$ y una eficiencia de generación del

28%. Finalmente, para determinar la potencia por instalar (MW) se dividió la energía eléctrica por la estacionalidad de acuerdo con el cultivo.

4.3 Determinación de la energía eléctrica y potencia por instalar para la biomasa seca

Para determinar la energía eléctrica y potencia por instalar a partir de la biomasa seca, se calculó primero la cantidad de residuo en base seca, empleando el contenido de humedad respectivo. Luego se calculó la energía eléctrica (GWh/año) empleando el poder calórico de dicho residuo y una eficiencia de generación del 20%. Para obtener la potencia por instalar (MW) se dividió la energía eléctrica por la estacionalidad del cultivo.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA Y POTENCIA POR INSTALAR A PARTIR DE BIOMASAS

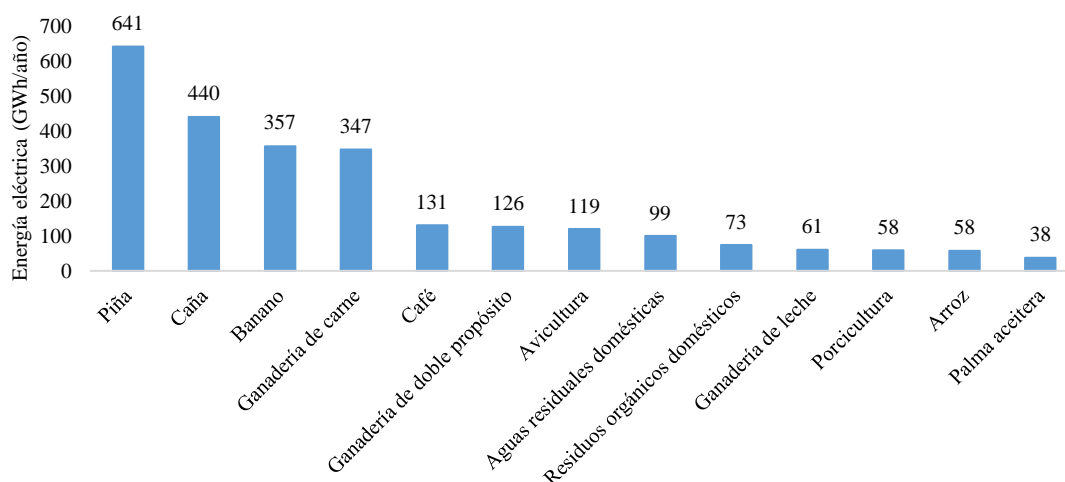
5.1 Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomosas húmedas

Los residuos húmedos que se generan en el país, si se aprovecharan su contenido energético mediante digestión anaerobia, producirían aproximadamente 672.467.575 m³/año de biometano. Este biometano se podría aprovechar para generar 2.548 GWh/año y una potencia por instalar de 440 MW anuales.

En la figura 5.1 se muestra la energía eléctrica por sector a partir de biomosas húmedas estudiadas.

Figura 5.1

Energía eléctrica por sector a partir de biogás proveniente de biomosas húmedas

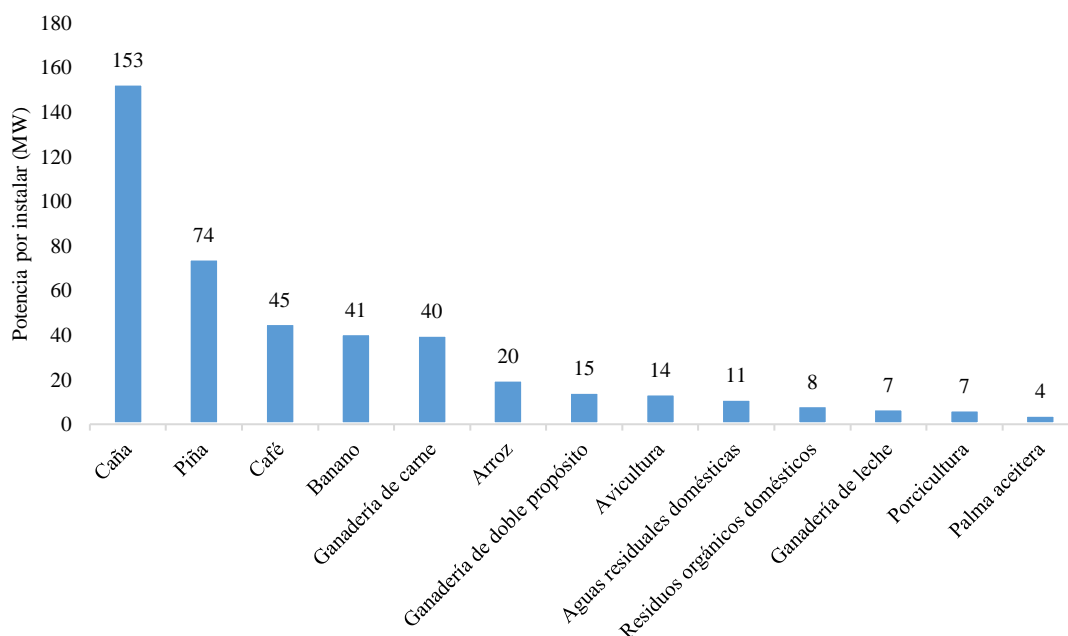


Como se puede observar el sector cuyos residuos húmedos podrían generar mayor energía eléctrica en el país es el sector piñero con 641 GWh/año. Esto se debe no solo al potencial de metano que tiene el rastrojo de piña, sino también a la estacionalidad anual con la que se genera este residuo. En segundo lugar, se encuentra el sector de la caña de azúcar con 440 GWh/año, principalmente debido al rastrojo de caña, el cual actualmente se utiliza para el mantenimiento de los caminos, pero el cual tiene un rendimiento de metano de 115,5 lCH₄/kg de rastrojo (Sánchez, Houbroun, et al. 2017). En tercer lugar, se encuentra el banano, con 357 GWh/año debido al residuo del vástago el cual tiene un potencial de generación de metano de 347,3/ t de sólidos volátiles.

En la figura 5.2 se muestra la potencia por instalar por sector de las biomásas húmedas existentes en el país.

Figura 5.2

Potencia por instalar por sector a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas

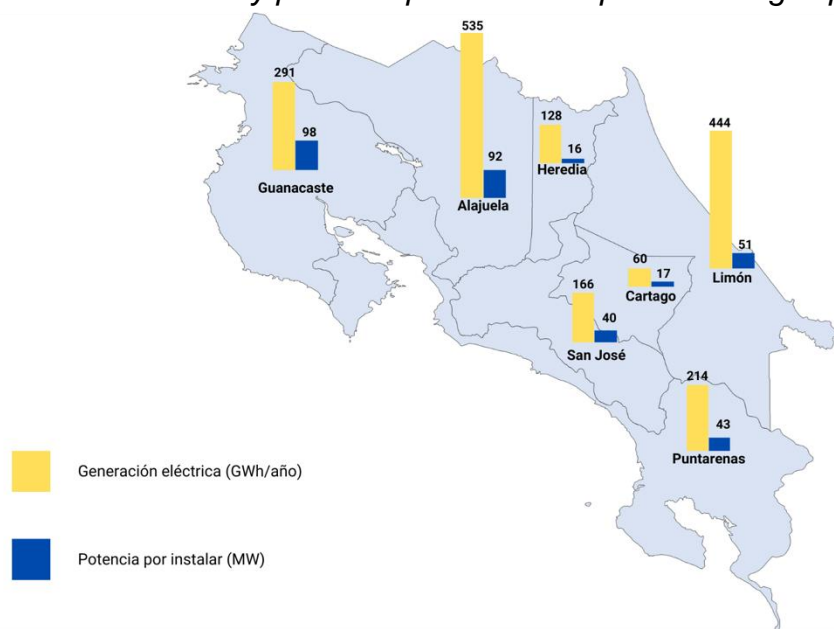


El sector de la caña de azúcar es quien tiene la mayor potencia por instalar con 153 MW. Es importante recalcar que esta potencia se generaría en época seca. A diferencia, la potencia por instalar del sector piñero es de 74 MW que estarían disponibles todo el año. El café tiene una potencia por instalar de 45 MW.

En la figura 5.3 se muestra tanto la generación eléctrica como la potencia por instalar por provincia. La provincia que tiene la mayor generación eléctrica es Alajuela con 535 GWh/año, seguido de Limón con 444 GWh/año y Guanacaste con 291 GWh/año. Sin embargo, la provincia de Guanacaste es la que tiene una mayor potencia por instalar con 98 MW disponibles en verano, seguido por Alajuela con 92 MW y Limón con 51 MW.

Figura 5.3

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás por provincia



Nota: No se incluyen sectores ganadería, avícola y porcicultura porque no existen datos por provincia.

5.1.1 Caña de azúcar

En el sector de caña de azúcar se estudiaron los residuos que se muestran en la tabla 5.1. El rastrojo de caña es aprovechable cuando la caña de azúcar se cosecha en verde, lo cual constituye una oportunidad para aprovechar este contenido energético para generación de biogás. Esto no se podría hacer cuando se cosecha tradicionalmente. La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso industrial de la producción de azúcar. De acuerdo con Chaves (1999), los componentes más finos de la caña son capturados en un cilindro rotatorio que hace pasar el jugo caliente a presión por una fina tela que recoge las partículas coloidales y residuos más finos, conformados por material vegetal y orgánico, suelo, restos de fertilizantes, material no azucarado, lo que da a lugar la torta de filtro o cachaza. La vinaza es un residuo final líquido proveniente de la producción de alcohol, y que constituye un grave problema ambiental por su gran contenido orgánico y por la elevada producción, ya que por cada litro de alcohol se obtienen 12 litros de vinazas como residuo (DIECA, 1985).

Tabla 5.1

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas del sector de caña de azúcar

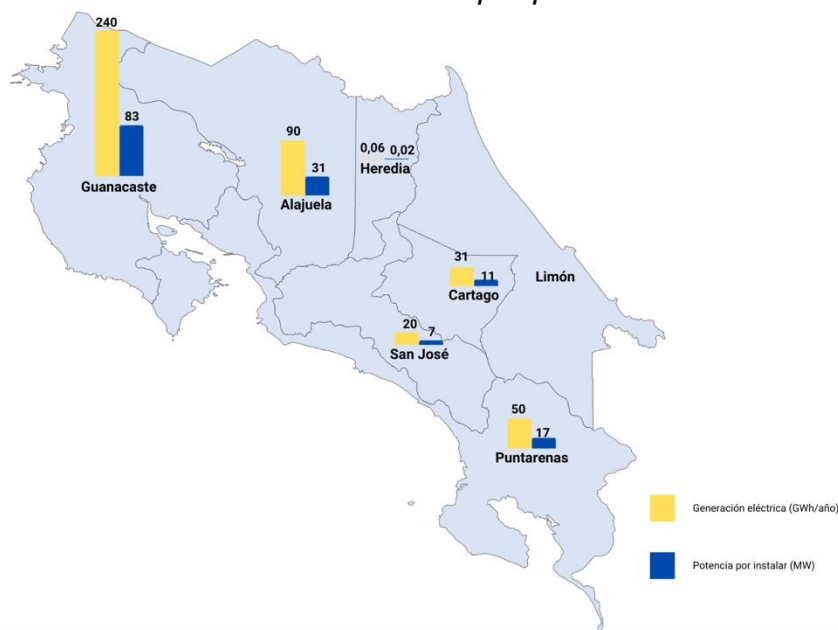
Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Rastrojo de caña	415	144
Cachaza	16	5
Vinaza	9	3
Total	440	153

Como se observa en la tabla, estos tres residuos tienen una potencia por instalar de 153 MW y una generación eléctrica de 440 GWh/año. Algo que es importante recalcar, es que estos residuos se generan en época seca, por lo que su aprovechamiento energético constituye una oportunidad para sustituir combustibles fósiles en la generación eléctrica por el biogás que producen estos residuos.

La ubicación geográfica de estos residuos, como se muestra en la figura 5.4 es principalmente en Guanacaste, donde se pueden instalar 83 MW en total para la generación eléctrica a partir de estos residuos húmedos, seguido de Alajuela con 31 MW.

Figura 5.4

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas del sector de caña de azúcar por provincia



5.1.2. Piña

Costa Rica es el principal exportador de piña fresca a nivel mundial. En el 2020 se produjo 2.938.334 t de piña (SEPSA, 2021). En la tabla 5.2 se muestran los residuos que se estudiaron. El rastrojo de piña es el principal residuo de descarte durante la cosecha y está constituida por la totalidad de la planta de piña, una vez que se descarta e inicia un nuevo ciclo de siembra (Hernández et al., 2018). La corona es la parte superior del fruto, y se estima que, por cada 60.000 plantas, se produce 13.500 kg de corona. Este residuo se genera principalmente durante el descorone, en las plantas empacadoras de piña de exportación.

Tabla 5.2

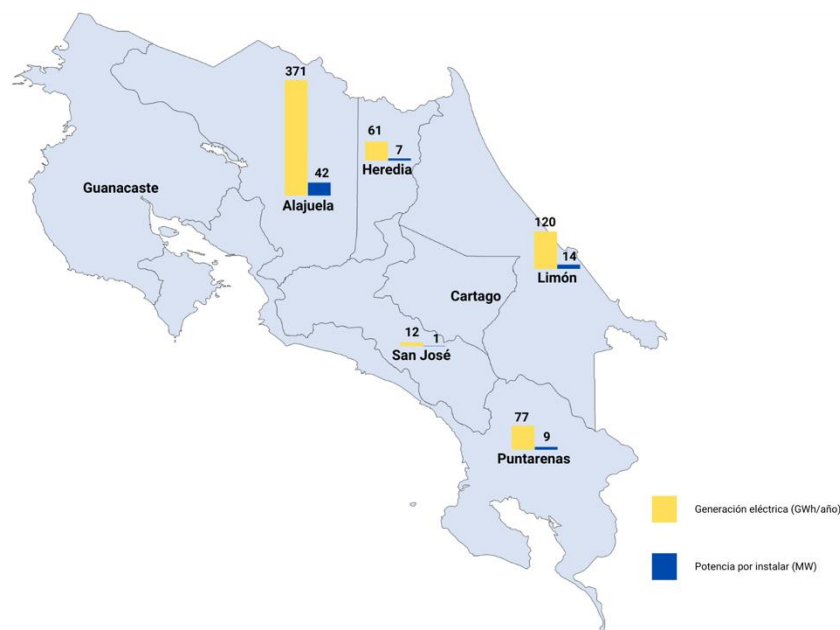
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomasa húmedas del sector de piña

Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Rastrojo de piña	641	74
Corona de piña	$9,35 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-4}$
Total	641	74

Como se observa en la tabla, el rastrojo de piña tiene la mayor potencia por instalar, 74 MW, y 641 GWh/año de generación eléctrica, mucho mayor que la corona. Debido no solo al rendimiento, sino también al gran contenido de sólidos volátiles que contiene el rastrojo de piña. En la figura 5.5, se muestra que es en Alajuela donde está la mayor generación eléctrica y potencia por instalar con 42 MW pues es donde se concentra la mayor producción de piña.

Figura 5.5

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas del sector de piña por provincia



5.1.3 Café

En el 2020, se cultivaron en el país 442.878 t de café. Durante el proceso del beneficiado del café, se identificaron tres tipos de residuos húmedos que se generan, los cuales se muestran en la tabla 5.3. Las aguas residuales o aguas mieles se generan durante el proceso de beneficiado y tienen un alto contenido de materia orgánica y acidez. La pulpa del café o broza se genera durante el proceso de despulpado del fruto del café y representa alrededor del 29% del peso del fruto entero. El mucílago o mesocarpio del fruto del café y se encuentra al despulpar el grano del café. Es una capa que recubre la semilla y representa el 20% del fruto en base húmeda.

Tabla 5.3

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas del sector cafetalero

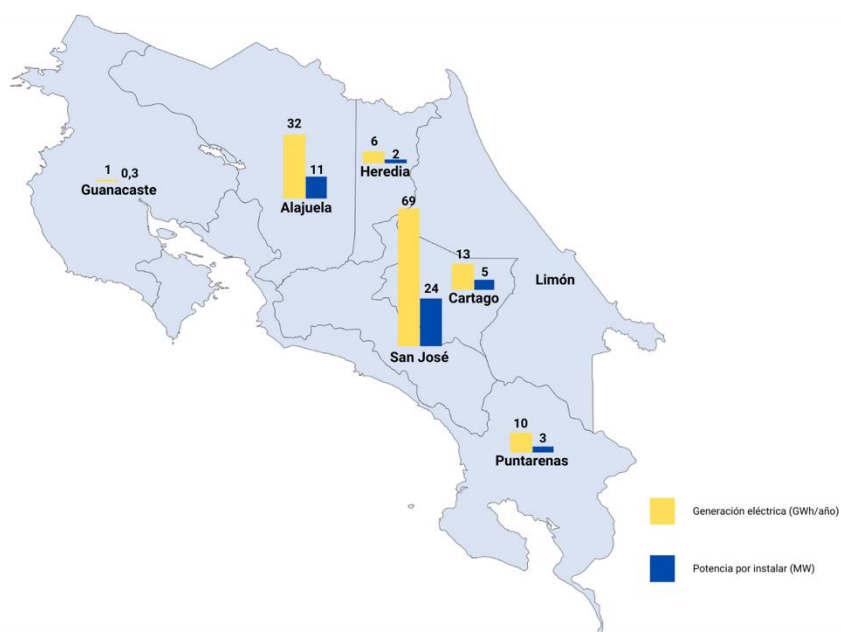
Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Aguas residuales del café	99	34
Pulpa	27	9
Mucílago	5	2

Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Total	131	45

Las aguas residuales constituyen el residuo que tiene la mayor potencia por instalar, 34 MW y mayor generación eléctrica con 99 GWh/año. Esto se debe a la gran carga orgánica de las aguas residuales las cuales rondan alrededor de 20.000 mg DQO/l. En la figura 5.6 se observa que la provincia de San José es donde se encuentra la mayor potencia por instalar, con 24 MW, ya que en Tarrazú es donde se concentra la mayor producción de café.

Figura 5.6

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas del sector cafetalero por provincia



5.1.4 Banano

Costa Rica es uno de los principales productores de banano comercial en el mundo, ya que ostenta una productividad promedio de 2.325 cajas por hectárea de acuerdo con Céspedes (2017). En el año 2020, se produjo 2.324.334 t de banano para exportación. Se identificó tres residuos húmedos, los cuales se muestran en la tabla 5.4. El vástago de banano es una biomasa lignocelulósica de bajo contenido en lignina que puede utilizarse para la producción de metano (Li et al., 2016). El banano de rechazo se produce cuando no cumplen con los estándares de exportación a cualquier mercado (Chacón et al., 2018). El pinzote

es la fracción de la planta de banano que soporta el conjunto de bananos y está constituido por fibras lignocelulósicas muy húmedas, se obtiene cuando se separan los frutos de los racimos.

Tabla 5.4

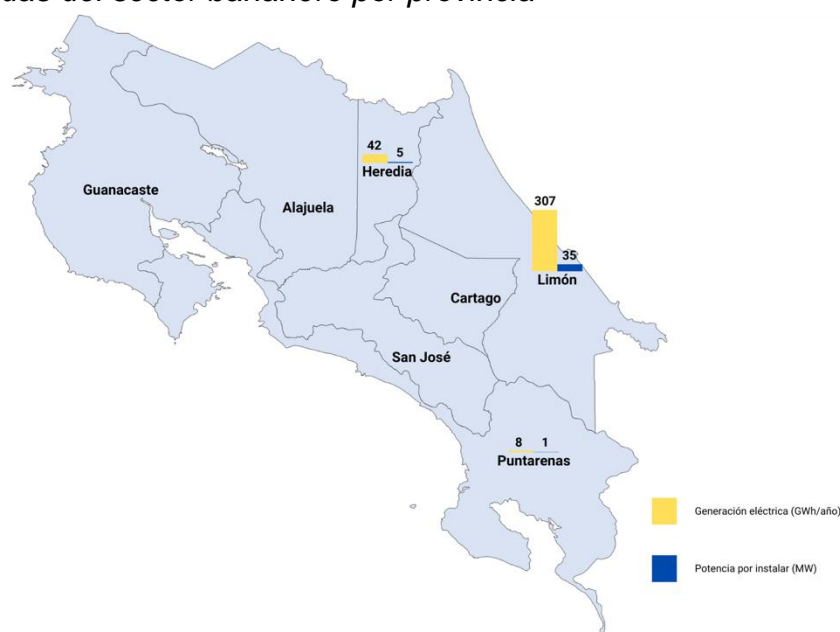
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomosas húmedas del sector bananero

Residuo	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Vástago de banano	313	36
Banano de rechazo	42	5
Pinzote de banano	2	1,77x10 ⁻¹
Total	357	41

El vástago de banano es el residuo con mayor generación eléctrica (313 GWh/año) y potencia por instalar (36 MW). Esto se debe no solo a la cantidad de vástago que se genera por banano cultivado, sino también al rendimiento de metano. En la figura 5.7 se observa que es en la provincia de Limón, donde existe la mayor potencia por instalar, 35 MW, ya que es donde se concentra la producción de banano en el país.

Figura 5.7

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomosas húmedas del sector bananero por provincia



5.1.5 Ganadería

La ganadería es una actividad muy importante para el país. Sin embargo, es una de las actividades que más metano genera. De acuerdo con el último Inventario Nacional de GEI, en el 2017 la emisión de CH₄ proveniente de bovinos totalizó 84,6 Gg, principalmente por la fermentación entérica del ganado.

El manejo del ganado que se practica en el país es un 89,4% de pastoreo, solo un 8,7% semi estabulado y 1,9% estabulado (Chacón et al., 2015). Esto hace que el estiércol bovino sea difícil de recuperar para su digestión anaerobia ya que este queda distribuido en los campos de pastoreo. Además, en los últimos años, entre los productores de leche se ha incrementado la práctica de distribuir los purines mediante fertirriego (IMN, 2015).

Como se puede observar en la tabla 5.5 la mayor energía eléctrica y potencia por instalar en el sector ganadero proviene de la ganadería de carne, con 40 MW, seguido por doble propósito con 15 MW (tabla 5.6), y ganadería de leche con 7 MW (tabla 5.7). Esto se debe a la cantidad de animales estrictamente. Es importante recalcar la importancia de contar con información desglosada a nivel geográfico para poder identificar la provincia donde existe la mayor potencia por instalar.

Tabla 5.5

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de estiércol de ganado de carne

Edad	Cantidad de animales (animales/año)	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Menores de 1 año	212.511	36,67	4,24
De 1 a menos de 2 años	247.003	85,25	9,87
De 2 años y más	434.337	224,87	26,03
Total	893.851	346,80	40,14

Tabla 5.6

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de estiércol de ganado de doble propósito

Edad	Cantidad de animales (animales/año)	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Menores de 1 año	89.059,00	15,37	1,78
De 1 a menos de 2 años	69.240,00	23,90	2,77
De 2 años y más	166.935,00	86,43	10,00
Total	325.234	125,70	14,55

Tabla 5.7

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de estiércol de ganado de leche

Edad	Cantidad de animales (animales/año)	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Menores de 1 año	39.302	4,75	0,55
De 1 a menos de 2 años	38.256	9,24	1,07
De 2 años y más	129.484	46,93	5,43
Total	207.042	60,92	7,05

5.1.6 Arroz

En el año 2020, el país produjo 146.571 t de arroz granza. El principal residuo que se genera es el rastrojo de arroz, el cual tiene un alto contenido lignocelulósico, se produce durante la cosecha, y constituye un problema ambiental para los agricultores ya que genera emisiones de CO₂ y metano. La solución hasta el momento ha sido quemar los rastrojos o dejar que se descompongan en el suelo. En la tabla 5.8 se puede observar que existe una potencia por instalar de 20 MW y una generación eléctrica de 58 GWh/año si se procesa dicho rastrojo mediante digestión anaerobia.

Tabla 5.8

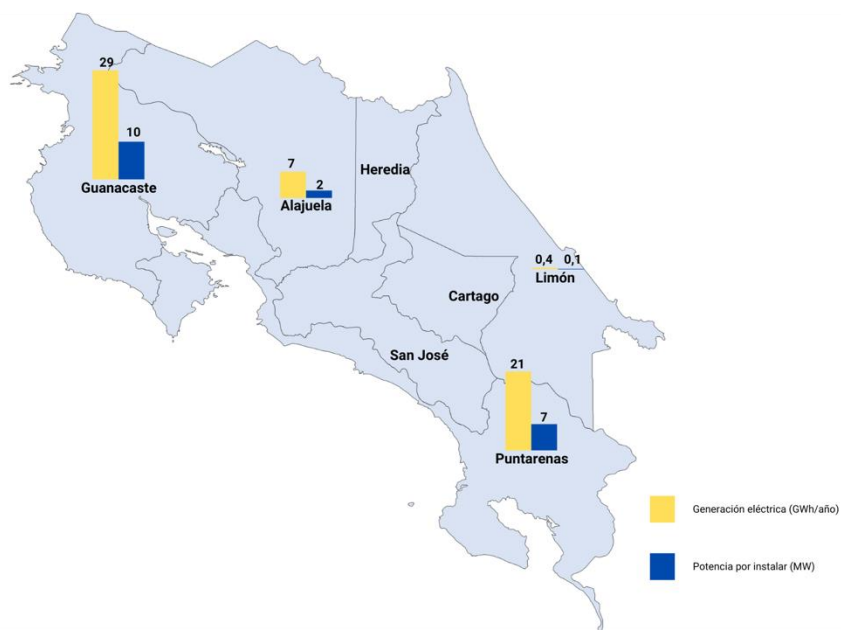
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomasa húmedas del sector arrocero

Residuo	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Rastrojo de arroz	58	20

En la figura 5.8 se muestra que la principal provincia donde se encuentra esa mayor potencia por instalar es en Guanacaste con 10 MW, seguido por Puntarenas con 7 MW.

Figura 5.8

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas del sector arrocero por provincia



5.1.7 Avicultura

En la avicultura se analizaron las excretas provenientes de las gallinas para la comercialización de huevo y los pollos de engorde. En la tabla 5.9 se puede observar la generación eléctrica y potencia por instalar para cada tipo de actividad.

Tabla 5.9

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de estiércol de aves de corral

Actividad	Cantidad de aves	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Carne	82.800.000	109,92	12,72
Huevo	4.750.000	9,46	1,09
Total	87.550.000	119,38	13,82

La avicultura tiene una potencia por instalar de 14 MW de los cuales 13 MW provienen de la avicultura para carne, mientras que la de huevo es 1 MW.

5.1.8 Aguas residuales domésticas

El saneamiento de las aguas residuales sigue siendo uno de los principales desafíos del país. El tanque séptico sigue siendo la alternativa más utilizada en Costa Rica, pese a ser un método básico y no efectivo en todas las zonas (Estado Nación, 2022), esto hace que sea difícil su empleo para la producción de biogás. Lo ideal sería incorporar el proceso de digestión anaerobia en una planta de tratamiento de aguas residuales, donde los lodos que contienen material orgánico sean empleados para producción de biogás.

Como se puede observar en la tabla 5.10 la energía eléctrica que se podría generar a partir de las aguas residuales es de 99 GWh/año, y la potencia por instalar de 11 MW.

Tabla 5.10

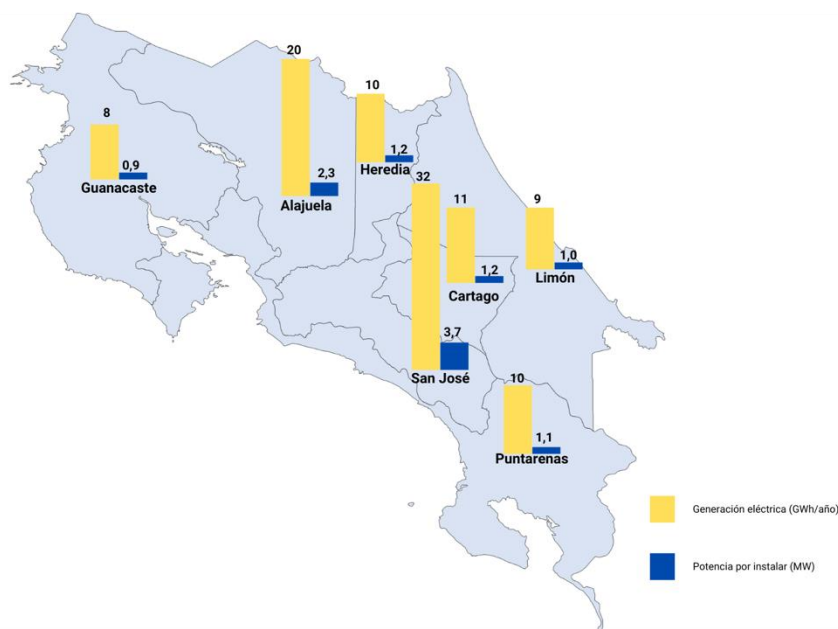
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de aguas residuales domésticas

Residuo	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Aguas residuales domésticas	99	11

En la figura 5.9 se observa que la provincia de San José es donde está la mayor potencia por instalar con aproximadamente 4 MW seguido por Alajuela con 2 MW.

Figura 5.9

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de aguas residuales domésticas por provincia



5.1.9 Residuos orgánicos de origen doméstico

Los residuos de origen doméstico contienen una importante fracción orgánica que puede ser aprovechada para la producción de biogás. De acuerdo con el Ministerio de Salud (2016), alrededor del 55% de los residuos que se generan corresponden a material orgánico. Tomando en cuenta la cantidad de habitantes, se estima que los residuos orgánicos pueden generar 73 GWh/año de energía eléctrica, y una potencia por instalar de 8 MW, tal como se muestra en la tabla 5.11.

Tabla 5.11

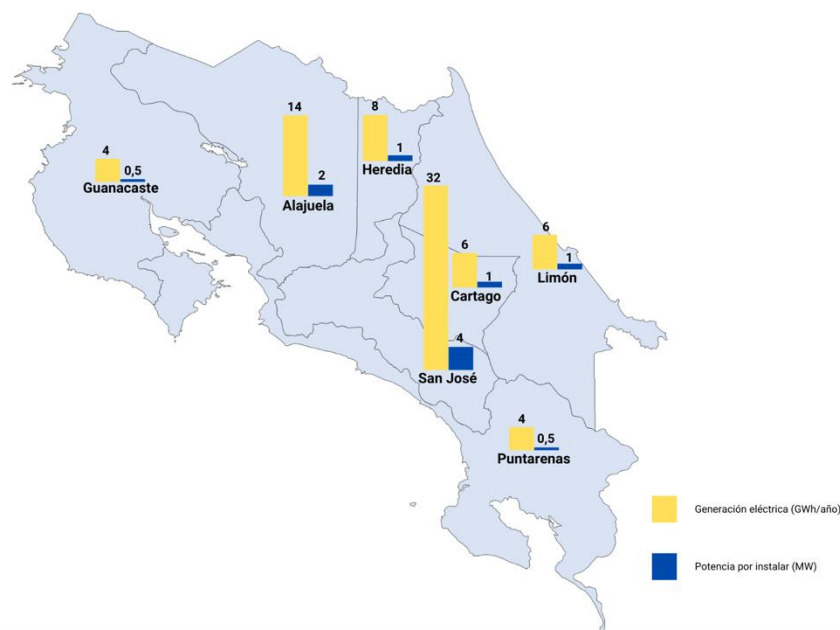
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de residuos orgánicos domésticos

Residuo	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Residuos orgánicos domésticos	73	8

Al observar geográficamente por provincia, la mayor generación eléctrica y potencia por instalar es en la provincia de San José, con 32 GWh/año y una potencia por instalar de 4 MW. En segundo lugar, está la provincia de Alajuela con 14 GWh/año y 2 MW.

Figura 5.10

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de residuos orgánicos domésticos por provincia



5.1.10 Porcicultura

En la actividad de porcicultura se identificó el residuo de estiércol proveniente de los cerdos. Este residuo constituye un problema ambiental para empresas porcicultoras por la eliminación diaria que se debe hacer de los efluentes residuales compuestos por estiércol, orina, alimento desperdiciado, agua de limpieza, etc. Esto genera problemas como contaminación de los suelos y fuentes acuíferas, y contaminación atmosférica por los gases de efecto invernadero.

En la tabla 5.2 se encuentran datos de energía eléctrica y potencia por instalar de acuerdo con la fase productiva. Se emplearon datos totales, ya que no se contó con la información desglosada por provincia.

Tabla 5.12

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de estiércol proveniente de porcicultura en el año 2020

Fase productiva	Cantidad de animales (animales/año)	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Lactancia	73.327	5	0,608
Inicio	106.907	13	1,462
Desarrollo	102.956	21	2,428

Engorde	68.454	19	2,219
Total	351.644	58,04	6,718

Como se puede observar, la porcicultura tiene una potencia por instalar de 7 MW y podría generar en total 58 GWh/año.

5.1.11 Palma aceitera

La palma aceitera se emplea para la producción de aceite vegetal. El proceso consiste en extraer el aceite de la fruta. Durante la extracción, se produce un efluente con un alto contenido de materia orgánica. En la tabla 5.13 se puede observar que estas aguas residuales tienen una energía eléctrica de 39 GWh/año y existe una potencia por instalar de 4MW.

Tabla 5.13

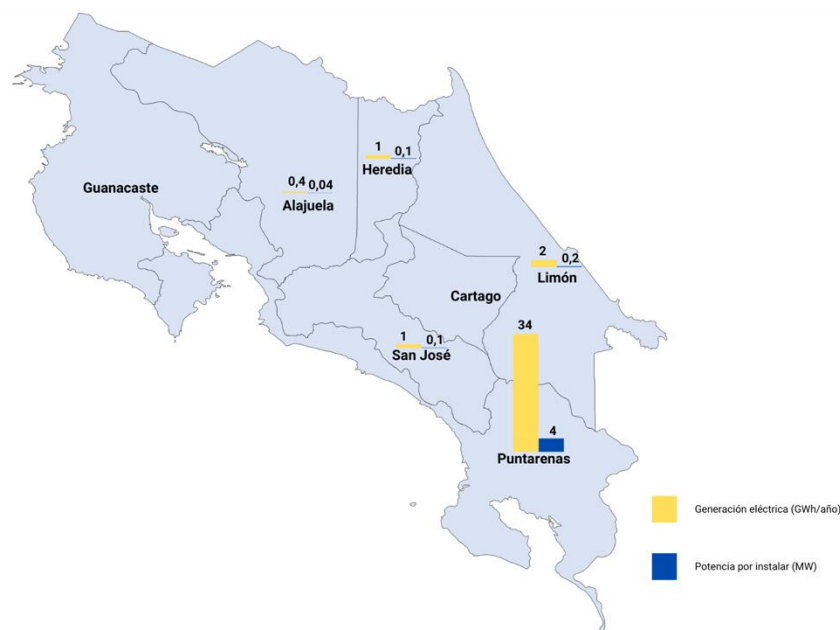
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente del sector de palma aceitera

Residuo	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Aguas residuales de la palma	38	4

En la figura 5.11 se observa que la provincia de Puntarenas es donde se concentra la potencia por instalar, ya que es donde se encuentra la mayor producción de palma aceitera en el país.

Figura 5.11

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente del sector de palma aceitera por provincia



5.2 Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomazas secas

Los procesos termoquímicos son aquellos que transforman la biomasa seca, en determinadas condiciones de presión y temperatura, para obtener productos sólidos, líquidos o gaseosos, generalmente mediante reacciones exotérmicas. Estos productos serán diferentes según el tipo de técnica aplicada.

En el estudio que se realizó de la biomasa seca en Costa Rica, se identificaron seis sectores agroindustriales que generan residuos para utilizar en procesos termoquímicos, y que, como premisa establecida para este estudio, tienen contenidos de humedad iguales o menores al 50%, por lo que la estimación del potencial energético bruto será expresada en base seca.

Tal como se refleja en las Figuras 5.12 y 5.13, el sector de la caña de azúcar es el que lidera el potencial tanto de la energía eléctrica (GWh/año) que se puede obtener; así como la potencia por instalar (MW). Seguidos por los sectores de la palma aceitera, el sector de los aserraderos, el sector arrocero, el sector cafetalero y la oferta de la leña, respectivamente.

Figura 5.12
Energía eléctrica por sector a partir de biomásas secas (GWh/año)

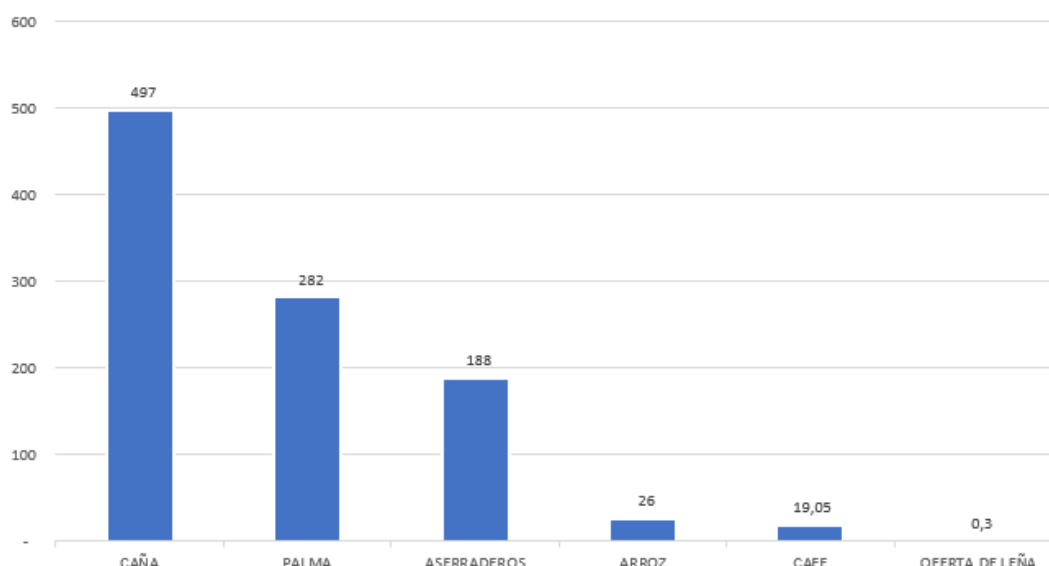
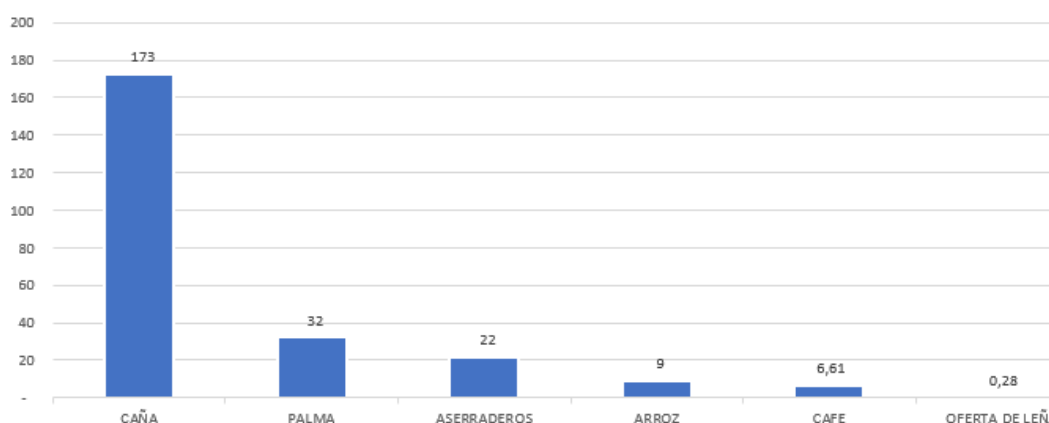


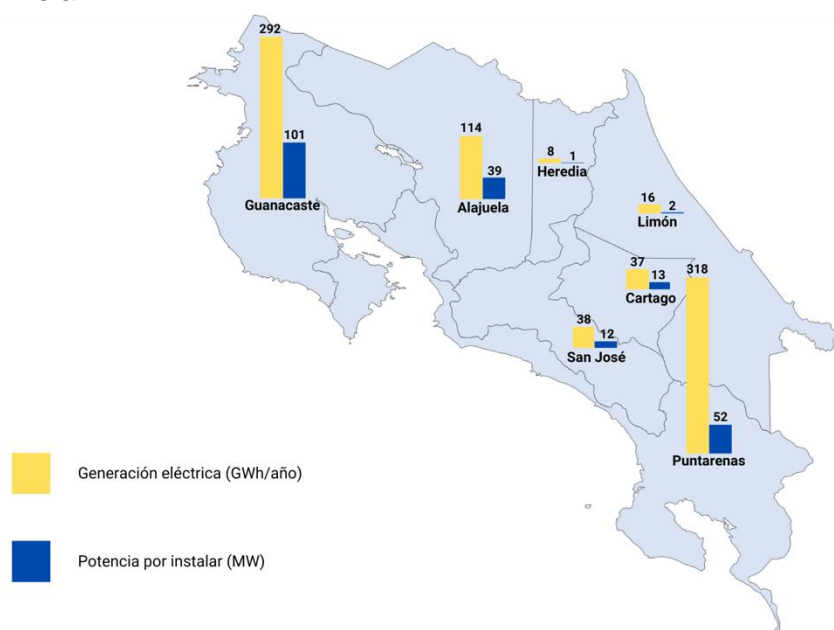
Figura 5.13
Potencia por instalar por sector a partir de biomásas secas (MW)



Al analizar los datos de generación eléctrica y potencia por instalar por provincia, se evidencia como las provincias de Puntarenas, Guanacaste y Alajuela, son las que cuentan con mayor capacidad para proporcionar insumos de biomasa seca, que puedan incorporarse en la matriz energética de Costa Rica. Estos datos se explican claramente, porque en estas provincias se ubican cantones con extensiones muy importantes dedicadas a cultivos de caña de azúcar, palma aceitera y arroz. La figura 5.14, muestra los resultados de generación eléctrica y potencia por instalar a nivel nacional.

Figura 5.14

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca por provincia



Nota: No se incluyen sectores de los aserraderos ni oferta de leña, ya que los datos que se obtuvieron a nivel nacional no están georreferenciados.

5.2.1 Caña de azúcar

Como insumo de biomasa seca, se obtiene el bagazo, que es el residuo que se genera en los ingenios en el proceso de molienda y extracción del azúcar (como jugo) de la caña cosechada. Es un material fibroso con un alto contenido de humedad (50%), lignocelulósico, y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 17,50 GJ/t.

El principal uso del bagazo es energético (99%), principalmente, para autoconsumo en la producción de calor de proceso (calor de evaporación y cristalización del azúcar) y energía eléctrica (operación de los ingenios). Los ingenios más grandes tienen la escala para realizar operaciones adicionales de producción y destilación de alcohol, las cuales, requieren más energía térmica y eléctrica.

Tal como se muestra en la Tabla 5.14, durante la cosecha 2020, para la producción de caña de azúcar (4.092.123 t) y en el rendimiento para el bagazo y humedad, la estimación de la oferta de bagazo y su potencial energético bruto

sobre PCS (en base seca), se estima la generación eléctrica y la potencia por instalar con este residuo en particular, a nivel nacional.

Tabla 5.14

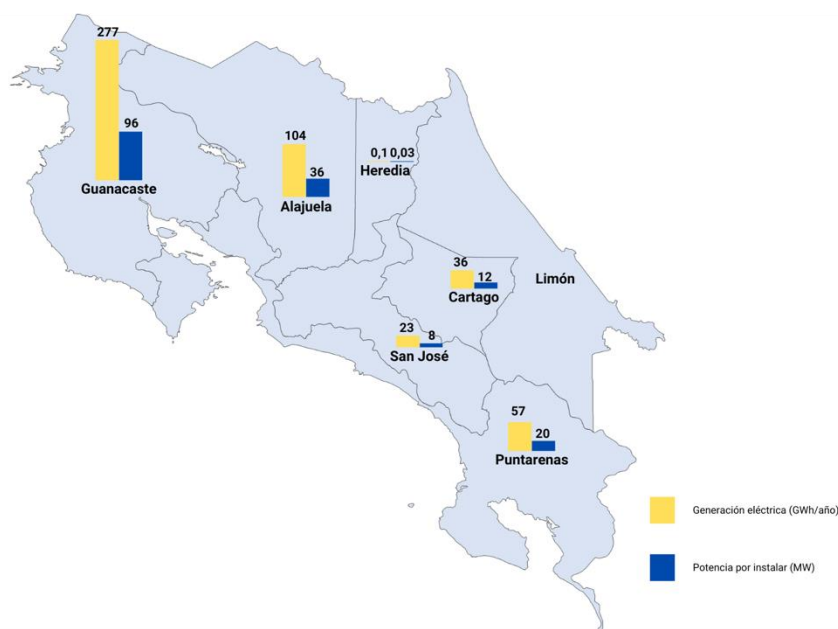
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector de caña de azúcar

Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Bagazo	497	173

La Figura 5.15, muestra la distribución por provincia de la Generación eléctrica (GWh/año) y de la potencia por instalar (MW), que se obtendría con la oferta del bagazo a nivel provincial. Guanacaste es la provincia con mayor potencial, seguido de Alajuela y Puntarenas.

Figura 5.15

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector de caña de azúcar por provincia



5.2.2 Palma aceitera

De la industrialización de la palma, se obtienen tres tipos de biomasa seca principales: fibra de pinzote, fibra de mesocarpio y cascarilla de coquito.

La fibra de pinzote es un residuo que se obtiene al separar los frutos de los racimos. Es un material muy fibroso y aceitoso (lignocelulósico) con alto

contenido de humedad (55%) y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 18,62 GJ/t.

La fibra del mesocarpio, que se obtiene durante la extracción del aceite de palma, es un material de tipo lignocelulósico, con alto contenido de aceite y, presenta un importante potencial energético. Esta biomasa incluye la cáscara y la fibra que rodea al coquito de la fruta. Posee un alto contenido de humedad (37%) y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 19,43 GJ/t.

La semilla del fruto se conoce como coquito y su cáscara se ha utilizado como combustible en diferentes aplicaciones como la industria cementera o refinación de aceite desde hace varias décadas. La cascarilla de coquito tiene un bajo contenido de humedad (17%) y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 22,94 GJ/t.

De acuerdo con la Tabla 5.15, durante la cosecha 2020, para la cantidad de FFB (por sus siglas en inglés: Fresh Fruit Bunchen: Fruta Fresca en racimo) de 1.156.000 t y de acuerdo con el rendimiento para estos residuos y sus porcentajes de humedad, la estimación de la oferta para cada uno y su potencial energético bruto sobre PCS (en base seca), se estima la generación eléctrica y la potencia por instalar con estos residuos en particular, a nivel nacional.

Tabla 5.15

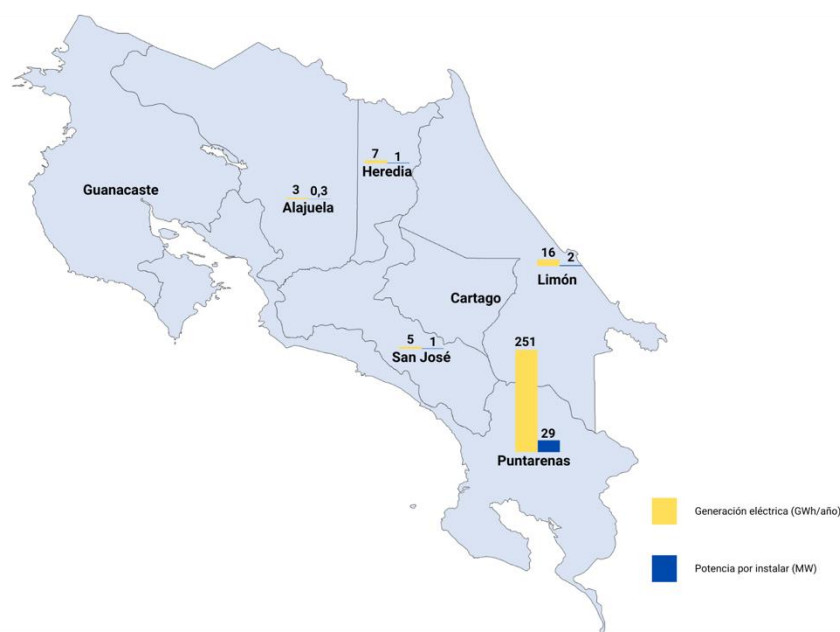
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector de la palma aceitera

Residuo	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Fibra de pinzote	118	14
Fibra de mesocarpio	102	12
Cascarilla de coquito	61	7
Total	282	33

La Figura 5.16, muestra la distribución por provincia de la generación eléctrica (GWh/año) y la potencia por instalar (MW), que se obtendría con la oferta de la biomasa seca proveniente de la palma aceitera a nivel provincial. Puntarenas es la provincia con mayor potencial.

Figura 5.16

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector de palma aceitera por provincia



5.2.3 Aserraderos

Los aserraderos representan una actividad importante como oferente de biomasa de uso energético y en la creación de mercados para otros tipos de usos. De acuerdo con las estadísticas oficiales, para el año 2020 la actividad de procesamiento de la madera aserró 814.731 metros cúbicos de madera en rollo (m³-r) (Oficina Nacional Forestal, 2021), De ese volumen, 627.962 m³-r (77,1%) provienen de plantaciones forestales, 151.679 m³-r (18,6%) de terrenos de uso agropecuario y 35.061 m³-r (4,3%) de bosques.

En el proceso de industrialización de madera se generan diferentes tipos de biomasa debido al proceso mecánico a la que es sometida la madera. Para este estudio se ha agrupado la biomasa residual en tres tipos; el aserrín, la burucha y la leña.

La leña se obtiene durante el proceso de aserrío de la madera. Corresponde a piezas de madera larga o corta, que pueden tener secciones de corteza o no, que no cumplen con las especificaciones y estándares de tamaño y calidad de la demanda de madera o algún otro uso posible, por lo que se convierte en un residuo. Tiene un contenido de humedad de 50% y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 18,50 GJ/t.

El aserrín se obtiene del proceso de aserrío y recanteado, y se genera por la acción de las sierras al cortar. Es un material granular, fino respecto a los otros materiales generados como biomasa en el proceso de aserrío, y suele mezclarse con un material más fino y seco, de procesos de lijado. Con un bajo contenido de humedad (32%) y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 18,50 GJ/t.

La burucha, también conocida como virutas, son rollitos o colochos de madera resultado del desbaste y cepillado de la madera. Las cantidades son bastante menores que las de los otros dos materiales de aserraderos, y es más homogéneo. También, con un bajo contenido de humedad (32%) y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 18,50 GJ/t.

De acuerdo con la Tabla 5.16, del procesamiento de madera en aserraderos para el 2020 (814.731 metros cúbicos de madera en rollo m³-r), y de acuerdo con el rendimiento para estos residuos y sus porcentajes de humedad, la estimación de la oferta para cada uno y su potencial energético bruto sobre PCS (en base seca), se estima la generación eléctrica y la potencia por instalar con estos residuos en particular, a nivel nacional.

Tabla 5.16

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente de residuos de aserraderos

Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Leña de aserraderos	111	13
Aserrín	56	7
Burucha	21	2
Total	188	22

5.2.4 Arroz

De las anteriores biomásas, solo el rastrojo se genera en el campo, las demás se producen en las industrias. La cascarilla de arroz se genera en el pilado del producto en granza y es de contenido de humedad bajo porque el grano en granza se seca primero antes del pilado, usualmente con energía a partir de la misma cascarilla, es un material fibroso, abrasivo y de alto contenido

de ceniza. Tiene un contenido de humedad del 13% y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 15,43 GJ/t.

Tal como se muestra en la Tabla 5.17, durante la cosecha 2020, para la producción e importación de arroz (292.162 t) y en el rendimiento y humedad, la estimación de la oferta de cascarilla y su potencial energético bruto sobre PCS (en base seca), se estima la generación eléctrica y la potencia por instalar con este residuo en particular, a nivel nacional.

Tabla 5.17

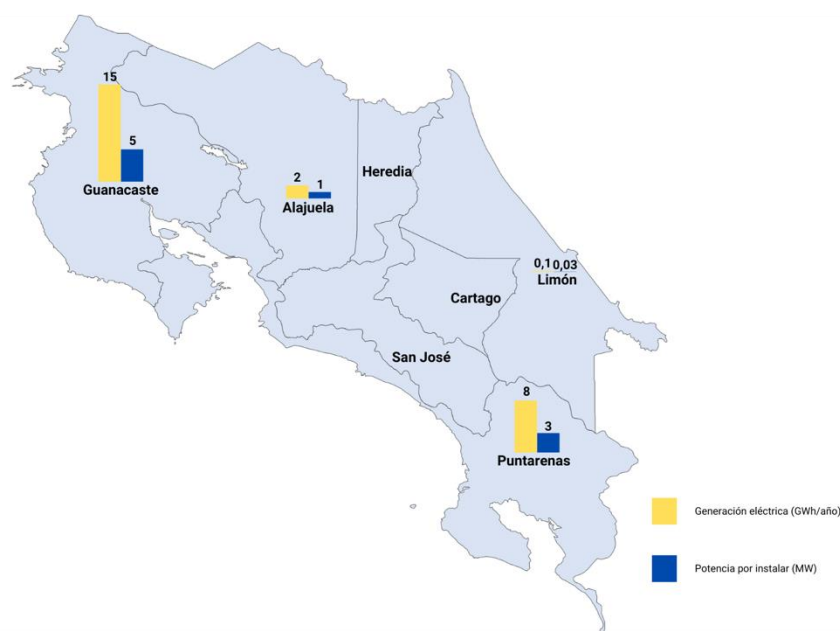
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector de arrozero

Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Cascarilla de arroz	26	9

La Figura 5.17, muestra la distribución por provincia de la generación eléctrica (GWh/año) y la potencia por instalar (MW), que se obtendría con la oferta de la cascarilla de arroz a nivel provincial. Guanacaste es la provincia con mayor potencial, seguido de Puntarenas y Alajuela.

Figura 5.17

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector arrozero por provincia



5.2.5 Café

La cascarilla es el residuo del café, que puede utilizarse en procesos termoquímicos.

La cascarilla de café es el tercer tejido alrededor del grano de café y se obtiene en el proceso de despergamino/pelado o trilla del café. Al secar el grano de café, el pergamino se separa del grano oro y es allí, donde se puede “pelar” la cascarilla o pergamino. Es un subproducto con buenas propiedades combustibles, principalmente, por tener un contenido de humedad bajo, el mismo contenido de humedad del café seco. Tiene un contenido de humedad del 11% y un Poder Calórico Superior (PCS) en base seca de 17,93 GJ/t.

Tal como se muestra en la Tabla 5.18, durante la cosecha 2020, para la producción de café (499.625 t) y en el rendimiento y humedad, la estimación de la oferta de cascarilla y su potencial energético bruto sobre PCS (en base seca), se estima la generación eléctrica y la potencia por instalar con este residuo en particular, a nivel nacional.

Tabla 5.18

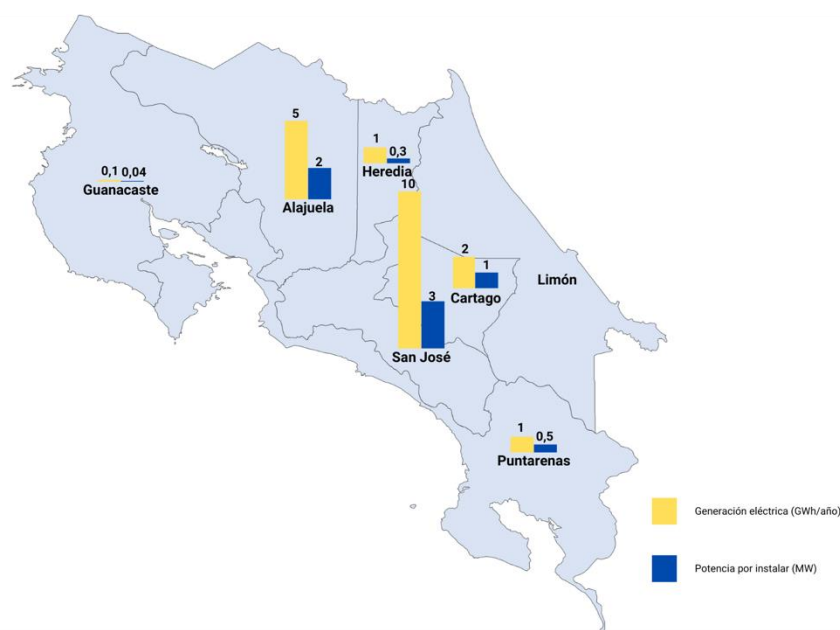
Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector de cafetalero

Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Cascarilla de café	19	7

La Figura 5.18, muestra la distribución por provincia de la generación eléctrica (GWh/año) y la potencia por instalar (MW), que se obtendría con la oferta de la cascarilla de café a nivel provincial. San José es la provincia con mayor potencial, seguido de Alajuela y Cartago.

Figura 5.18

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente del sector cafetalero por provincia



5.2.6 Oferta de leña

No hay registros accesibles, que puedan utilizarse para estimar la oferta de leña, desde la caracterización de un generador y su producción. Para valorar la oferta y consumo, no se puede ubicar a los generadores de forma práctica en el espacio y tiempo, razón por la cual, la leña se ha estimado desde el punto de vista de su consumo y transformación.

Es por lo anterior, que, para ubicar la leña en el inventario de biomasa, se ha utilizado la información de oferta del Balance de Energía 2020, la cual se ha actualizado a partir de las encuestas más recientes de consumo energético en los sectores Comercial, Industrial y, principalmente, residencial (Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) & Secretaría Ejecutiva de Planificación del Subsector Energía), 2020).

La Tabla 5.19 es una referencia sobre el potencial de energía bruta de leña en el país. El valor identificado es 5.080 TJ/año.

Tabla 5.19

Balance de energía para la leña, 2020

Oferta interna (TJ/año)	5.080
Carboneras (transformación)	-67
Consumo final total	5.013
Consumo final (no energético)	0
Consumo final (energético) (TJ/año)	5.013
Residencial	2.816
Servicios	214
Industrias	
1. Producción de alimentos y tabaco (CIIU 31)	1.485
2. Producción de textiles y cuero (CIIU 32)	0
3. Producción de madera (CIIU 33)	1
4. Producción de papel (CIIU 34)	0
5. Producción de químicos (CIIU 35)	160
6. Fabricación de productos minerales no metálicos (CIIU 36)	337
7. Otras industrias (CIIU 37-39)	0
Agropecuario	0

Tal como se muestra en la Tabla 5.20, del balance de energía para la leña del 2020, se estima la generación eléctrica y la potencia por instalar con este residuo en particular, a nivel nacional.

Tabla 5.20

Generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biomasa seca proveniente de oferta de leña

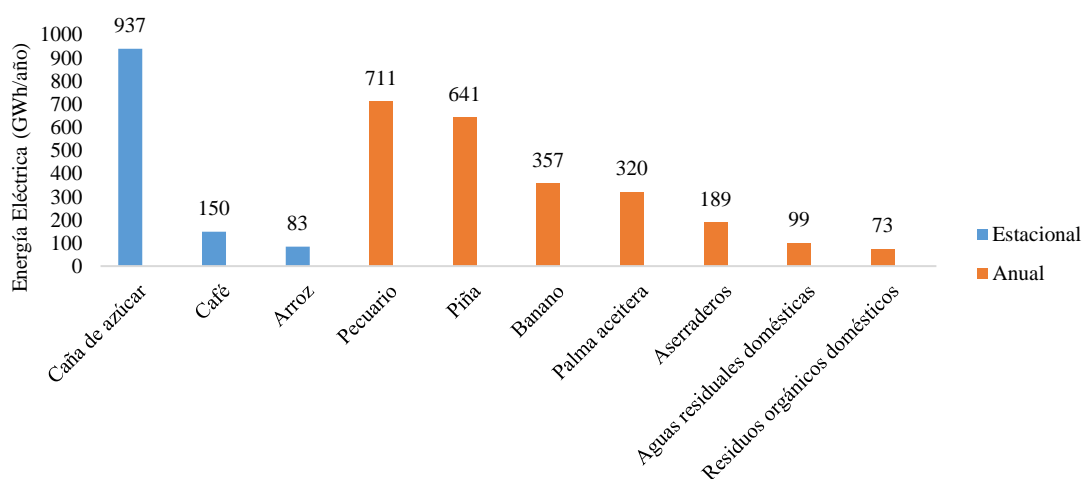
Residuo	Generación eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
Oferta de leña	0,3	0,28

5.3 Resultados del potencial energético

Costa Rica tiene un potencial de recursos biomásicos que se pueden emplear para la generación eléctrica, con el fin de sustituir los combustibles fósiles que se emplean y así aumentar la participación de la biomasa en la matriz eléctrica del país. En la figura 5.19 se observa la generación eléctrica por sector y estacionalidad a partir de las biomásas estudiadas.

Figura 5.19

Generación eléctrica por sector a partir de las biomosas estudiadas en el año 2020

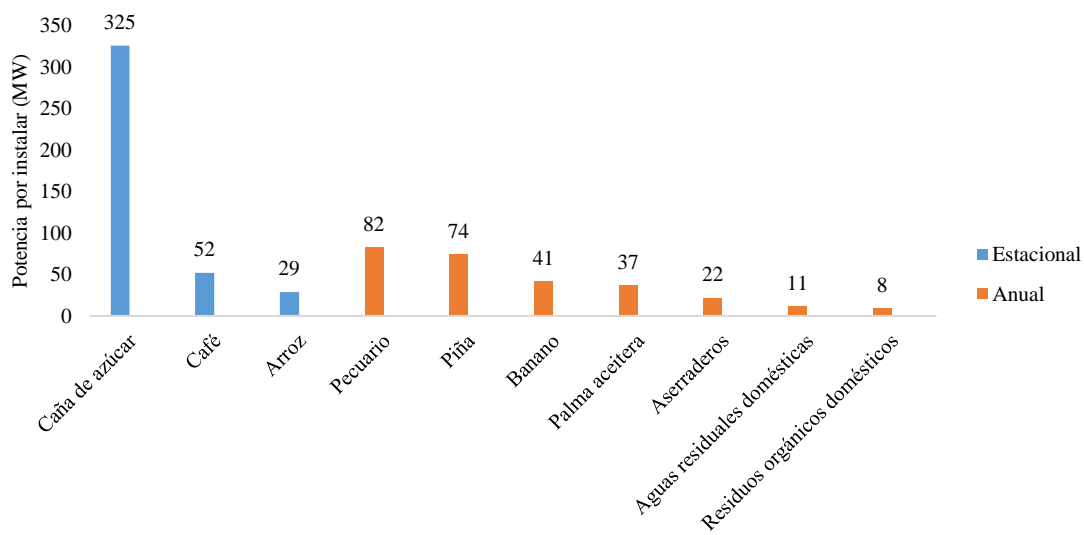


Se puede generar anualmente 3.560 GWh/año, de los cuales 1.1170 GWh/año se podrían generar en verano, es decir un 33% que provienen de los sectores caña de azúcar, café y arroz. Mientras los restantes 2.390 GWh/año están disponibles todo el año.

Con respecto a la potencia por instalar, el país en total tiene una potencia por instalar a partir de biomosas residuales de 683 MW. De los cuales 406 MW provienen de cultivos estacionales de caña de azúcar, café y arroz, como se muestra en la figura 5.20. Esto significa que un 59% aproximadamente de la potencia por instalar está disponible en verano. El restante 41% está disponible todo el año.

Figura 5.20

Potencia por instalar por sector a partir de las biomásas estudiadas en el año 2020



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los residuos biomásicos que se generan en Costa Rica podrían generar 3.560 GWh/año de energía eléctrica y tiene una potencia por instalar de 683 MW anuales. Estos datos incluyen residuos de biomasa disponibles y otros que ya tienen usos energéticos.
- De la energía eléctrica, el 33% (1.1170 GWh/año) es estacional a partir de caña de azúcar, café y arroz. El restante (2.390 GWh/año) es biomasa que está disponible todo el año.
- El 59% de la potencia por instalar (406 MW) es estacional, a partir de caña de azúcar, café y arroz. El 41% restante (276 MW) proviene de biomasa disponible todo el año.
- Si se aprovecharan las biomásas húmedas con fines de generación eléctrica, se podría generar 2.548 GWh/año principalmente de la piña, caña, y banano. Alajuela sería la provincia donde se ubica la mayor generación eléctrica porque es donde se concentra la producción de piña. El rastrojo de piña sería el residuo que podría generar más electricidad con 641 GWh/año.
- La biomasa húmeda tiene una potencia por instalar de 440 MW proveniente principalmente de caña, piña y café. La provincia donde se ubica la mayor potencia por instalar es en Guanacaste porque es donde se concentra la producción de caña de azúcar. El rastrojo de caña es el residuo que tiene mayor potencia por instalar, con 144 MW.
- Si se aprovechara la biomasa seca para generación eléctrica, se podría producir 1.012 GWh/año, proveniente principalmente de la caña de azúcar y palma aceitera. Guanacaste sería la provincia donde se ubica la mayor generación eléctrica porque es donde se concentra la producción de caña. El bagazo es el residuo que podría generar mayor electricidad con 497 GWh/año.
- La biomasa seca tiene una potencia por instalar de 242 MW provenientes principalmente de los sectores de caña de azúcar, palma aceitera y

aserraderos. Guanacaste es donde se concentra la mayor potencia por instalar, debido al residuo de bagazo proveniente de la caña.

- Existe una limitación en los datos disponibles de los sectores pecuario, oferta de leña y aserraderos. Por lo que los resultados obtenidos no se pudieron georreferenciar; y posiblemente esta situación influye en resultados menos precisos.

6.2 Recomendaciones

- Los esfuerzos para aumentar la participación de la biomasa en la matriz eléctrica deben dirigirse en el aprovechamiento del bagazo, el rastrojo de caña y el rastrojo de piña que correspondería a un aprovechamiento del 57% de la potencia por instalar total en verano (391 MW). El resto de los meses podría incorporarse además del rastrojo de piña, vástago de banano y residuos de aserraderos que correspondería a un 56% de la potencia por instalar del resto de los meses del año (291 MW).

A nivel de mejoramiento metodológico del estudio:

- Mejorar la calidad de los datos, incorporando datos de producción y cantidades de animales por región, provincia, cantón y distrito. Contar con estos datos por mes es importante para mejorar el estudio porque así se puede precisar mejor la disponibilidad de biomasa en tiempo y espacio. En esto hace un gran esfuerzo SEPSA con el Boletín Estadístico Agropecuario, la herramienta MOCUPP desarrollada por el MINAE, el INEC, así como algunas Cámaras que agremian a la industria agropecuaria. Contar con la mejor información sobre potencia por instalar en el transcurso de tiempo y espacio permitiría tomar mejores decisiones sobre cuáles proyectos de aprovechamiento energético de biomasa para generación eléctrica debe enfocarse el país, cuándo y dónde.
- Caracterizar los residuos que se generan para mejorar la precisión de los parámetros que se emplearon en los cálculos. Se emplearon muchos parámetros que fueron obtenidos de estudios científicos realizados en otros países, pero se considera importante la caracterización de estos residuos empleando las condiciones del país. En esto juega un papel

importante tanto el ICE como la academia, por lo que una alianza que permita el estudio de estos residuos e incluso evaluar su potencial energético como co-sustratos en sistemas de digestión anaerobia es importante para el mejoramiento metodológico de este estudio en el futuro.

- Realizar análisis de la cadena de valor de los residuos estudiados. Este tipo de análisis permite no solo ver la creación de valor económica sino también la perspectiva ambiental y social.

A nivel de política de sostenibilidad y energética:

- El país debe contar con una estrategia para el aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos. Para esto primero se debe establecer los arreglos institucionales necesarios para el proceso preparatorio. Se debe identificar si dichos arreglos existentes son adecuados para apoyar el proceso o necesitan ser ajustados o aumentados. También es importante identificar los actores y definir una hoja de ruta que permita definir los pilares de una estrategia y sus objetivos en el marco de los compromisos climáticos, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Plan de Descarbonización 2018-2050, el Plan Nacional de Energía 2015-2030 y su actualización 2019-2030, entre otros.
- Conformación de un grupo de trabajo de biomasa entre entidades públicas para el aprovechamiento energético y potencial de fertilización de suelos.

REFERENCIAS

- Al Seadi, T., Rutz, D., Janssen, R., & Drosch, B. (2013). *Biomass resources for biogas production*. *The Biogas Handbook*, 19–51. doi:10.1533/9780857097415.1.19
- Angulo, F. (2021). *Uso, manejo y gestión de las aguas en Costa Rica*. https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/8218/Angulo_F_2021_Uso_manejo_gestion_agua_CR_IEN_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aristizábal, C.E. (2015). *Caracterización fisicoquímica de una vinaza resultante de la producción de alcohol de una industria licorera, a partir del aprovechamiento de la caña de azúcar*. [https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/download/1729/1502/3739#:~:text=Esto%20se%20debe%20al%20alto,muestra%20\(Ver%20Tabla%204\)](https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/download/1729/1502/3739#:~:text=Esto%20se%20debe%20al%20alto,muestra%20(Ver%20Tabla%204)).
- Asociación Mundial de Biogás. (2019). *Potencial de biogás Mundial*. <https://www.worldbiogasassociation.org/global-potential-of-biogas/>
- AyA, MINAE & MS. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016 – 2045*. <https://da.go.cr/saneamiento-de-aguas-residuales/>
- Barros, V. G. de, Duda, R. M., Vantini, J. da S., Omori, W. P., Ferro, M. I. T., & Oliveira, R. A. de. (2017). *Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria*. *Bioresource Technology*, 244, 371–381. doi:10.1016/j.biortech.2017.07
- Botero, R. (2008). *Biogás y ganadería bovina en Costa Rica*. *Revista Ambientico*, 1(183), 6-8. https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/19125/183_6-8.pdf
- CANAVI. (10 de agosto, 2022). *Comunicación personal sobre cantidad de aves de engorde y ponedoras de huevo*.
- Chacón, Rolando. (1 de julio, 2022). *Comunicación personal*

- Chaves, M. (1985). *Las vinazas en la fertilización de la caña de azúcar*.
<https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/DqDQYGzVaebhGHFZdcowQNQdzEwHspVj>
- Contreras, L. M., Schelle, H., Sebrango, C. R., & Pereda, I. (2012). Methane potential and biodegradability of rice straw, rice husk and rice residues from the drying process. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 65(6), 1142–1149.
<https://doi.org/10.2166/wst.2012.951>
- Coto, O.; Chacón, L.R.; Flores, O.M. (2013). *Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica*.
- González, L. (2012). *Manual Técnico para el manejo de rastrojos en el cultivo de piña*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Q70-10493.pdf>
- Hernández, A., & Tabla, Y. (1999). *Generación de biogás a partir de cachaza con diferentes características*. Tecnología Química, Vol. 19, no. 1.
- Hernández, R. et al. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ª ed.) Mc Graw Hill.
- Himmelblau, D. (1997). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. Sexta edición, Prentice Hall.
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2021). *Plan de expansión de la generación eléctrica 2020-2035*.
https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/741c8397-09f0-4109-a444-bed598cb7440/PLAN+DE+EXPANSI%C3%93N+DE+LA+GENERACI%C3%93N+EL%C3%89CTRICA+2020%E2%80%932035_compressed.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nJADNyi
- Instituto Meteorológico Nacional. (2021). *Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 1990-2017*. Primera edición.
<http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/inventariogeicostarica2017/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021). *ENA. 2020. Total de ganado vacuno por propósito, según edad*.

https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropecenaganadovacpro p2020_2.xls

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021). *ENA. 2020. Total de ganado porcino de carne y reproducción, según fase productiva y sexo.* https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/reagropecenaganadoporctotal2020_2.xls

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021). *Estadísticas demográficas. 2020. Cuadros, gráficos y figuras de Estadísticas vitales: población, nacimientos, defunciones, matrimonios. Datos definitivos 2020.* https://admin.inec.cr/sites/default/files/media/repoblacv-2020a-cuadros_y_graficos_estadisticas_vitales_2020.xlsx_2.xls

Jenjariyakosoln, S., Sajjakulnukit, B., & Garivait, S. (2013). *Energy and Greenhouse Gas Emissions Reduction Potential of Sugarcane Field Residues Power Generation in Thailand.* International Journal of Environmental Science and Development, 4(2).

Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. (2021). *Revista Entre Cañeros N° 20.* <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/IKJcBSqpcNxnUhVpuJiZXrIDtJbMolud>

Li, C., Liu, G., Nges, I.A., Deng, L., Nistor, M.F., & Liu, J. (2016). *Fresh banana pseudo-stems as a tropical lignocellulosic feedstock for methane production.* Energy, Sustainability and Society, 6, 1-9.

Lorenzo-Acosta, Y; Valdés-Delgado, A; Domenech-López, F; Rojas-Sariol, L; Eng-Sánchez, F. (2014). *Cálculos técnicos en el diseño de una planta de biogás. Caso de estudio "Tratamiento de vinazas de destilerías en reactores UASB".* <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223131465004>

Khan, M., Brulé, M., Maurer, C., Argyropoulos, D., Muller, J., & Oechsner, H. (2016). *Batch anaerobic digestion of banana waste - energy potential and modelling of methane production kinetics.* <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/3244/2288>

Martinson, K., & O'Brien, C. (2015). *Conducting Case Studies. Handbook of Practical Program Evaluation*, 177–196. doi:10.1002/9781119171386.ch8

- Mehmet, K., Cengel, Y., Cimbala, J. (2020). *Fundamentals and Applications of Renewable Energy*. Primera edición, Mc Graw Hill.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: treatment and reuse*. Cuarta ed. New York: McGRAW-HILL.
- Metcalf & Eddy. (2007). "Characteristics of Municipal Wastewater and Related Health and Environmental Issues." Chap. 3 in *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. Primera ed. New York: McGRAW-HILL.
<https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.itcr.ac.cr/content/book/9780071459273/chapter/chapter3>
- MINAE. (2015). *Plan Nacional de Energía 2015-2030*.
<https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>
- MINAE. (2018). *Plan de descarbonización de Costa Rica*.
<https://minae.go.cr/images/pdf/Plan-de-Descarbonizacion-1.pdf>
- Ministerio de Salud. (2016). *Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016 – 2021*. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/ministerio-de-salud/planes-y-politicas-institucionales/planes-institucionales/planes-planes-institucionales/714-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file#:~:text=El%20objetivo%20general%20del%20Plan,y%20permitiendo%20implementar%20lo%20paulatinamente>
- Murillo, E. (2007). *Cambios ambientales, sociales y económicos generados por biodigestores en granjas porcinas, cuenca del río Tempisque, Costa Rica*.
<https://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/index.php/publicaciones/tesis-maestria-en-manejo-de-recursos-naturales/44-43cambios-ambientales-sociales-y-economicos-generados-por-biodigestores-en-granjas-porcinas-cuenca-del-rio-tempisque-costarica>
- Najafpour, G. D., Zinatizadeh, A. A. L., Mohamed, A. R., Hasnain Isa, M., & Nasrollahzadeh, H. (2006). *High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor*. *Process Biochemistry*, 41(2), 370–379. doi:10.1016/j.procbio.2005.06.03
- Penno J.W. & Mac Donald K.A. (1996). *Costs and returns from better feeding of cattle higher performance from bigger heifers*. Dairy Research Corporation, Hamilton, pp. 100- 108.

- Pérez, E. (2017). *Manual de manejo de sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-10923.pdf>
- Prakash, K.; Singh, T. et al. (2022). *Sustainable utilization of pineapple wastes for production of bioenergy, biochemicals and value-added products: A review*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127085>
- Raposo, F. (2012). *Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: an overview relating to methane yields and experimental procedures*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 861-877.
- República de Costa Rica. (2020). *Contribución Nacionalmente Determinada 2020*. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Contribucio%CC%81n%20Nacionalmente%20Determinada%20de%20Costa%20Rica%202020%20-%20Versio%CC%81n%20Completa.pdf>
- Roldan, C. (2012). *Informe de capacidad de energías limpias disponibles en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ruiz, F. (2012). *Gestión de excretas y aguas residuales en Costa Rica*. <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2021). *Boletín Estadístico Agropecuario. Serie Cronológica 2018-2021*. Edición N° 32.
- SEPSE. (2022). *Balance energético nacional de Costa Rica 2016-2021*.
- Suhartini, S., Lestari, Y. P., & Nurika, I. (2019). *Estimation of methane and electricity potential from canteen food waste*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 230, 012075. doi:10.1088/1755-1315/230/1/012075
- Valdés-Rodríguez, O. (2018). *Potencial del uso del rastrojo de la caña de azúcar (saccharum spp.) para producción de biogás*. *Agro Productividad*, 10(11). Recuperado a partir de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/54>

- Van Hung, N. et al. (2020). *Rice Straw Overview: Availability, Properties, and Management Practices*. En: Gummert, M., Hung, N., Chivenge, P., Douthwaite, B. (eds) *Sustainable Rice Straw Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32373-8_1
- Vargas, C. (2020). *Informe: monitoreo del estado de la piña en Costa Rica para el año 2018*. <https://hdl.handle.net/20.500.12337/7892>
- Vargas, Y. (2022). *Informe: Monitoreo del estado de la palma aceitera en las principales regiones productoras de Costa Rica para el año 2018*. https://repositorio.conare.ac.cr/bitstream/handle/20.500.12337/8292/Vargas_Y_Informe_monitoreo_estado_palma_aceitera_CR_2018_2022_2ed.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Viquez, J. (2017). *Determinación del potencial de biogás a nivel nacional*.
- Williams, C.M. (2013). *Poultry waste management in developing countries*. Poultry Development Review. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/90c86c8d-96e8-5db6-914f-2bd9fa24e421/#:~:text=Abstract%3A,countries%20of%20all%20income%20levels>.
- Zhengyun, Z. R. (2013). *Biogas Yield Potential Research of the Wastes from Banana Manufacturing Process under Mesophilic Anaerobic Fermentation*. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4740-4744.

ANEXOS

A.1 Datos empleados para el cálculo de generación eléctrica y potencia por instalar

Tabla A.1.1

Área sembrada con caña de azúcar según distrito en el año 2020

Región MIDEPLAN	Provincia	Cantón	Distrito	Área sembrada de caña (Ha)
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BRUNCA	311,9
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BUENOS AIRES	306,4
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	VOLCAN	648,9
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	CAJON	742,7
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	DANIEL FLORES	351,1
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	GENERAL	540,2
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	LA AMISTAD	7,3
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	PLATANARES	1,2
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN ISIDRO GENERAL	532,2
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN PEDRO	763
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	GARITA	154,9
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	GUACIMA	5,4
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	SABANILLA	13,9
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	SAN ANTONIO	2,8
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	SAN ISIDRO	22,6
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	SAN JOSE	14,8
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	SAN RAFAEL	16,7
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	TAMBOR	95,8
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	TURRUCARES	13,8
CENTRAL	ALAJUELA	ATENAS	ATENAS	7,2
CENTRAL	ALAJUELA	ATENAS	CONCEPCION	0,3
CENTRAL	ALAJUELA	ATENAS	ESCOBAL	32,7
CENTRAL	ALAJUELA	ATENAS	SAN JOSE	1,6
CENTRAL	ALAJUELA	ATENAS	SANTA EULALIA	126,6
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	BOLIVAR	25,2
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	GRECIA	111,1
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	PUENTE PIEDRA	609,5
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	SAN ISIDRO	266,1
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	SAN JOSE	162,9
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	SAN ROQUE	132,8
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	TACARES	1006,7
CENTRAL	ALAJUELA	NARANJO	ROSARIO	38,2
CENTRAL	ALAJUELA	NARANJO	SAN MIGUEL	16,4
CENTRAL	ALAJUELA	POAS	CARRILLOS	144,3
CENTRAL	ALAJUELA	POAS	SAN JUAN	6,4
CENTRAL	ALAJUELA	POAS	SAN PEDRO	30,2
CENTRAL	ALAJUELA	POAS	SAN RAFAEL	36,4
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	ANGELES	30,9
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	CONCEPCION	24,8
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	PIEADADES NORTE	250,6
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	PIEADADES SUR	39,2
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	SAN JUAN	3,1
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	SAN LORENZO	1,1
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	SAN RAFAEL	11
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	SANTIAGO	2,6
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	VOLIO	106,3
CENTRAL	ALAJUELA	SARCHI	RODRIGUEZ	30,5
CENTRAL	ALAJUELA	SARCHI	SAN PEDRO	6,8
CENTRAL	ALAJUELA	SARCHI	SARCHI NORTE	141,2
CENTRAL	ALAJUELA	SARCHI	SARCHI SUR	18,3
CENTRAL	CARTAGO	ALVARADO	CAPELLADES	37,2
CENTRAL	CARTAGO	JIMENEZ	JUAN VINAS	1459,2
CENTRAL	CARTAGO	JIMENEZ	PEJIBAYE	602
CENTRAL	CARTAGO	JIMENEZ	TUCURRIQUE	94,6
CENTRAL	CARTAGO	PARAISO	CACHI	8,8
CENTRAL	CARTAGO	PARAISO	LLANOS SANTA LUCIA	34,8

Región MIDEPLAN	Provincia	Cantón	Distrito	Área sembrada de caña (Ha)
CENTRAL	CARTAGO	PARAISO	SANTIAGO	97,1
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	LA ISABEL	141,7
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	LA SUIZA	379,5
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	PAVONES	227
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	SANTA CRUZ	0,8
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	SANTA ROSA	20,6
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	SANTA TERESITA	126,5
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	TRES EQUIS	55,5
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	TUIS	130
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	TURRIALBA	933,4
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	TUYUTIC	133,2
CENTRAL	HEREDIA	SANTA BARBARA	JESUS	9,2
CHOROTEGA	GUANACASTE	ABANGARES	COLORADO	493,8
CHOROTEGA	GUANACASTE	ABANGARES	LAS JUNTAS	210
CHOROTEGA	GUANACASTE	BAGACES	BAGACES	6387,8
CHOROTEGA	GUANACASTE	CAÑAS	BEBEDERO	2728,6
CHOROTEGA	GUANACASTE	CAÑAS	POROZAL	1604,4
CHOROTEGA	GUANACASTE	CAÑAS	SAN MIGUEL	1741,7
CHOROTEGA	GUANACASTE	CAÑAS	CAÑAS	845,4
CHOROTEGA	GUANACASTE	CARRILLO	BELEN	1467
CHOROTEGA	GUANACASTE	CARRILLO	FILADELFIA	6185,4
CHOROTEGA	GUANACASTE	CARRILLO	PALMIRA	382,8
CHOROTEGA	GUANACASTE	CARRILLO	SARDINAL	1183,3
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	CAÑAS DULCES	589,2
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	CURUBANDE	751,5
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	LIBERIA	7556,2
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	MAYORGA	1081,4
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	NACASCOLO	370,9
CHOROTEGA	GUANACASTE	NICOYA	SAN ANTONIO	355,6
CHOROTEGA	GUANACASTE	SANTA CRUZ	BOLSON	355,1
CHOROTEGA	GUANACASTE	SANTA CRUZ	DIRIA	293,9
CHOROTEGA	GUANACASTE	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	260,8
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	EL AMPARO	339
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	LOS CHILES	2096,9
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	AGUAS ZARCAS	224,1
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	CUTRIS	1264
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	FLORENCIA	3147,2
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	FORTUNA	303,1
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	MONTERREY	0,8
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	PALMERA	549,9
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	POCOSOL	1247,3
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	QUESADA	74,2
PACIFICO CENTRAL	ALAJUELA	SAN MATEO	SAN MATEO	142,6
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	ESPARZA	CALDERA	49,1
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	ESPARZA	ESPIRITU SANTO	16,3
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	MONTES DE ORO	MIRAMAR	46
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	MONTES DE ORO	SAN ISIDRO	228
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	CHOMES	256,5
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	EL ROBLE	93
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	MANZANILLO	146,9
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	PITHAYA	3497,4
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	PUNTARENAS	1247,3
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	BARRANCA	393,1

Nota: Datos tomados de LAICA, 2021

Tabla A.1.2

Producción de alcohol en el año 2020

Región	Provincia	Cantón	Producción de alcohol (litros/año)
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	20.645.948,00
CHOROTEGA	GUANACASTE	CARRILLO	445.806,00

Nota: Información proveniente de CATSA y LAICA

Tabla A.1.3

Área cultivada de piña según distrito en el año 2018

Región MIDEPLAN	Provincia	Cantón	Distrito	Área cubierta por piña (Ha)
HUETAR NORTE	ALAJUELA	UPALA	YOLILLAL	1.662,64
HUETAR NORTE	ALAJUELA	UPALA	UPALA	1.504,41
HUETAR NORTE	ALAJUELA	UPALA	CANALETE	443,55
HUETAR NORTE	ALAJUELA	GUATUSO	SAN RAFAEL	744,17
HUETAR NORTE	ALAJUELA	GUATUSO	KATIRA	635,94
HUETAR NORTE	ALAJUELA	GUATUSO	BUENAVISTA	284,71
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	LOS CHILES	4.025,53
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	L AMPARO	3.511,66
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	CAÑO NEGRO	536,11
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	SAN JORGE	394,99
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	POCOSOL	2.059,37
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	LA FORTUNA	94,08
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	CUTRIS	4.798,99
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	FLORENCIA	252,72
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	PITAL	7.509,53
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	AGUAS ZARCAS	2.810,61
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	VENECIA	891,08
HUETAR NORTE	ALAJUELA	RIO CUARTO	SANTA ISABEL	4.160,95
HUETAR NORTE	ALAJUELA	RIO CUARTO	SANTA RITA	1.188,48
HUETAR NORTE	ALAJUELA	RIO CUARTO	RIO CUARTO	350,53
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	LA VIRGEN	2.426,57
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	LLANURAS DEL GASPAS	137,45
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	PUERTO VIEJO	1.267,93
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	HORQUETAS	2.076,44
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	CUREÑA	295,08
HUETAR NORTE	ALAJUELA	ALAJUELA	SARAPIQUI	129,69
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	ALEGRIA	528,37
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	CAIRO	728,28
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	FLORIDA	92,57
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	ERMANIA	655,18
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	PACUARITO	696,55
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	DUACARI	1.678,80
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	GUACIMO	657,95
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	RIO JIMENEZ	522,85
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	COLORADO	14,53
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	LA RITA	2.984,90
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	CARIARI	358,58
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	ROZANA	2.549,23
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	JIMENEZ	836,18
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	CAJON	772,39
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN PEDRO	451,44
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	PEJIBAYE	2,61
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	LA AMISTAD	20,38
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BRUNCA	1.586,36
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BIOLLEY	493,36
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BUENOS AIRES	1.330,23
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	POTRERO GRANDE	853,59
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	VOLCAN	2.792,81
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	PITAHAYA	870,05

Nota: Datos tomados de Vargas, 2020

Tabla A.1.4

Producción de café fruta por cantón en el período 2019-2020

REGION	PROVINCIA	CANTON	PRODUCCION DE CAFÉ (t CF)/año
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	3.466,90
BRUNCA	PUNTARENAS	COTO BRUS	32.596,37
BRUNCA	PUNTARENAS	GOLFITO	-
CENTRAL	CARTAGO	CARTAGO	18.877,20
CENTRAL	CARTAGO	EL GUARCO	3.335,45
CENTRAL	SAN JOSE	ACOSTA	10.873,04
CENTRAL	SAN JOSE	ASERRI	13.938,24
CENTRAL	SAN JOSE	DESAMPARADOS	25.182,10
CENTRAL	SAN JOSE	DOTA	18.603,82

REGION	PROVINCIA	CANTON	PRODUCCION DE CAFÉ (t CF)/año
CENTRAL	SAN JOSE	LEON CORTES	51.238,21
CENTRAL	SAN JOSE	TARRAZU	77.204,48
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	55.061,61
CENTRAL	CARTAGO	JIMENEZ	4.361,49
CENTRAL	CARTAGO	PARAISO	5.763,88
CENTRAL	CARTAGO	TURRIALBA	12.737,38
CENTRAL	ALAJUELA	ALAJUELA	29.336,73
CENTRAL	ALAJUELA	POAS	12.804,86
CENTRAL	CARTAGO	LA UNION	5.482,06
CENTRAL	HEREDIA	BARVA	5.331,60
CENTRAL	HEREDIA	FLORES	-
CENTRAL	HEREDIA	HEREDIA	1.596,57
CENTRAL	HEREDIA	SAN ISIDRO	964,67
CENTRAL	HEREDIA	SAN PABLO	1.164,38
CENTRAL	HEREDIA	SAN RAFAEL	3.070,11
CENTRAL	HEREDIA	SANTA BARBARA	7.484,30
CENTRAL	HEREDIA	SANTO DOMINGO	3.264,01
CENTRAL	SAN JOSE	ALAJUELITA	0,96
CENTRAL	SAN JOSE	CURRIDABAT	466,03
CENTRAL	SAN JOSE	ESCAZU	167,69
CENTRAL	SAN JOSE	GOICOECHEA	28,46
CENTRAL	SAN JOSE	MORA	-
CENTRAL	SAN JOSE	MORAVIA	2.887,38
CENTRAL	SAN JOSE	PURISCAL	3.680,29
CENTRAL	SAN JOSE	SAN JOSE	47,96
CENTRAL	SAN JOSE	SANTA ANA	1.596,11
CENTRAL	SAN JOSE	TIBAS	-
CENTRAL	SAN JOSE	TURRUBARES	1.198,93
CENTRAL	ALAJUELA	ATENAS	6.064,70
CENTRAL	ALAJUELA	GRECIA	8.788,07
CENTRAL	ALAJUELA	NARANJO	25.345,26
CENTRAL	ALAJUELA	PALMARES	6.016,37
PACIFICO CENTRAL	ALAJUELA	SAN MATEO	620,58
CENTRAL	ALAJUELA	SAN RAMON	28.831,34
CENTRAL	ALAJUELA	SARCHI	5.798,91
CENTRAL	ALAJUELA	ZARCERO	134,09
HUETAR NORTE	ALAJUELA	RIO CUARTO	5,50
CENTRAL	ALAJUELA	VALVERDE VEGA	-
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	79,16
HUETAR NORTE	ALAJUELA	UPALA	34,21
CHOROTEGA	GUANACASTE	ABANGARES	829,81
CHOROTEGA	GUANACASTE	HOJANCHA	195,58
CHOROTEGA	GUANACASTE	NANDAYURE	761,82
CHOROTEGA	GUANACASTE	NICOYA	184,92
CHOROTEGA	GUANACASTE	TILARAN	938,72
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	1,38
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	MONTES DE ORO	147,93
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	1.033,08

Tabla A.1.5

Producción de banano para exportación, según cantón, en el año 2020

REGION	PROVINCIA	CANTON	Exportaciones (t/año)
HUETAR CARIBE	LIMON	MATINA	689.596
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	365.300
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	473.782
HUETAR CARIBE	HEREDIA	SARAPIQUI	281.197
HUETAR CARIBE	LIMON	LIMON	205.188
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	219.887
HUETAR CARIBE	LIMON	TALAMANCA	96.599
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PARRITA	40.967
BRUNCA	PUNTARENAS	CORREDORES	2.678
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	9.504

Nota: Información tomada de SEPSA, 2021

Tabla A.1.6

Cantidad de ganado vacuno de carne, según edad, en el año 2020

Edad	Cantidad de animales (animales/año)
Menores de 1 año	212.511

De 1 a menos de 2 años	247.003
De 2 años y más	434.337

Nota: Tomado de INEC, 2021

Tabla A.1.7

Área sembrada y producción de arroz, según región, provincia y cantón en el período agrícola 2019/2020

REGION	PROVINCIA	CANTON	AREA SEMBRADA (Ha/año)	Producción (t/año)
CHOROTEGA	GUANACASTE	ABANGARES	280,00	1.458,92
CHOROTEGA	GUANACASTE	BAGACES	4.487,81	23.383,33
CHOROTEGA	GUANACASTE	CANAS	1.978,28	10.307,65
CHOROTEGA	GUANACASTE	CARRILLO	921,50	4.801,39
CHOROTEGA	GUANACASTE	LA CRUZ	27,10	141,20
CHOROTEGA	GUANACASTE	LIBERIA	6.588,34	34.327,96
CHOROTEGA	GUANACASTE	NANDAYURE	991,60	5.166,64
CHOROTEGA	GUANACASTE	NICOYA	570,00	2.969,93
CHOROTEGA	GUANACASTE	SANTA CRUZ	957,50	4.988,97
CENTRAL	SAN JOSE	ACOSTA	-	-
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	AGUIRRE	1.067,20	4.413,00
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	GARABITO	911,10	3.767,51
PACIFICO CENTRAL	ALAJUELA	OROTINA	-	-
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PARRITA	2.839,55	11.741,87
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	678,97	2.807,62
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	100,00	386,84
BRUNCA	PUNTARENAS	CORREDORES	2.844,90	11.005,16
BRUNCA	PUNTARENAS	GOLFITO	2.250,90	8.707,34
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	1.525,10	5.899,67
HUETAR NORTE	ALAJUELA	GUATUSO	80,00	262,56
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	70,00	229,74
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	-	-
HUETAR NORTE	ALAJUELA	UPALA	3.653,50	11.990,70
HUETAR CARIBE	LIMON	MATINA	131,50	339,56
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	93,50	241,44
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	-	-
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	-	-

Nota: Datos tomados de SEPSA, 2021

Tabla A.1.8

Cantidad de ganado vacuno de doble propósito, según edad, en el año 2020

Edad	Cantidad de animales (animales/año)
Menores de 1 año	89.059,00
De 1 a menos de 2 años	69.240,00
De 2 años y más	166.935,00

Nota: Tomado de INEC, 2021

Tabla A.1.9

Cantidad de aves por actividad, según edad, en el año 2021

Actividad	Cantidad de aves
Carne	82.800.000
Huevo	4.750.000

Nota: Datos proporcionados mediante comunicación personal con CANAVI

Tabla A.1.10

Población total proyectada, según provincia, cantón, distrito y región, al 30 de junio del 2020

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
SAN JOSE	SAN JOSE	CARMEN	CENTRAL	3.001
SAN JOSE	SAN JOSE	MERCED	CENTRAL	15.203
SAN JOSE	SAN JOSE	HOSPITAL	CENTRAL	23.685
SAN JOSE	SAN JOSE	CATEDRAL	CENTRAL	15.588
SAN JOSE	SAN JOSE	ZAPOTE	CENTRAL	21.858
SAN JOSE	SAN JOSE	SAN FRANCISCO DE DOS RIOS	CENTRAL	23.637
SAN JOSE	SAN JOSE	URUCA	CENTRAL	41.724

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
SAN JOSE	SAN JOSE	MATA REDONDA	CENTRAL	10.066
SAN JOSE	SAN JOSE	PAVAS	CENTRAL	87.827
SAN JOSE	SAN JOSE	HATILLO	CENTRAL	59.879
SAN JOSE	SAN JOSE	SAN SEBASTIAN	CENTRAL	44.930
SAN JOSE	ESCAZU	ESCAZU	CENTRAL	13.710
SAN JOSE	ESCAZU	SAN ANTONIO	CENTRAL	27.729
SAN JOSE	ESCAZU	SAN RAFAEL	CENTRAL	28.615
SAN JOSE	DESAMPARADOS	DESAMPARADOS	CENTRAL	37.324
SAN JOSE	DESAMPARADOS	SAN MIGUEL	CENTRAL	37.928
SAN JOSE	DESAMPARADOS	SAN JUAN DE DIOS	CENTRAL	23.921
SAN JOSE	DESAMPARADOS	SAN RAFAEL ARRIBA	CENTRAL	18.072
SAN JOSE	DESAMPARADOS	SAN ANTONIO	CENTRAL	11.204
SAN JOSE	DESAMPARADOS	FRAILES	CENTRAL	4.523
SAN JOSE	DESAMPARADOS	PATARRA	CENTRAL	14.576
SAN JOSE	DESAMPARADOS	SAN CRISTOBAL	CENTRAL	4.697
SAN JOSE	DESAMPARADOS	ROSARIO	CENTRAL	3.716
SAN JOSE	DESAMPARADOS	DAMAS	CENTRAL	15.430
SAN JOSE	DESAMPARADOS	SAN RAFAEL ABAJO	CENTRAL	26.531
SAN JOSE	DESAMPARADOS	GRAVILIAS	CENTRAL	17.049
SAN JOSE	DESAMPARADOS	LOS GUIDO	CENTRAL	30.237
SAN JOSE	PURISCAL	SANTIAGO	CENTRAL	12.496
SAN JOSE	PURISCAL	MERCEDES SUR	CENTRAL	6.967
SAN JOSE	PURISCAL	BARBACOAS	CENTRAL	4.381
SAN JOSE	PURISCAL	GRIFO ALTO	CENTRAL	1.461
SAN JOSE	PURISCAL	SAN RAFAEL	CENTRAL	1.982
SAN JOSE	PURISCAL	CANDELARITA	CENTRAL	1.717
SAN JOSE	PURISCAL	DESAMPARADITOS	CENTRAL	779
SAN JOSE	PURISCAL	SAN ANTONIO	CENTRAL	4.615
SAN JOSE	PURISCAL	CHIRES	CENTRAL	3.585
SAN JOSE	TARRAZU	SAN MARCOS	CENTRAL	11.204
SAN JOSE	TARRAZU	SAN LORENZO	CENTRAL	5.191
SAN JOSE	TARRAZU	SAN CARLOS	CENTRAL	2.140
SAN JOSE	ASERRI	ASERRI	CENTRAL	30.043
SAN JOSE	ASERRI	TARBACA	CENTRAL	1.649
SAN JOSE	ASERRI	VUELTA DE JORCO	CENTRAL	7.219
SAN JOSE	ASERRI	SAN GABRIEL	CENTRAL	6.804
SAN JOSE	ASERRI	LEGUA	CENTRAL	1.726
SAN JOSE	ASERRI	MONTERREY	CENTRAL	547
SAN JOSE	ASERRI	SALITRILLOS	CENTRAL	15.541
SAN JOSE	MORA	COLON	CENTRAL	17.291
SAN JOSE	MORA	GUAYABO	CENTRAL	5.289
SAN JOSE	MORA	TABARCIA	CENTRAL	5.047
SAN JOSE	MORA	PIEDRAS NEGRAS	CENTRAL	487
SAN JOSE	MORA	PICAGRES	CENTRAL	879
SAN JOSE	MORA	JARIS	CENTRAL	1.325
SAN JOSE	GOICOECHEA	GUADALUPE	CENTRAL	22.465
SAN JOSE	GOICOECHEA	SAN FRANCISCO	CENTRAL	2.393
SAN JOSE	GOICOECHEA	CALLE BLANCOS	CENTRAL	23.098
SAN JOSE	GOICOECHEA	MATA DE PLATANO	CENTRAL	20.848
SAN JOSE	GOICOECHEA	IPIS	CENTRAL	31.447
SAN JOSE	GOICOECHEA	RANCHO REDONDO	CENTRAL	3.153
SAN JOSE	GOICOECHEA	PURRAL	CENTRAL	35.121
SAN JOSE	SANTA ANA	SANTA ANA	CENTRAL	12.878
SAN JOSE	SANTA ANA	SALITRAL	CENTRAL	5.421
SAN JOSE	SANTA ANA	POZOS	CENTRAL	20.094
SAN JOSE	SANTA ANA	URUCA	CENTRAL	8.896
SAN JOSE	SANTA ANA	PIEDADES	CENTRAL	10.014
SAN JOSE	SANTA ANA	BRASIL	CENTRAL	3.150
SAN JOSE	ALAJUELITA	ALAJUELITA	CENTRAL	13.200
SAN JOSE	ALAJUELITA	SAN JOSECITO	CENTRAL	12.727
SAN JOSE	ALAJUELITA	SAN ANTONIO	CENTRAL	5.843
SAN JOSE	ALAJUELITA	CONCEPCION	CENTRAL	22.839
SAN JOSE	ALAJUELITA	SAN FELIPE	CENTRAL	39.939
SAN JOSE	VAZQUEZ DE CORONADO	SAN ISIDRO	CENTRAL	18.540
SAN JOSE	VAZQUEZ DE CORONADO	SAN RAFAEL	CENTRAL	8.464
SAN JOSE	VAZQUEZ DE CORONADO	DULCE NOMBRE DE JESUS	CENTRAL	11.870

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
SAN JOSE	VAZQUEZ DE CORONADO	PATALILLO	CENTRAL	24.405
SAN JOSE	VAZQUEZ DE CORONADO	CASCAJAL	CENTRAL	8.384
SAN JOSE	ACOSTA	SAN IGNACIO	CENTRAL	9.390
SAN JOSE	ACOSTA	GUAITIL	CENTRAL	2.647
SAN JOSE	ACOSTA	PALMICHAL	CENTRAL	5.205
SAN JOSE	ACOSTA	CANGREJAL	CENTRAL	2.092
SAN JOSE	ACOSTA	SABANILLAS	CENTRAL	2.642
SAN JOSE	TIBAS	SAN JUAN	CENTRAL	25.953
SAN JOSE	TIBAS	CINCO ESQUINAS	CENTRAL	8.411
SAN JOSE	TIBAS	ANSELMO LLORENTE	CENTRAL	12.779
SAN JOSE	TIBAS	LEON XIII	CENTRAL	19.909
SAN JOSE	TIBAS	COLIMA	CENTRAL	17.821
SAN JOSE	MORAVIA	SAN VICENTE	CENTRAL	32.146
SAN JOSE	MORAVIA	SAN JERONIMO	CENTRAL	7.298
SAN JOSE	MORAVIA	TRINIDAD	CENTRAL	23.225
SAN JOSE	MONTES DE OCA	SAN PEDRO	CENTRAL	29.020
SAN JOSE	MONTES DE OCA	SABANILLA	CENTRAL	13.930
SAN JOSE	MONTES DE OCA	MERCEDES	CENTRAL	6.031
SAN JOSE	MONTES DE OCA	SAN RAFAEL	CENTRAL	13.552
SAN JOSE	TURRUBARES	SAN PABLO	CENTRAL	1.554
SAN JOSE	TURRUBARES	SAN PEDRO	CENTRAL	843
SAN JOSE	TURRUBARES	SAN JUAN DE MATA	CENTRAL	1.505
SAN JOSE	TURRUBARES	SAN LUIS	CENTRAL	701
SAN JOSE	TURRUBARES	CARARA	CENTRAL	2.268
SAN JOSE	DOTA	SANTA MARIA	CENTRAL	5.180
SAN JOSE	DOTA	JARDIN	CENTRAL	695
SAN JOSE	DOTA	COPEY	CENTRAL	2.073
SAN JOSE	CURRIDABAT	CURRIDABAT	CENTRAL	32.612
SAN JOSE	CURRIDABAT	GRANADILLA	CENTRAL	18.812
SAN JOSE	CURRIDABAT	SANCHEZ	CENTRAL	6.733
SAN JOSE	CURRIDABAT	TIRRASES	CENTRAL	21.420
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN ISIDRO DE EL GENERAL	BRUNCA	48.243
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	GENERAL	BRUNCA	6.856
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	DANIEL FLORES	BRUNCA	35.453
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	RIVAS	BRUNCA	7.298
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN PEDRO	BRUNCA	9.441
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	PLATANARES	BRUNCA	7.525
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	PEJIBAYE	BRUNCA	8.079
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	CAJON	BRUNCA	9.070
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	BARU	BRUNCA	2.839
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	RIO NUEVO	BRUNCA	3.470
SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	PARAMO	BRUNCA	4.843
SAN JOSE	LEON CORTES	SAN PABLO	CENTRAL	4.596
SAN JOSE	LEON CORTES	SAN ANDRES	CENTRAL	1.722
SAN JOSE	LEON CORTES	LLANO BONITO	CENTRAL	2.240
SAN JOSE	LEON CORTES	SAN ISIDRO	CENTRAL	1.839
SAN JOSE	LEON CORTES	SANTA CRUZ	CENTRAL	2.120
SAN JOSE	LEON CORTES	SAN ANTONIO	CENTRAL	1.252
ALAJUELA	ALAJUELA	ALAJUELA	CENTRAL	48.078
ALAJUELA	ALAJUELA	SAN JOSE	CENTRAL	51.344
ALAJUELA	ALAJUELA	CARRIZAL	CENTRAL	8.739
ALAJUELA	ALAJUELA	SAN ANTONIO	CENTRAL	30.790
ALAJUELA	ALAJUELA	GUACIMA	CENTRAL	25.828
ALAJUELA	ALAJUELA	SAN ISIDRO	CENTRAL	21.934
ALAJUELA	ALAJUELA	SABANILLA	CENTRAL	11.992
ALAJUELA	ALAJUELA	SAN RAFAEL	CENTRAL	33.273
ALAJUELA	ALAJUELA	RIO SEGUNDO	CENTRAL	13.228
ALAJUELA	ALAJUELA	DESAMPARADOS	CENTRAL	32.717
ALAJUELA	ALAJUELA	TURRUCARES	CENTRAL	9.211
ALAJUELA	ALAJUELA	TAMBOR	CENTRAL	13.909
ALAJUELA	ALAJUELA	LA GARITA	CENTRAL	9.259
ALAJUELA	ALAJUELA	SARAPIQUI	HUETAR NORTE	3.907
ALAJUELA	SAN RAMON	SAN RAMON	CENTRAL	9.105
ALAJUELA	SAN RAMON	SANTIAGO	CENTRAL	5.539
ALAJUELA	SAN RAMON	SAN JUAN	CENTRAL	13.119
ALAJUELA	SAN RAMON	PIEDESUR NORTE	CENTRAL	9.362
ALAJUELA	SAN RAMON	PIEDESUR SUR	CENTRAL	4.505

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
ALAJUELA	SAN RAMON	SAN RAFAEL	CENTRAL	10.665
ALAJUELA	SAN RAMON	SAN ISIDRO	CENTRAL	5.799
ALAJUELA	SAN RAMON	ANGELES	CENTRAL	9.602
ALAJUELA	SAN RAMON	ALFARO	CENTRAL	8.213
ALAJUELA	SAN RAMON	VOLIO	CENTRAL	2.666
ALAJUELA	SAN RAMON	CONCEPCION	CENTRAL	2.739
ALAJUELA	SAN RAMON	ZAPOTAL	CENTRAL	507
ALAJUELA	SAN RAMON	PEÑAS BLANCAS	HUETAR NORTE	12.051
ALAJUELA	GRECIA	GRECIA	CENTRAL	16.098
ALAJUELA	GRECIA	SAN ISIDRO	CENTRAL	7.127
ALAJUELA	GRECIA	SAN JOSE	CENTRAL	9.961
ALAJUELA	GRECIA	SAN ROQUE	CENTRAL	13.344
ALAJUELA	GRECIA	TACARES	CENTRAL	9.788
ALAJUELA	RIO CUARTO	RIO CUARTO	HUETAR NORTE	15.808
ALAJUELA	GRECIA	PUENTE DE PIEDRA	CENTRAL	12.924
ALAJUELA	GRECIA	BOLIVAR	CENTRAL	8.795
ALAJUELA	SAN MATEO	SAN MATEO	PACIFICO CENTRAL	3.046
ALAJUELA	SAN MATEO	DESMONTE	PACIFICO CENTRAL	1.174
ALAJUELA	SAN MATEO	JESUS MARIA	PACIFICO CENTRAL	1.478
ALAJUELA	SAN MATEO	LABRADOR	PACIFICO CENTRAL	1.443
ALAJUELA	ATENAS	ATENAS	CENTRAL	7.970
ALAJUELA	ATENAS	JESUS	CENTRAL	4.301
ALAJUELA	ATENAS	MERCEDES	CENTRAL	3.746
ALAJUELA	ATENAS	SAN ISIDRO	CENTRAL	3.430
ALAJUELA	ATENAS	CONCEPCION	CENTRAL	4.161
ALAJUELA	ATENAS	SAN JOSE	CENTRAL	2.279
ALAJUELA	ATENAS	SANTA EULALIA	CENTRAL	2.453
ALAJUELA	ATENAS	ESCOBAL	CENTRAL	1.000
ALAJUELA	NARANJO	NARANJO	CENTRAL	17.186
ALAJUELA	NARANJO	SAN MIGUEL	CENTRAL	5.620
ALAJUELA	NARANJO	SAN JOSE	CENTRAL	3.601
ALAJUELA	NARANJO	CIRRI SUR	CENTRAL	5.403
ALAJUELA	NARANJO	SAN JERONIMO	CENTRAL	3.966
ALAJUELA	NARANJO	SAN JUAN	CENTRAL	3.605
ALAJUELA	NARANJO	ROSARIO	CENTRAL	4.503
ALAJUELA	NARANJO	PALMITOS	CENTRAL	4.919
ALAJUELA	PALMARES	PALMARES	CENTRAL	3.765
ALAJUELA	PALMARES	ZARAGOZA	CENTRAL	9.681
ALAJUELA	PALMARES	BUENOS AIRES	CENTRAL	8.754
ALAJUELA	PALMARES	SANTIAGO	CENTRAL	3.299
ALAJUELA	PALMARES	CANDELARIA	CENTRAL	2.397
ALAJUELA	PALMARES	ESQUIPULAS	CENTRAL	8.198
ALAJUELA	PALMARES	GRANJA	CENTRAL	4.834
ALAJUELA	POAS	SAN PEDRO	CENTRAL	8.152
ALAJUELA	POAS	SAN JUAN	CENTRAL	5.485
ALAJUELA	POAS	SAN RAFAEL	CENTRAL	6.461
ALAJUELA	POAS	CARRILLOS	CENTRAL	10.962
ALAJUELA	POAS	SABANA REDONDA	CENTRAL	2.946
ALAJUELA	OROTINA	OROTINA	PACIFICO CENTRAL	10.507
ALAJUELA	OROTINA	MASTATE	PACIFICO CENTRAL	2.178
ALAJUELA	OROTINA	HACIENDA VIEJA	PACIFICO CENTRAL	1.212
ALAJUELA	OROTINA	COYOLAR	PACIFICO CENTRAL	7.395
ALAJUELA	OROTINA	CEIBA	PACIFICO CENTRAL	2.494
ALAJUELA	SAN CARLOS	QUESADA	HUETAR NORTE	45.580
ALAJUELA	SAN CARLOS	FLORENCIA	HUETAR NORTE	18.072
ALAJUELA	SAN CARLOS	BUENAVISTA	HUETAR NORTE	403
ALAJUELA	SAN CARLOS	AGUAS ZARCAS	HUETAR NORTE	25.373
ALAJUELA	SAN CARLOS	VENECIA	HUETAR NORTE	11.772
ALAJUELA	SAN CARLOS	PITAL	HUETAR NORTE	24.131
ALAJUELA	SAN CARLOS	FORTUNA	HUETAR NORTE	19.004
ALAJUELA	SAN CARLOS	TIGRA	HUETAR NORTE	7.762
ALAJUELA	SAN CARLOS	PALMERA	HUETAR NORTE	7.719
ALAJUELA	SAN CARLOS	VENADO	HUETAR NORTE	2.137
ALAJUELA	SAN CARLOS	CUTRIS	HUETAR NORTE	14.836
ALAJUELA	SAN CARLOS	MONTERREY	HUETAR NORTE	4.220
ALAJUELA	SAN CARLOS	POCOSOL	HUETAR NORTE	19.142
ALAJUELA	ZARCERO	ZARCERO	CENTRAL	4.361
ALAJUELA	ZARCERO	LAGUNA	CENTRAL	1.985
ALAJUELA	ZARCERO	TAPEZCO	CENTRAL	1.544
ALAJUELA	ZARCERO	GUADALUPE	CENTRAL	1.392
ALAJUELA	ZARCERO	PALMIRA	CENTRAL	1.669

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
ALAJUELA	ZARCERO	ZAPOTE	CENTRAL	919
ALAJUELA	ZARCERO	BRISAS	CENTRAL	2.471
ALAJUELA	SARCHI	SARCHI NORTE	CENTRAL	8.294
ALAJUELA	SARCHI	SARCHI SUR	CENTRAL	6.385
ALAJUELA	SARCHI	TORO AMARILLO	CENTRAL	374
ALAJUELA	SARCHI	SAN PEDRO	CENTRAL	4.355
ALAJUELA	SARCHI	RODRIGUEZ	CENTRAL	2.758
ALAJUELA	UPALA	UPALA	HUETAR NORTE	16.261
ALAJUELA	UPALA	AGUAS CLARAS	HUETAR NORTE	5.662
ALAJUELA	UPALA	SAN JOSE	HUETAR NORTE	8.654
ALAJUELA	UPALA	BIJAGUA	HUETAR NORTE	5.297
ALAJUELA	UPALA	DELICIAS	HUETAR NORTE	5.372
ALAJUELA	UPALA	DOS RIOS	HUETAR NORTE	3.925
ALAJUELA	UPALA	YOLILLAL	HUETAR NORTE	4.030
ALAJUELA	UPALA	CANALETE	HUETAR NORTE	4.854
ALAJUELA	LOS CHILES	LOS CHILES	HUETAR NORTE	20.484
ALAJUELA	LOS CHILES	CAÑO NEGRO	HUETAR NORTE	2.281
ALAJUELA	LOS CHILES	EL AMPARO	HUETAR NORTE	7.610
ALAJUELA	LOS CHILES	SAN JORGE	HUETAR NORTE	3.314
ALAJUELA	GUATUSO	SAN RAFAEL	HUETAR NORTE	9.851
ALAJUELA	GUATUSO	BUENAVISTA	HUETAR NORTE	1.951
ALAJUELA	GUATUSO	COTE	HUETAR NORTE	1.082
ALAJUELA	GUATUSO	KATIRA	HUETAR NORTE	6.352
CARTAGO	CARTAGO	ORIENTAL	CENTRAL	12.385
CARTAGO	CARTAGO	OCCIDENTAL	CENTRAL	10.426
CARTAGO	CARTAGO	CARMEN	CENTRAL	19.185
CARTAGO	CARTAGO	SAN NICOLAS	CENTRAL	29.401
CARTAGO	CARTAGO	AGUACALIENTE	CENTRAL	35.814
CARTAGO	CARTAGO	GUADALUPE	CENTRAL	16.324
CARTAGO	CARTAGO	CORRALILLO	CENTRAL	11.918
CARTAGO	CARTAGO	TIERRA BLANCA	CENTRAL	5.815
CARTAGO	CARTAGO	DULCE NOMBRE	CENTRAL	11.858
CARTAGO	CARTAGO	LLANO GRANDE	CENTRAL	5.013
CARTAGO	CARTAGO	QUEBRADILLA	CENTRAL	5.982
CARTAGO	PARAISO	PARAISO	CENTRAL	21.448
CARTAGO	PARAISO	SANTIAGO	CENTRAL	6.387
CARTAGO	PARAISO	OROSI	CENTRAL	10.074
CARTAGO	PARAISO	CACHI	CENTRAL	5.873
CARTAGO	PARAISO	LLANOS DE SANTA LUCIA	CENTRAL	19.159
CARTAGO	LA UNION	TRES RIOS	CENTRAL	9.328
CARTAGO	LA UNION	SAN DIEGO	CENTRAL	24.845
CARTAGO	LA UNION	SAN JUAN	CENTRAL	15.506
CARTAGO	LA UNION	SAN RAFAEL	CENTRAL	15.962
CARTAGO	LA UNION	CONCEPCION	CENTRAL	18.873
CARTAGO	LA UNION	DULCE NOMBRE	CENTRAL	9.063
CARTAGO	LA UNION	SAN RAMON	CENTRAL	4.460
CARTAGO	LA UNION	RIO AZUL	CENTRAL	14.471
CARTAGO	JIMENEZ	JUAN VIÑAS	CENTRAL	7.103
CARTAGO	JIMENEZ	TUCURRIQUE	CENTRAL	5.560
CARTAGO	JIMENEZ	PEJIBAYE	CENTRAL	3.658
CARTAGO	TURRIALBA	TURRIALBA	CENTRAL	27.171
CARTAGO	TURRIALBA	LA SUIZA	CENTRAL	7.972
CARTAGO	TURRIALBA	PERALTA	CENTRAL	618
CARTAGO	TURRIALBA	SANTA CRUZ	CENTRAL	3.775
CARTAGO	TURRIALBA	SANTA TERESITA	CENTRAL	5.376
CARTAGO	TURRIALBA	PAVONES	CENTRAL	4.634
CARTAGO	TURRIALBA	TUIS	CENTRAL	2.974
CARTAGO	TURRIALBA	TAYUTIC	CENTRAL	2.530
CARTAGO	TURRIALBA	SANTA ROSA	CENTRAL	5.722
CARTAGO	TURRIALBA	TRES EQUIS	CENTRAL	1.960
CARTAGO	TURRIALBA	LA ISABEL	CENTRAL	6.361
CARTAGO	TURRIALBA	CHIRRIPO	CENTRAL	4.566
CARTAGO	ALVARADO	PACAYAS	CENTRAL	5.940
CARTAGO	ALVARADO	CERVANTES	CENTRAL	6.816
CARTAGO	ALVARADO	CAPELLADES	CENTRAL	2.677
CARTAGO	OREAMUNO	SAN RAFAEL	CENTRAL	29.081
CARTAGO	OREAMUNO	COT	CENTRAL	11.106
CARTAGO	OREAMUNO	POTRERO CERRADO	CENTRAL	2.653
CARTAGO	OREAMUNO	CIPRESES	CENTRAL	4.161

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
CARTAGO	OREAMUNO	SANTA ROSA	CENTRAL	2.971
CARTAGO	EL GUARCO	TEJAR	CENTRAL	26.786
CARTAGO	EL GUARCO	SAN ISIDRO	CENTRAL	11.425
CARTAGO	EL GUARCO	TOBOSI	CENTRAL	7.644
CARTAGO	EL GUARCO	PATIO DE AGUA	CENTRAL	449
HEREDIA	HEREDIA	HEREDIA	CENTRAL	19.117
HEREDIA	HEREDIA	MERCEDES	CENTRAL	29.701
HEREDIA	HEREDIA	SAN FRANCISCO	CENTRAL	58.661
HEREDIA	HEREDIA	ULLOA	CENTRAL	34.784
HEREDIA	HEREDIA	VARA BLANCA	CENTRAL	945
HEREDIA	BARVA	BARVA	CENTRAL	5.076
HEREDIA	BARVA	SAN PEDRO	CENTRAL	11.675
HEREDIA	BARVA	SAN PABLO	CENTRAL	9.823
HEREDIA	BARVA	SAN ROQUE	CENTRAL	5.370
HEREDIA	BARVA	SANTA LUCÍA	CENTRAL	8.325
HEREDIA	BARVA	SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA	CENTRAL	6.733
HEREDIA	SANTO DOMINGO	SANTO DOMINGO	CENTRAL	5.086
HEREDIA	SANTO DOMINGO	SAN VICENTE	CENTRAL	7.932
HEREDIA	SANTO DOMINGO	SAN MIGUEL	CENTRAL	7.846
HEREDIA	SANTO DOMINGO	PARACITO	CENTRAL	2.776
HEREDIA	SANTO DOMINGO	SANTO TOMAS	CENTRAL	7.822
HEREDIA	SANTO DOMINGO	SANTA ROSA	CENTRAL	9.074
HEREDIA	SANTO DOMINGO	TURES	CENTRAL	4.380
HEREDIA	SANTO DOMINGO	PARA	CENTRAL	4.129
HEREDIA	SANTA BARBARA	SANTA BARBARA	CENTRAL	6.344
HEREDIA	SANTA BARBARA	SAN PEDRO	CENTRAL	6.811
HEREDIA	SANTA BARBARA	SAN JUAN	CENTRAL	9.069
HEREDIA	SANTA BARBARA	JESÚS	CENTRAL	11.493
HEREDIA	SANTA BARBARA	SANTO DOMINGO	CENTRAL	3.595
HEREDIA	SANTA BARBARA	PURABÁ	CENTRAL	5.466
HEREDIA	SAN RAFAEL	SAN RAFAEL	CENTRAL	10.704
HEREDIA	SAN RAFAEL	SAN JOSECITO	CENTRAL	13.964
HEREDIA	SAN RAFAEL	SANTIAGO	CENTRAL	10.250
HEREDIA	SAN RAFAEL	ANGELES	CENTRAL	12.681
HEREDIA	SAN RAFAEL	CONCEPCIÓN	CENTRAL	7.670
HEREDIA	SAN ISIDRO	SAN ISIDRO	CENTRAL	6.383
HEREDIA	SAN ISIDRO	SAN JOSÉ	CENTRAL	8.690
HEREDIA	SAN ISIDRO	CONCEPCIÓN	CENTRAL	3.047
HEREDIA	SAN ISIDRO	SAN FRANCISCO	CENTRAL	5.110
HEREDIA	BELEN	SAN ANTONIO	CENTRAL	11.537
HEREDIA	BELEN	LA RIBERA	CENTRAL	7.581
HEREDIA	BELEN	ASUNCION	CENTRAL	7.341
HEREDIA	FLORES	SAN JOAQUIN	CENTRAL	8.289
HEREDIA	FLORES	BARRANTES	CENTRAL	5.220
HEREDIA	FLORES	LLORENTE	CENTRAL	11.377
HEREDIA	SAN PABLO	SAN PABLO	CENTRAL	21.362
HEREDIA	SAN PABLO	RINCON DE SABANILLA	CENTRAL	9.838
HEREDIA	SARAPIQUI	PUERTO VIEJO	HUETAR NORTE	29.785
HEREDIA	SARAPIQUI	VIRGEN	HUETAR NORTE	15.656
HEREDIA	SARAPIQUI	HORQUETAS	HUETAR NORTE	34.118
HEREDIA	SARAPIQUI	LLANURAS DEL GASPAS	HUETAR NORTE	1.947
HEREDIA	SARAPIQUI	CUREÑA	HUETAR NORTE	1.509
GUANACASTE	LIBERIA	LIBERIA	CHOROTEGA	64.912
GUANACASTE	LIBERIA	CAÑAS DULCES	CHOROTEGA	3.950
GUANACASTE	LIBERIA	MAYORGA	CHOROTEGA	1.969
GUANACASTE	LIBERIA	NACASCOLO	CHOROTEGA	2.999
GUANACASTE	LIBERIA	CURUBANDE	CHOROTEGA	3.139
GUANACASTE	NICOYA	NICOYA	CHOROTEGA	26.693
GUANACASTE	NICOYA	MANSION	CHOROTEGA	5.768
GUANACASTE	NICOYA	SAN ANTONIO	CHOROTEGA	7.091
GUANACASTE	NICOYA	QUEBRADA HONDA	CHOROTEGA	2.587
GUANACASTE	NICOYA	SAMARA	CHOROTEGA	4.561
GUANACASTE	NICOYA	NOSARA	CHOROTEGA	6.873
GUANACASTE	NICOYA	BELEN DE NOSARITA	CHOROTEGA	3.018
GUANACASTE	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	CHOROTEGA	27.278
GUANACASTE	SANTA CRUZ	BOLSON	CHOROTEGA	2.113

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
GUANACASTE	SANTA CRUZ	VEINTISIETE DE ABRIL	CHOROTEGA	8.912
GUANACASTE	SANTA CRUZ	TEMPATE	CHOROTEGA	6.240
GUANACASTE	SANTA CRUZ	CARTAGENA	CHOROTEGA	4.935
GUANACASTE	SANTA CRUZ	CUAJINIKUIL	CHOROTEGA	2.543
GUANACASTE	SANTA CRUZ	DIRIA	CHOROTEGA	4.834
GUANACASTE	SANTA CRUZ	CABO VELAS	CHOROTEGA	4.223
GUANACASTE	SANTA CRUZ	TAMARINDO	CHOROTEGA	7.861
GUANACASTE	BAGACES	BAGACES	CHOROTEGA	15.857
GUANACASTE	BAGACES	FORTUNA	CHOROTEGA	3.072
GUANACASTE	BAGACES	MOGOTE	CHOROTEGA	4.024
GUANACASTE	BAGACES	RIO NARANJO	CHOROTEGA	1.177
GUANACASTE	CARRILLO	FILADELFIA	CHOROTEGA	8.804
GUANACASTE	CARRILLO	PALMIRA	CHOROTEGA	6.594
GUANACASTE	CARRILLO	SARDINAL	CHOROTEGA	19.296
GUANACASTE	CARRILLO	BELEN	CHOROTEGA	11.245
GUANACASTE	CAÑAS	CAÑAS	CHOROTEGA	25.971
GUANACASTE	CAÑAS	PALMIRA	CHOROTEGA	1.337
GUANACASTE	CAÑAS	SAN MIGUEL	CHOROTEGA	2.045
GUANACASTE	CAÑAS	BEBEDERO	CHOROTEGA	2.542
GUANACASTE	CAÑAS	POROZAL	CHOROTEGA	790
GUANACASTE	ABANGARES	JUNTAS	CHOROTEGA	10.320
GUANACASTE	ABANGARES	SIERRA	CHOROTEGA	2.779
GUANACASTE	ABANGARES	SAN JUAN	CHOROTEGA	1.826
GUANACASTE	ABANGARES	COLORADO	CHOROTEGA	5.091
GUANACASTE	TILARAN	TILARAN	CHOROTEGA	9.344
GUANACASTE	TILARAN	QUEBRADA GRANDE	CHOROTEGA	3.064
GUANACASTE	TILARAN	TRONADORA	CHOROTEGA	2.008
GUANACASTE	TILARAN	SANTA ROSA	CHOROTEGA	2.162
GUANACASTE	TILARAN	LIBANO	CHOROTEGA	954
GUANACASTE	TILARAN	TIERRAS MORENAS	CHOROTEGA	1.532
GUANACASTE	TILARAN	ARENAL	CHOROTEGA	2.685
GUANACASTE	NANDAYURE	CARMONA	CHOROTEGA	2.621
GUANACASTE	NANDAYURE	SANTA RITA	CHOROTEGA	1.478
GUANACASTE	NANDAYURE	ZAPOTAL	CHOROTEGA	1.262
GUANACASTE	NANDAYURE	SAN PABLO	CHOROTEGA	2.349
GUANACASTE	NANDAYURE	PORVENIR	CHOROTEGA	762
GUANACASTE	NANDAYURE	BEJUCO	CHOROTEGA	3.315
GUANACASTE	LA CRUZ	LA CRUZ	CHOROTEGA	12.734
GUANACASTE	LA CRUZ	SANTA CECILIA	CHOROTEGA	8.885
GUANACASTE	LA CRUZ	GARITA	CHOROTEGA	2.565
GUANACASTE	LA CRUZ	SANTA ELENA	CHOROTEGA	2.906
GUANACASTE	HOJANCHA	HOJANCHA	CHOROTEGA	4.640
GUANACASTE	HOJANCHA	MONTE ROMO	CHOROTEGA	727
GUANACASTE	HOJANCHA	PUERTO CARRILLO	CHOROTEGA	1.871
GUANACASTE	HOJANCHA	HUACAS	CHOROTEGA	760
PUNTARENAS	PUNTARENAS	PUNTARENAS	PACIFICO CENTRAL	10.231
PUNTARENAS	PUNTARENAS	PITAHAYA	PACIFICO CENTRAL	2.671
PUNTARENAS	PUNTARENAS	CHOMES	PACIFICO CENTRAL	6.494
PUNTARENAS	PUNTARENAS	LEPANTO	PACIFICO CENTRAL	10.348
PUNTARENAS	PUNTARENAS	PAQUERA	PACIFICO CENTRAL	8.224
PUNTARENAS	PUNTARENAS	MANZANILLO	PACIFICO CENTRAL	3.375
PUNTARENAS	PUNTARENAS	GUACIMAL	PACIFICO CENTRAL	1.156
PUNTARENAS	PUNTARENAS	BARRANCA	PACIFICO CENTRAL	38.071
PUNTARENAS	PUNTARENAS	MONTE VERDE	PACIFICO CENTRAL	4.855
PUNTARENAS	PUNTARENAS	COBANO	PACIFICO CENTRAL	9.516
PUNTARENAS	PUNTARENAS	CHACARITA	PACIFICO CENTRAL	20.579
PUNTARENAS	PUNTARENAS	CHIRA	PACIFICO CENTRAL	1.690
PUNTARENAS	PUNTARENAS	ACAPULCO	PACIFICO CENTRAL	1.531
PUNTARENAS	PUNTARENAS	EL ROBLE	PACIFICO CENTRAL	20.593
PUNTARENAS	PUNTARENAS	ARANCIBIA	PACIFICO CENTRAL	768
PUNTARENAS	ESPARZA	ESPIRITU SANTO	PACIFICO CENTRAL	21.682
PUNTARENAS	ESPARZA	SAN JUAN GRANDE	PACIFICO CENTRAL	8.604
PUNTARENAS	ESPARZA	MACACONA	PACIFICO CENTRAL	5.302
PUNTARENAS	ESPARZA	SAN RAFAEL	PACIFICO CENTRAL	1.674
PUNTARENAS	ESPARZA	SAN JERONIMO	PACIFICO CENTRAL	921
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BUENOS AIRES	BRUNCA	28.002
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	VOLCAN	BRUNCA	3.744
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	POTRERO GRANDE	BRUNCA	6.486
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BORUCA	BRUNCA	3.283

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	REGION	POBLACION
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	PILAS	BRUNCA	1.757
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	COLINAS	BRUNCA	1.402
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	CHANGUENA	BRUNCA	2.915
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BIOLLEY	BRUNCA	2.608
PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BRUNKA	BRUNCA	3.239
PUNTARENAS	MONTES DE ORO	MIRAMAR	PACIFICO CENTRAL	8.894
PUNTARENAS	MONTES DE ORO	UNION	PACIFICO CENTRAL	1.490
PUNTARENAS	MONTES DE ORO	SAN ISIDRO	PACIFICO CENTRAL	3.939
PUNTARENAS	OSA	PUERTO CORTES	BRUNCA	8.720
PUNTARENAS	OSA	PALMAR	BRUNCA	9.722
PUNTARENAS	OSA	SIERPE	BRUNCA	3.609
PUNTARENAS	OSA	BAHIA BALLENA	BRUNCA	3.445
PUNTARENAS	OSA	PIEDRAS BLANCAS	BRUNCA	4.499
PUNTARENAS	OSA	BAHIA DRAKE	BRUNCA	1.144
PUNTARENAS	AGUIRRE	QUEPOS	PACIFICO CENTRAL	24.846
PUNTARENAS	AGUIRRE	SAVEGRE	PACIFICO CENTRAL	4.036
PUNTARENAS	AGUIRRE	NARANJITO	PACIFICO CENTRAL	4.187
PUNTARENAS	GOLFITO	GOLFITO	BRUNCA	11.853
PUNTARENAS	GOLFITO	PUERTO JIMENEZ	BRUNCA	12.199
PUNTARENAS	GOLFITO	GUAYCARA	BRUNCA	14.010
PUNTARENAS	GOLFITO	PAVON	BRUNCA	7.511
PUNTARENAS	COTO BRUS	SAN VITO	BRUNCA	16.651
PUNTARENAS	COTO BRUS	SABALITO	BRUNCA	13.190
PUNTARENAS	COTO BRUS	AGUA BUENA	BRUNCA	7.044
PUNTARENAS	COTO BRUS	LIMONCITO	BRUNCA	4.147
PUNTARENAS	COTO BRUS	PITTIER	BRUNCA	3.276
PUNTARENAS	PARRITA	PARRITA	PACIFICO CENTRAL	20.199
PUNTARENAS	CORREDORES	CORREDOR	BRUNCA	19.944
PUNTARENAS	CORREDORES	LA CUESTA	BRUNCA	5.180
PUNTARENAS	CORREDORES	CANOAS	BRUNCA	15.438
PUNTARENAS	CORREDORES	LAUREL	BRUNCA	11.857
PUNTARENAS	GARABITO	JACO	PACIFICO CENTRAL	17.668
PUNTARENAS	GARABITO	TARCOLES	PACIFICO CENTRAL	8.360
LIMON	LIMON	LIMON	HUETAR CARIBE	61.135
LIMON	LIMON	VALLE LA ESTRELLA	HUETAR CARIBE	20.416
LIMON	LIMON	RIO BLANCO	HUETAR CARIBE	9.987
LIMON	LIMON	MATAMA	HUETAR CARIBE	8.298
LIMON	POCOCI	GUAPILES	HUETAR CARIBE	38.320
LIMON	POCOCI	JIMENEZ	HUETAR CARIBE	12.712
LIMON	POCOCI	RITA	HUETAR CARIBE	28.580
LIMON	POCOCI	ROXANA	HUETAR CARIBE	19.879
LIMON	POCOCI	CARIARI	HUETAR CARIBE	39.412
LIMON	POCOCI	COLORADO	HUETAR CARIBE	4.924
LIMON	POCOCI	LA COLONIA	HUETAR CARIBE	6.837
LIMON	SIQUIRRES	SIQUIRRES	HUETAR CARIBE	34.465
LIMON	SIQUIRRES	PACUARITO	HUETAR CARIBE	10.589
LIMON	SIQUIRRES	FLORIDA	HUETAR CARIBE	2.614
LIMON	SIQUIRRES	GERMANIA	HUETAR CARIBE	3.007
LIMON	SIQUIRRES	CAIRO	HUETAR CARIBE	7.448
LIMON	SIQUIRRES	ALEGRIA	HUETAR CARIBE	6.800
LIMON	TALAMANCA	BRATSI	HUETAR CARIBE	10.117
LIMON	TALAMANCA	SIXAOLA	HUETAR CARIBE	11.667
LIMON	TALAMANCA	CAHUITA	HUETAR CARIBE	13.022
LIMON	TALAMANCA	TELIRE	HUETAR CARIBE	8.347
LIMON	MATINA	MATINA	HUETAR CARIBE	10.376
LIMON	MATINA	BATAN	HUETAR CARIBE	20.326
LIMON	MATINA	CARRANDI	HUETAR CARIBE	15.677
LIMON	GUACIMO	GUACIMO	HUETAR CARIBE	25.118
LIMON	GUACIMO	MERCEDES	HUETAR CARIBE	2.311
LIMON	GUACIMO	POCORA	HUETAR CARIBE	8.266
LIMON	GUACIMO	RIO JIMENEZ	HUETAR CARIBE	11.487
LIMON	GUACIMO	DUACARI	HUETAR CARIBE	7.946

Nota: Tomado de INEC, 2021

Tabla A.1.11

Cantidad de ganado vacuno de leche, según edad, en el año 2020

Edad	Cantidad de animales (animales/año)
Menores de 1 año	39.302
De 1 a menos de 2 años	38.256
De 2 años y más	129.484

Nota: Tomado de INEC, 2021

Tabla A.1.12

Total de ganado porcino según fase productiva en el año 2020

Fase productiva	Cantidad de animales (animales/año)
Lactancia	73.327
Inicio	106.907
Desarrollo	102.956
Engorde	68.454

Nota: Datos tomados de INEC, 2021

Tabla A.1.13

Área cultivada de palma aceitera por distrito en el año 2018

REGION MIDEPLAN	PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	Área cubierta por palma (Ha)
HUETAR NORTE	ALAJUELA	UPALA	SAN JOSE	6,25
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	SAN JORGE	17,66
HUETAR NORTE	ALAJUELA	LOS CHILES	LOS CHILES	0,93
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	CUTRIS	521,09
HUETAR NORTE	ALAJUELA	SAN CARLOS	POCOSOL	117,90
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	LAS HORQUETAS	33,73
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	LA VIRGEN	66,16
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	PUERTO VIEJO	1.197,52
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	LLANURA DEL GASPAS	381,85
HUETAR NORTE	HEREDIA	SARAPIQUI	CUREÑA	87,71
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	ALEGRÍA	16,65
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	GERMANIA	6,41
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	PACUARITO	4,57
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	EL CAIRO	107,39
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	REVENTAZON	409,40
HUETAR CARIBE	LIMON	SIQUIRRES	SIQUIRRES	3,62
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	DUACARI	32,10
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	GUACIMO	167,91
HUETAR CARIBE	LIMON	GUACIMO	RIO JIMENEZ	611,32
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	LA COLONIA	7,16
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	JIMENEZ	83,00
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	GUAPILES	7,08
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	ROXANA	102,14
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	CARIARI	263,94
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	RITA	632,47
HUETAR CARIBE	LIMON	POCOCI	COLORADO	878,45
HUETAR CARIBE	LIMON	MATINA	CARRANDI	104,45
HUETAR CARIBE	LIMON	MATINA	MATINA	333,37
HUETAR CARIBE	LIMON	MATINA	BATAN	186,29
HUETAR CARIBE	LIMON	LIMON	RIO BLANCO	146,86
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	DANIEL FLORES	21,38

REGION MIDEPLAN	PROVINCIA	CANTON	DISTRITO	Área cubierta por palma (Ha)
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	EL GENERAL	54,70
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	BARU	84,09
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	CAJON	75,75
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN PEDRO	46,98
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	LA AMISTAD	124,61
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	SAN ISIDRO DEL GENERAL	35,84
BRUNCA	SAN JOSE	PEREZ ZELEDON	RIO NUEVO	25,99
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	CHANGUENA	6,97
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	COLINAS	52,79
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BORICA	38,07
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	PILAS	57,55
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BIOLLEY	184,17
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BRUNKA	38,65
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	VOLCAN	109,86
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	POTRERO GRANDE	145,85
BRUNCA	PUNTARENAS	BUENOS AIRES	BUENOS AIRES	265,00
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	BAHIA DRAKE	454,79
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	IEDRAS BLANCAS	2.321,54
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	SIERPE	3.641,94
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	PALMAR	2.817,20
BRUNCA	PUNTARENAS	OSA	PUERTO CORTES	1.165,58
BRUNCA	PUNTARENAS	GOLFITO	GOLFITO	1.116,15
BRUNCA	PUNTARENAS	GOLFITO	GUAYCARA	5.084,22
BRUNCA	PUNTARENAS	GOLFITO	PAVON	3.757,06
BRUNCA	PUNTARENAS	GOLFITO	PUERTO JIMENEZ	1.603,61
BRUNCA	PUNTARENAS	COTO BRUS	LIMONCITO	126,88
BRUNCA	PUNTARENAS	COTO BRUS	GUTIERREZ BRAUN	15,04
BRUNCA	PUNTARENAS	COTO BRUS	PITTIER	19,40
BRUNCA	PUNTARENAS	COTO BRUS	SAN VITO	10,31
BRUNCA	PUNTARENAS	CORREDORES	LAUREL	9.286,99
BRUNCA	PUNTARENAS	CORREDORES	CANOAS	4.141,38
BRUNCA	PUNTARENAS	CORREDORES	CORREDOR	8.061,12
BRUNCA	PUNTARENAS	CORREDORES	LA CUESTA	2.500,91
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	GARABITO	JACO	117,81
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	GARABITO	TARCOLES	0,04
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PARRITA	PARRITA	6.130,58
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	PITAHAYA	42,67
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	PUNTARENAS	CHOMES	108,20
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	AGUIRRE	SAVEGRE	1.488,37
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	AGUIRRE	NARANJITO	390,21
PACIFICO CENTRAL	PUNTARENAS	AGUIRRE	QUEPOS	8.298,14
CENTRAL	SAN JOSE	ACOSTA	SABANILLAS	10,22
CENTRAL	SAN JOSE	PURISCAL	CHIRES	581,45
CENTRAL	SAN JOSE	PURISCAL	MERCEDES SUR	81,82
CENTRAL	SAN JOSE	TURRUBARES	CARARA	113,27

Nota: Datos tomados de Vargas 2022

Tabla A.1.14

Producción de leña de aserraderos en el año 2020

PROCEDENCIA	PORCENTAJE DE PROCEDENCIA	AÑO	Producción (m ³ -r/año)
PLANTACIONES FORESTALES	77,1%	2020	814.731,00
TERRENOS DE USO AGROPECUARIO	18,6%	2020	814.731,00
BOSQUES	4,3%	2020	814.731,00

Nota: Tomado de SEPSE, 2022

Tabla A.1.15

Otros datos empleados

Actividad	Dato	Valor
Caña de azúcar ¹	Área sembrada (Ha)	62.665
	Producción de caña (t/año)	4.092.123
Piña ¹	Área sembrada (Ha)	40.000
	Producción de piña (t/año)	2.648.138
Palma aceitera ¹	Área sembrada (Ha)	75.610
	Producción de palma (t/año)	1.156.000
Leña ²	Potencial energético bruto de la leña por oferta interna en el 2020 (TJ/año)	5.080

Nota: Datos tomados de 1) SEPSA, 2021 y 2) SEPSE, 2022

A.2 Parámetros empleados en los cálculos

Tabla A.2.1

Parámetros empleados en el cálculo de generación eléctrica y potencia por instalar a partir de biogás proveniente de biomásas húmedas

Actividad	Tipo de biomasa	Parámetro	Valor	Referencia	
Caña	Rastrojo de caña (RC)	Humedad (%)	70	(Coto et al., 2013)	
		Generación de rastrojo de caña (t RC / t caña)	0,232	(Jenjariyakosoln et al., 2013)	
		Rendimiento de metano (L CH ₄ /kg RC)	115,5	(Valdés, 2018)	
	Vinaza	Humedad (%)	91	(Aristizábal, 2015)	
		Generación de vinaza (L vinaza/ L alcohol)	12	(Chaves, 1985)	
		DQO vinazas (mg/L)	44.500	(Barros et al., 2017)	
		Eficiencia de remoción de DQO (%)	60	(Barros et al., 2017)	
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ / kg DQO)	0,35	(Lorenzo et al., 2014)	
	Cachaza	Humedad (%)	73,6	(Coto et al., 2013)	
		Generación de cachaza (t cachaza / t caña)	0,04	(Mornadini)	
		Contenido de sólidos totales (t ST/t cachaza)	0,3	(Roldán, 2012)	
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,85	(Roldán, 2012)	
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /kg SV)	0,1	(Hernandez & Tabla, 1999)	
	Piña	Rastrojo de piña (RP)	Humedad (%)	87	(Coto et al., 2013)
			Generación de rastrojo (t RP/Ha)	250	(González, 2012)
Contenido de sólidos totales (t ST/t RP)			0,099	(Viquez, 2017)	
Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)			0,932	(Viquez, 2017)	
Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)			367	(Prakash et al., 2022)	
Corona de piña		Humedad (%)	87	(Coto et al., 2013)	
		Generación de corona de piña (t corona/t piña)	0,003	(Roldán, 2012)	
		Contenido de sólidos totales (t ST/T corona)	0,141	(Viquez, 2017)	
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,838	(Viquez, 2017)	
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	263	(Viquez, 2017)	
Café	Aguas residuales	Generación de aguas residuales (m ³ /fanega)	0,2178 – 0,4288	(Chacón, 2022)	
		DQO de aguas residuales del café (mg DQO/L)	20.000	(Chacón, 2022)	
		Eficiencia de remoción de DQO (%)	60	(Metcalf & Eddy, 2003)	
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /kg DQO)	0,34	(Metcalf & Eddy, 2003)	
	Pulpa	Humedad (%)	81	(Coto et al., 2013)	
		Generación de pulpa (t pulpa/t café fruta)	0,4358	(Viquez, 2017)	
		Contenido de sólidos totales (t ST/t pulpa)	0,1956	(Viquez, 2017)	
		Contenido de sólidos volátiles	0,837	(Viquez, 2017)	

Actividad	Tipo de biomasa	Parámetro	Valor	Referencia
		(t SV/t ST)		
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	0,1975	(Viquez, 2017)
	Mucilago	Humedad (%)	81	(Coto et al., 2013)
		Generación de mucílago (t muc/café fruta)	0,149	(Viquez, 2017)
		Contenido de sólidos totales (t ST/t muc)	0,075	(Viquez, 2017)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,8227	(Viquez, 2017)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	0,30075	(Viquez, 2017)
Banano	Vástago de banano	Humedad (%)	93	(Coto et al., 2013)
		Generación de vástago de banano (t vástago/t banano)	2,4	(Li et al., 2016)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t vástago)	0,038	(Li et al., 2016)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	347	(Li et al., 2016)
	Banano de rechazo (BR)	Humedad (%)	85	(Coto et al., 2013)
		Generación de banano de rechazo (t BR/t banano)	0,114	(Roldán, 2012)
		Contenido de sólidos totales (t ST/t BR)	0,1151	(Zhengyun, 2013)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,8852	(Zhengyun, 2013)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /kg SV)	0,367	(Khan et al., 2016)
	Pinzote de banano	Humedad (%)	94	(Coto et al., 2013)
		Generación de pinzote de banano (t pinzote/t banano)	0,094	(Roldán, 2012)
		Contenido de sólidos totales (t ST/t banano)	0,0795	(Zhengyun, 2013)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,8053	(Zhengyun, 2013)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	25,6	(Khan et al., 2016)
	Ganadería de carne y doble propósito	Estiércol de bovino	Humedad (%)	80
Peso vivo menores de 1 año (kg animal)			150	(Pérez, 2017)
Peso vivo de 1 a menos de 2 años año (kg animal)			300	(Pérez, 2017)
Peso vivo de 2 años y más (kg animal)			450	(Pérez, 2017)
Generación de estiércol por animal (kg/animal-día)			0,065	(Botero, 2008)
Contenido de materia seca (%)			8	(Al Seadi et al. 2013)
Contenido de sólidos volátiles (t SV/t materia seca)			0,8	(Al Seadi et al. 2013)
Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)			0,2	(Al Seadi et al. 2013)
Arroz	Rastrojo de arroz (RA)	Humedad (%)	83	(Coto et al., 2013)
		Generación de rastrojo de arroz (t/Ha)	2,7	(Van Hung, N. et al., 2020)
		Contenido de sólidos totales (t ST/t RA)	0,8780	(Contreras et al. 2012)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,796	(Contreras et al. 2012)
		Rendimiento de biogás (m ³ biogás/t SV)	0,436	(Contreras et al. 2012)

Actividad	Tipo de biomasa	Parámetro	Valor	Referencia
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ / m ³ biogás)	0,56	(Contreras et al. 2012)
Avicultura	Estiércol de ave	Humedad (%)	70	(Coto et al., 2013)
		Generación de estiércol ave (carne) (g/día-ave)	80	(Williams, 2013)
		Generación de estiércol ave (huevo) (g/día-ave)	120	(Williams, 2013)
		Contenido de materia seca (%)	5	(Al Seadi et al. 2013)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t materia seca)	0,80	(Al Seadi et al. 2013)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	0,3	(Al Seadi et al. 2013)
Aguas residuales domésticas	Aguas residuales domésticas	Caudal promedio de aguas residuales (L/persona-día)	200	(AyA, MINAE, MS, 2016)
		Tasa de retorno a alcantarillado (%)	80	(Ruiz, 2012)
		DQO (mg DQO/L)	430	(Metcalf & Eddy, 2007)
		Eficiencia de remoción de DQO (%)	60	(Metcalf & Eddy, 2003)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /kg DQO)	0,34	(Metcalf & Eddy, 2003)
Residuos sólidos domésticos	Residuos orgánicos	Humedad (%)	50	(Coto et al., 2013)
		Generación de residuos orgánicos (t RO/t residuos)	0,55	(Ministerio de Salud, 2016)
		Contenido de sólidos totales (t ST/t RO)	0,15	(Raposo, 2012)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t ST)	0,8	(Raposo, 2012)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	0,25	(Raposo, 2012)
Ganadería de leche	Estiércol de bovino	Humedad (%)	80	(Coto et al., 2013)
		Peso vivo menores de 1 año (kg animal)	105	(Penno & Mac Donald, 1996)
		Peso vivo de 1 a menos de 2 años (kg animal)	210	(Penno & Mac Donald, 1996)
		Peso vivo de 2 años y más (kg animal)	315	(Penno & Mac Donald, 1996)
		Generación de estiércol por animal (kg/animal-día)	0,065	(Botero, 2008)
		Contenido de materia seca (%)	8	(Al Seadi et al. 2013)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t materia seca)	0,8	(Al Seadi et al. 2013)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	0,2	(Al Seadi et al. 2013)
Porcicultura	Estiércol de porcino	Humedad (%)	85	(Coto et al., 2013)
		Generación de estiércol por animal (lactancia) (kg/animal-día)	1,08	(Murillo, 2007)
		Generación de estiércol por animal (Inicio) (kg/animal-día)	1,78	(Murillo, 2007)
		Generación de estiércol por animal (Desarrollo) (kg/animal-día)	3,07	(Murillo, 2007)
		Generación de estiércol por animal (Engorde) (kg/animal-día)	4,22	(Murillo, 2007)

Actividad	Tipo de biomasa	Parámetro	Valor	Referencia
		Contenido de materia seca (%)	20	(Al Seadi et al. 2013)
		Contenido de sólidos volátiles (t SV/t materia seca)	0,8	(Al Seadi et al. 2013)
		Rendimiento de metano (m ³ CH ₄ /t SV)	0,3	(Al Seadi et al. 2013)
Palma aceitera	Aguas residuales de procesamiento de palma	Generación de aguas residuales de PA (m ³ AR/t fruta)	0,834	(Roldán, 2012)
		DQO (g/m ³)	50.000	(Najafpur, 2006)
		Eficiencia de remoción de DQO (%)	60	(Metcalf & Eddy, 2003)
		Rendimiento de metano (L CH ₄ /g DQO removido)	0,3461	(Najafpur, 2006)

Tabla A.2.2

Parámetros empleados en el cálculo de generación eléctrica y potencia por instalar ruta termoquímica

Actividad	Tipo de biomasa	Contenido de humedad en base húmeda (%)	Rendimiento	Poder Calórico Superior (base seca) (GJ/t)	Referencia
Caña	Bagazo	50,0	0,25	17,50	(Heiskanen & Peltonen, 2005) y (Laica, s.f.)
	Fibra de pinzote	55,0	0,22	18,62	(Rojas), (Yacob, 2008) y (Heiskanen & Peltonen, 2005)
Palma aceitera	Fibra de mesocarpio	37,0	0,13	19,43	(Rojas), (Yacob, 2008) y (Heiskanen & Peltonen, 2005)
	Cascarilla de coquito	17,0	0,05	22,94	(Rojas), (Yacob, 2008) y (Heiskanen & Peltonen, 2005)
Aserraderos	Leña de aserraderos	50,0	0,299	18,50	(Chacón L., 2012) y (Coto, 2013)
	Aserrín	32,0	0,103	18,50	(Chacón L., 2012) y (Coto, 2013)
	Burucha	32,5	0,008	18,50	(Chacón L., 2012)
Arroz	Cascarilla de arroz	13	0,23	15,43	Conarroz (Iyer, Prao, PD & Singh, 1997) y (Heiskanen & Peltonen, 2005) y (Laica, s.f.)
Café	Cascarilla de café	11,0	0,043	17,93	(Heiskanen & Peltonen, 2005) y (Chacón R.)

Tabla A.2.3

Otros parámetros empleados

Parámetro	Valor	Referencia
Potencial de energía a partir de metano al 100% (kWh/Nm ³ CH ₄)	9,97	(Suhartini, et al., 2019)
Eficiencia de generación eléctrica (%)	38	Amador, 2022
Factor de generación eléctrica a partir potencial energético bruto de la biomasa seca (GWh/GJ)	0,000277778	Himmelblau, 1997

Eficiencia de generación eléctrica de caldera (%)	20	Amador, 2022
---	----	--------------

A.3 Resultados

Tabla A.3.1

Energía eléctrica y potencia por instalar por tipo de biomasa y residuo

SECTOR/RESIDUO	Energía eléctrica (GWh/año)	Potencia por instalar (MW)
BIOMASA HÚMEDA	2548	440
Caña de azúcar	440	153
Rastrojo de caña	415	144
Cachaza	16	5
Vinaza	9	3
Piña	641	74
Rastrojo de piña	641	74
Corona	9,35x10 ⁻⁰⁴	1,08x10 ⁻⁰⁴
Café	131	45
Aguas residuales del café	99	34
Pulpa	27	9
Mucílago	5	2
Banano	357	41
Vástago de banano	313	36
Banano de rechazo	42	5
Pinzote de banano	2	0,177
Arroz	58	20
Rastrojo de arroz	58	20
Aguas residuales domésticas	99	11
Aguas residuales domésticas	99	11
Residuos sólidos domiciliarios	73	8
Residuos orgánicos domésticos	73	8
Palma aceitera	38	4
Aguas residuales de la palma	38	4
Ganadería de carne	347	40
Estiércol de bovino	347	40
Ganadería de leche	61	7
Estiércol de bovino	61	7
Ganadería doble propósito	126	15
Estiércol de bovino	126	15
Avicultura	119	14
Estiércol de ave	119	14
Porcicultura	58	7
Estiércol de porcino	58	7
BIOMASA SECA	1012	242
Caña de azúcar	497	173
Bagazo	497	173
Palma aceitera	282	33
Fibra de pinzote	118	14
Mesocarpio	102	12
Cascarilla de coquito	61	7
Arroz	26	9
Cascarilla de arroz	26	9
Café	19	7
Cascarilla de café	19	7
Aserraderos	188	22
Leña	0,282	0,032
TOTAL	3560	683

A.4 Muestra de cálculo

A.4.1 Cálculo del volumen de metano a partir de biomasa húmedas (cachaza, rastrojo de caña, rastrojo de piña, corona, pulpa, mucílago, pinzote, banano de descarte, vástago de banano, rastrojo de arroz)

Se empleó la siguiente fórmula:

$$V_{CH_4} = m \cdot G \cdot ST \cdot SV \cdot R_{CH_4} = [m^3/año]$$

Donde m es la producción anual del residuo [t/año], G la tasa de generación de biomasa [$t_{biomasa}/t_{producto}$], ST es el contenido de sólidos totales de la biomasa [$t_{ST}/t_{biomasa}$], SV el contenido de sólidos volátiles [t_{SV}/t_{ST}] y R_{CH_4} el rendimiento de metano [$m^3 CH_4/kg_{SV}$].

A.4.2 Cálculo de la generación eléctrica teórica para biomasa húmeda

Se empleó la siguiente fórmula:

$$E_T = V_{CH_4} \cdot F = [GWh/año]$$

Donde V_{CH_4} es el volumen de metano generado por cada biomasa [$m^3/año$] y F es el factor de generación eléctrica [$kWh/m^3_{CH_4}$].

A.4.3 Cálculo de la energía eléctrica

Se empleó la siguiente fórmula:

$$E = E_T \cdot \varepsilon = [GWh/año]$$

Donde E_T es la generación eléctrica teórica [$GWh/año$] y ε la eficiencia de generación eléctrica [%].

A.4.4 Cálculo de la potencia por instalar

Se empleó la siguiente fórmula:

$$P = \frac{E}{e \cdot 30 \text{ días} \cdot 24 \text{ horas}} \cdot 1000 = [MW]$$

Donde E es la energía eléctrica [$GWh/año$] y e la estacionalidad del producto [meses].

A.4.5 Cálculo del volumen de vinaza

Se empleó la siguiente fórmula:

$$V_{vinaza} = V_{alcohol} \cdot f_{vinaza} = [l/año]$$

Donde $V_{alcohol}$ es la producción anual de alcohol [l/año] y f_{vinaza} la fracción de vinaza producida por cada litro de alcohol producido [l vinaza/l alcohol].

A.4.6 Cálculo del volumen de metano a partir de biomasa líquidas (vinaza, aguas residuales del café, aguas residuales de origen doméstico)

Se empleó la siguiente fórmula:

$$V_{CH_4} = V_{biomasa} \cdot DQO \cdot e_{DQO} \cdot R_{CH_4} = [m^3/año]$$

Donde $V_{biomasa}$ es el volumen de biomasa líquida [l/año], DQO la demanda química de oxígeno [mg/l], e_{DQO} la eficiencia de remoción de DQO en el proceso anaeróbico [%], y R_{CH_4} el rendimiento de metano [m^3 CH₄/kg DQO].

A.4.7 Cálculo de la producción de banano

Se empleó la siguiente fórmula:

$$m_{banano} = 1,1 \cdot m_{banano,exportación} = [tM/año]$$

No se cuenta con estadísticas de producción nacional, pero de acuerdo con información de la Corporación Bananera Nacional (Corbana) se estima que el volumen de exportación corresponde al 85 - 90% de la producción total, por lo que se estimó en un 10% el banano para consumo nacional.

A.4.8 Cálculo de la cantidad de estiércol bovino

Se empleó la siguiente fórmula:

$$m_{estiércol,bovino} = N^{\circ}_{animales} \cdot PV \cdot m_{estiércol,animal-día} = [kg/año]$$

Donde N° animales es la cantidad de animales [animales/año], PV el peso vivo de cada animal [kg/animal], $m_{estiércol,animal-día}$ es la masa de estiércoles generada por cada animal por día [kg/animal/día].

A.4.9 Cálculo del volumen de metano a partir de estiércol bovino, ave, y porcino

Se empleó la siguiente fórmula:

$$V_{CH_4} = m_{estiércol} \cdot MS \cdot SV \cdot R_{CH_4} = [m^3/año]$$

Donde $m_{estiércol,bovino}$ es la cantidad anual de estiércol bovino, MS la materia seca presente en el estiércol [%], SV la cantidad de sólidos volátiles [% de MS], y R_{CH_4} el rendimiento de metano [m^3 CH₄/kg_{SV}].

A.4.10 Cálculo de la cantidad de estiércol de ave y porcino

Se empleó la siguiente fórmula:

$$m_{\text{estiércol,ave}} = N^{\circ}_{\text{animales}} \cdot m_{\text{estiércol,animal-día}} = [\text{kg/año}]$$

Donde N° animales es la cantidad de animales [animales/año], y $m_{\text{estiércol,animal-día}}$ es la masa de estiércoles generada por cada animal por día [kg/animal/día].

A.4.11 Cálculo del volumen de aguas residuales de origen doméstico

Se empleó la siguiente fórmula:

$$Q_{AR} = N^{\circ}_{\text{habitantes}} \cdot Q_{\text{prom}}$$

Donde N° es la cantidad de habitantes y Q_{prom} el caudal promedio de aguas residuales [l/persona/día].

A.4.12 Cálculo de la masa de residuos orgánicos generado

Se empleó la siguiente fórmula:

$$m_{RSO} = N^{\circ}_{\text{habitantes}} \cdot I_{\text{generación}} \cdot REC \cdot f_{RO} = [\text{kg RO/año}]$$

Donde N° es la cantidad de habitantes, I el índice de generación de RS [kg RS/persona/día], REC es el porcentaje de recolección cantonal [%], f_{RO} la fracción orgánica presente en los residuos [%m/m].

A.4.13 Cálculo de la masa de biomasa seca

Se empleó la siguiente fórmula:

$$m_{\text{seca}} = m \cdot G \cdot (1 - H) = [\text{tM/año}]$$

Donde m es la producción anual del producto [t/año], G la tasa de generación de biomasa [$t_{\text{biomasa}}/t_{\text{producto}}$], y H es el contenido de humedad [%].

A.4.14 Cálculo de potencial energético bruto de la biomasa seca

Se empleó la siguiente fórmula:

$$PEB = m_{\text{seca}} \cdot PCS = [\text{GJ/año}]$$

Donde m_{seca} es la masa en base seca de la biomasa [t/año] y PCS el poder calórico de la biomasa [GJ/t].

A.4.15 Cálculo de la generación eléctrica teórica para biomasa seca

$$E_T = PEB \cdot F_1 = [\text{GWh/año}]$$

Donde PEB es el potencial energético bruto [GJ/año] y F_1 es el factor de generación eléctrica [GWh/GJ].