

Proyecto
Tecnologías de energía limpia
para áreas rurales en Cuba.
BIOENERGÍA

ATLAS DE BIOENERGÍA. CUBA
EDICIÓN 2022



**Proyecto Bioenergía
Tecnologías energía limpia para las áreas rurales
en Cuba**

**Atlas de bioenergía. Cuba
Edición 2022**

Mayo 2022

Diseño y composición: Ms.C. Liodibel Pablo Claro Drake
Revisión técnica: Dr.C. Bárbara Garea Moreda (Coordinadora), InSTEC-UH
Inv. Aux. Yoel Suárez Lastre.
Ing. Daylen Milian Pérez.
Mapas: Ing. Francisca Trejejo Montes.
Gráficos y resultados: Dr.C. Alfredo Curbelo Alonso

Cítese como: Curbelo Alonso A.J. *et al.* Atlas de bioenergía. Cuba. Edición 2022.
Cubaenergía. (2022). Editorial Cubaenergía. La Habana, Cuba. 172 pp

© Cubaenergía, 2022

ISBN 978-959-7231-19-6

Editorial CUBAENERGÍA
Calle 20 No. 4111 e/ 18A y 47, Playa,
La Habana, Cuba
Email: comercial@cubaenergia.cu

Autores:

Dr.C. Alfredo Curbelo Alonso / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Ing. Eliany Valera Sterling / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Ing. Daylen Milián Pérez / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Ing. Charlenys Damas German / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Ing. Abel González Rodríguez / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Ms.C. Ariel Rodríguez Rosales / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Dr.C. Roberto Sosa Cáceres / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Inv. Aux. Yoel Suárez Lastre / Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía).

Ms.C. Luis Cepero Casas / Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH)

Ms.C. José Ángel Sotolongo Pérez / Grupo Empresarial LABIOFAM, Delegación Guantánamo.

Dr.C. Abelardo Domínguez Goizueta / Grupo Empresarial Agroforestal, Empresa Agroforestal Macurije.

Colaboradores:

*Dr.C. Jesús Suarez Hernández / Estación Experimental de Pastos y Forrajes
Indio Hatuey (EEPFH).*

Ing. José Cabrera Cabrera / Dirección de Energía Renovable. MINEM

Ing. Argelia Balboa Monzón / Dirección de Energía Renovable. MINEM.

*Ms.C. Ing. Yasser Diaz Candesuñer / Departamento Independiente de Energía.
MINAGRI*

Ing. Gustavo Carbonell Martínez / Grupo Empresarial Agroforestal. GAF

Ing. Alié Bringas Delgado / Grupo Empresarial Ganadero (GEGAN)

Ing. Idael Zaldívar López / Grupo Empresarial Agrícola (GAG)

Ing. Elizabeth Guerra Pompa / Grupo Empresarial Agrícola (GAG)

Ing. Javier Plasencia Quintana / Grupo Empresarial TABACUBA

Ing. Boris Barreto Suarez / Grupo Empresarial LABIOFAM

Ing. Manuel González Fuentes / Grupo Empresaria Agroindustria Alimentaria (GEIA)

Ing. Osdiel Quintana Ramírez / Grupo Empresaria Agroindustria Alimentaria (GEIA)

Ing. Esther Hernández / Grupo Empresaria Agroindustria Alimentaria (GEIA)

Ing. Armando León Pedroso / Grupo Empresarial Industria Alimentaria

Ing. Armando de la Paz García / Grupo Empresarial de la Pesca

Ing. Amilson Ávila de la Peña / Grupo Empresaria CUBARON

Ing. Ennis Carralero Fernández / CORALSA

Ing. Elizabeth Acuay de la Vega / MINAL

Ing. Bárbara Hernández Martínez / AZCUBA.

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO 1. Biogás	19
1.1 Introducción	19
1.2. Metodología	20
1.2.1. Cálculo del potencial de producción de biogás a partir de excretas asociadas a la cría de ganado porcino, avícola y vacuno	21
1.2.2. Residuales líquidos orgánicos asociados a la industria alimentaria	24
1.2.3 Residuales asociados a la Industria azucarera	26
1.3. Resultados	27
1.3.1 Biogás en la actividad agropecuaria	27
1.3.2 Biogás de la actividad industrial	32
1.4. Biogás total	41
1.5. Mapas	43
Conclusiones	52
CAPÍTULO 2. Demanda potencial de biodiésel	54
2.1. Introducción	54
2.2. Metodología	56
2.3. Índice de área adicional a plantar con <i>Jatropha curcas</i>	60
2.4. Consumo de combustible diésel oil en maquinaria agrícola	62
2.5. Demanda de plantaciones de <i>Jatropha curcas</i>	63
2.6. Disponibilidad de áreas para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i>	65
2.7. Mapas	69
Conclusiones	82

CAPÍTULO 3. Potencial de biocombustibles sólidos	83
3.1. Introducción	83
3.1.1. Biomasa del Sector de la Agroindustria Cañera	83
3.1.2. Biomasa del Sector Forestal	85
3.1.3. Biomasa del Sector Agrícola	86
3.2 Metodología	87
3.2.1 Biomasa del Sector de la Agroindustria Cañera	87
3.2.2. Biomasa del Sector Forestal	88
3.2.3. Biomasa del Sector Agrícola	91
3.3. Potencial de la biomasa sólida	92
3.3.1. Biomasa del Sector de la Agroindustria Cañera	92
3.3.2. Biomasa del Sector Forestal	94
3.3.3. Residuos del Sector Agrícola	99
3.3.4. Potencial energético prospectivo de la biomasa sólida	99
3.4. Sustitución de portadores energéticos por el uso de la biomasa sólida	103
3.5 Mapas	124
Conclusiones	133
CAPÍTULO 4. Impacto potencial de la bioenergía en la sustitución de portadores energéticos no renovables	135
4.1. Introducción	135
4.2. Impacto potencial del aprovechamiento de la bioenergía por sector productivo...	135
4.3. Impacto territorial de la sustitución de portadores energéticos con bioenergía	141
4.4. Contribución a la reducción de emisiones	148
4.5. Mapas	153
Conclusiones	165
Glosario	167
Conclusiones generales	171

Índice de tablas

Tabla 1.1. Índices para el cálculo de la producción de residuos y biogás	21
Tabla 1.2. Cantidades de excretas e índices de producción de biogás en porcinos, vacunos y avícolas	22
Tabla 1.3. Fórmulas para la producción de biogás y para el cálculo de los volúmenes de residuos, se entiende como residuos las excretas más orina	22
Tabla 1.4. Volúmenes de residuos orgánicos (excretas más orina) y producción de biogás en porcino	23
Tabla 1.5. Volúmenes de residuos orgánicos (excretas más orina) y producción de biogás en avícola	23
Tabla 1.6. Volúmenes de residuos orgánicos (excretas más orina) y producción de biogás en vacunos	23
Tabla 1.7. Acumulado del potencial de biogás por provincias	29
Tabla 2.1. Cálculo de los rendimientos de biodiésel a partir de <i>Jatropha curcas</i>	58
Tabla 2.2. Índice de área adicional de plantación de <i>Jatropha curcas</i> para producir el biodiésel equivalente al 20% del consumo de diésel para el cultivo seleccionado.	60
Tabla 2.3. Parte del área total requerida para producir el 20 % del diésel consumido en la agricultura	63
Tabla 2.4 Disponibilidad de áreas para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i>	66
Tabla 3.1. Propiedades de interés de la biomasa cañera	88

Tabla 3.2. Propiedades e índices de interés de la leña.	88
Tabla 3.3. Índices de producción de residuos de la Industria Forestal	91
Tabla 3.4. Propiedades e índices de la cáscara de arroz como combustible	91
Tabla 3.5. Índices para el cálculo de la cantidad de residuos	92
Tabla 3.6. Potencial energético de la biomasa sólida del sector azucarero (tep)	93
Tabla 3.7. Potencial energético de la biomasa sólida del sector azucarero (tep)	95
Tabla 3.8. Potencial energético de plantaciones energéticas	97
Tabla 3.9. Potencial energético de los Residuos de la Industria Forestal	99
Tabla 3.10. Potencial Energético de las fuentes de biomasa sólida	101
Tabla 3.11. Potencial energético prospectivo de la biomasa sólida (tep)	102
Tabla 3.12. Demanda de biomasa forestal (m ³ /año)	108
Tabla 3.13. Demanda de biomasa forestal (m ³ /año) Oferta - Demanda de biomasa para sustituir combustible en hornos y calderas de los OSDEs del MINAL y el MINAG. Por provincia	110
Tabla 3.14. Oferta - Demanda de biomasa para sustituir combustible en hornos y calderas de los OSDEs del MINAL y el MINAG. Por regiones	112
Tabla 3.15. Cubrimiento de la demanda del programa de bioeléctricas. Por Provincias	114
Tabla 3.16. Cubrimiento de la demanda del programa de bioeléctricas. Por regiones	116
Tabla 3.17. Potencial de sustitución de portadores energéticos en la industria del arroz	118
Tabla 3.18. Balance del uso del potencial de corto mediano plazo de los residuos forestales	120
Tabla 3.19. Balance del uso del potencial de corto mediano plazo de los residuos forestales. Escenario 100% electricidad	122
Tabla 4.1 Consumo de portadores energéticos en AZCUBA	136
Tabla 4.2 Análisis del consumo de portadores energéticos	136
Tabla 4.3 Potencial de sustitución de portadores energéticos. AZCUBA	137
Tabla 4.4 Consumo de portadores energéticos Industria alimentaria	138

Tabla 4.5 Potencial de sustitución de portadores Industria Alimentaria	139
Tabla 4.6 Consumo de portadores energéticos Sector Agrícola y Forestal	140
Tabla 4.7 Potencial de sustitución de portadores Sector Agrícola y Forestal	141
Tabla 4.8 Resumen del potencial de sustitución de portadores energéticos con fuente de bioenergía	141
Tabla 4.9 Índice de emisión de GEI	148
Tabla 4.10 Reducción de emisiones por el aprovechamiento del potencial de bioenergía identificado. Por OSDE	149
Tabla 4.11 Reducción de emisiones por el aprovechamiento del potencial de bioenergía identificado. Por provincia	151

Índice de figuras

Figura 1.1 Potencial de biogás agropecuario por OSDE	28
Figura 1.3 Potencial de producción de biogás agropecuario por provincia y OSDE ...	28
Figura 1.2 Potencial de biogás agropecuario por fuente	28
Figura 1.4 Participación por fuentes de biogás agropecuario por provincia	29
Figura 1.5 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de la actividad productiva agropecuaria	30
Figura 1.6 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de la actividad agropecuaria por OSDE	30
Figura 1.7 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de la actividad agropecuaria por provincia	31
Figura 1.8 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de los OSDE por provincia	31
Figura 1.9 Potencial energético de la producción de biogás industrial de AZCUBA por actividad productiva	32
Figura 1.10 Potencial energético de la producción de biogás industrial por OSDEs del MINAL	32
Figura 1.11 Potencial de biogás industrial por actividad productiva. Grupo Empresarial Alimentario	33
Figura 1.12 Potencial de biogás industrial por actividad productiva. Grupo Empresarial Agroalimentario	34

Figura 1.13 Potencial de biogás industrial por actividad productiva. Grupo Empresarial de la Pesca	34
Figura 1.14 Potencial de bogas industrial del MINAL y AZCUBA por provincia	35
Figura 1.15 Potencial de biogás industrial del MINAL por OSDE (no se incluye a CUBARON)	35
Figura 1.16 Potencial de autoabastecimiento eléctrico por el uso del biogás industrial por actividades productivas de AZCUBA	36
Figura 1.17 Potencial de autoabastecimiento eléctrico por el uso del biogás industrial por provincia y por actividades productivas de AZCUBA	37
Figura 1.18 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del MINAL por OSDEs	38
Figura 1.19 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del Grupo Empresarial Alimentario	39
Figura 1.20 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del Grupo Empresarial Agroalimentario	39
Figura 1.21 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del Grupo Empresarial de la Pesca	40
Figura 1.22 Potencial energético de biogás total por provincia	41
Figura 1.23 Participación por origen del potencial de biogás total por provincia	42
Figura 2.1. Area adicional de <i>Jatropha curcas</i> L. para sustituir el 20% consumo diésel por tipos de cultivos en el MINAG.	61
Figura 2.2 Participación por OSDE en el consumo de combustible diésel en la maquinaria agrícola (tce)	62
Figura 2.3 Consumo de combustible diésel en la maquinaria agrícola por OSDE	62
Figura 2.4 Demanda de plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> en seco por OSDE	64
Figura 2.5 Demanda de Plantaciones <i>Jatropha curcas</i> en seco por provincia y OSDE	65
Figura 2.6 Disponibilidad de área cultivada y tierras de categoría III y IV para las plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> por provincia, excepto La Habana	67
Figura 2.7 Disponibilidad de tierras ociosas para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> por provincia (excepto La Habana)	68

Figura 3.1 Esquema de biomasa lignocelulosica	84
Figura 3.2 Potencial energético de la biomasa cañera	94
Figura 3.3 Participación por provincia en la producción potencial de leña	96
Figura 3.4 Participación por provincias en el potencial de las plantaciones energéticas	98
Figura 3.5 Potencial energetico de la biomasa sólida a corto - mediano plazo	103
Figura 3.6 Potencial energético de la biomasa sólida a mediano - largo plazo	103
Figura 3.7 Utilización del RAC disponible en la sustitución del uso del fuel oil en AZCUBA	106
Figura 3.8 Demanda de biomasa para la sustitución de combustible convencional en hornos y calderas en el MINAL y el MINAG	106
Figura 3.9 Distribución de la demanda de biomasa para combustible en hornos y calderas. Parte 1.	109
Figura 3.10 Distribución de la demanda de biomasa para combustible en hornos y calderas. Parte 2.	109
Figura 3.11 Participación por provincia de la leña y las plantaciones energéticas actuales en la satisfacción de la demanda de biomasa para hornos y calderas	111
Figura 3.12 Participación por regiones de la leña y las plantaciones energéticas actuales en la satisfacción de la demanda de biomasa para hornos y calderas	113
Figura 3.13 Contribución de las fuentes de biomasa al programa de bioeléctricas. Por provincia	115
Figura 3.14 Contribución de las fuentes de biomasa al programa de bioeléctricas. Por región	116
Figura 3.15 Potencial de autoabastecimiento eléctrico de la industria del arroz	119
Figura 3.16 Disponibilidad de residuos de aserraderos para biocombustible	121
Figura 3.17 Autoabastecimiento eléctrico del sector forestal con residuos de aserradero	123
Figura 4.1 Consumo de portadores energéticos por provincia	142
Figura 4.2 Estructura del consumo de portadores energéticos por provincia	143

Figura 4.3 Estructura del consumo de electricidad del SEN por sector productivo y provincia	144
Figura 4.4 Estructura del consumo de combustible fósil en hornos y calderas por sector productivo y provincia	145
Figura 4.5 Estructura del consumo de combustible en maquinaria agrícola por sector productivo y provincia	146
Figura 4.6 Estructura del consumo de combustible fósil en hornos y calderas por sector productivo y provincia	147
Figura 4.7 Potencial de autoabastecimiento eléctrico con fuentes de bioenergía	147
Figura 4.8 Estructura de la reducción de emisiones de GEI por uso final de la fuente de bioenergía y por Sector Productivo	150
Figura 4.9 Estructura de la reducción de emisiones de GEI por uso final de la fuente de bioenergía y por Sector Productivo	152

Índice de mapas

Mapa 1.4.1 Potencial de biogás total	43
Mapa 1.4.2 Potencial de biogás Azcuba	44
Mapa 1.4.3 Potencial de biogás Azúcar y Derivados	45
Mapa 1.4.4 Potencial de biogás Industria Alimentaria	46
Mapa 1.4.5 Potencial de biogás Agropecuario	47
Mapa 1.4.6 Potencial de biogás avícola	48
Mapa 1.4.7 Potencial de biogás vacuno	49
Mapa 1.4.8 Potencial de biogás porcino estatal	50
Mapa 1.4.9 Potencial de biogás porcino privado	51
Mapa 2.7.1 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de AZCUBA cañera	69
Mapa 2.7.2 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de AZCUBA agopecuaria	70
Mapa 2.7.3 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de TABACUBA	71
Mapa 2.7.4 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de GAG	72
Mapa 2.7.5 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> (ha)	73
Mapa 2.7.6 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de AZCUBA ..	74
Mapa 2.7.7 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de GEGAN	75

Mapa 2.7.8 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de GAG	76
Mapa 2.7.9 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de TABACUBA	77
Mapa 2.7.10 Índice de demanda de tierras ociosas para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de MINAG	78
Mapa 2.7.11 Índice de demanda de tierras cultivadas para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de MINAG	79
Mapa 2.7.12 Índice de demanda de suelos categoría III y IV para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de MINAG	80
Mapa 2.7.13 Demanda de área para plantaciones de <i>Jatropha curcas</i> de AZCUBA	81
Mapa 3.5.1 Potencial energético total de biocombustible sólido	124
Mapa 3.5.2 Potencial energético de biomasa cañera	125
Mapa 3.5.3 Potencial energético de RAC	126
Mapa 3.5.4 Potencial energético de biomasa forestal	127
Mapa 3.5.5 Potencial energético de residuos de aserraderos	128
Mapa 3.5.6 Potencial energético de producción de leña	129
Mapa 3.5.7 Potencial energético de las plantaciones energéticas existentes	130
Mapa 3.5.8 Potencial energético del fomento de plantaciones	131
Mapa 3.5.9 Potencial energético de cáscara de arroz	132
Mapa 4.5.1 Consumo total de portadores energéticos	153
Mapa 4.5.2 Consumo total de portadores energéticos de AZCUBA	154
Mapa 4.5.3 Consumo total de portadores energéticos de la Industria Alimentaria	155
Mapa 4.5.4 Consumo total de portadores energéticos del Sector Agrícola y Forestal	156
Mapa 4.5.5 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía	157
Mapa 4.5.6 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía en AZCUBA	158

Mapa 4.5.7 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía en la Industria Alimentaria	159
Mapa 4.5.8 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía en el Sector Agrícola y Forestal	160
Mapa 4.5.9 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía	161
Mapa 4.5.10 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía en AZCUBA	162
Mapa 4.5.11 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía en la Industria Alimentaria	163
Mapa 4.5.12 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía en el Sector Agrícola y Forestal	164

INTRODUCCIÓN

La presente edición del Atlas de Bioenergía constituye una versión ampliada de la edición Atlas de Bioenergía. Sector Agropecuario y Forestal del 2018.

Esta edición se enmarca en un momento en que la identificación, diseño e implementación de soluciones tecnológicas para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía y en particular de la bioenergía, es impulsada por la Política Nacional para el Desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía y la Eficiencia Energética.

El Atlas de Bioenergía tiene como propósito brindar información sobre el potencial energético de las fuentes de bioenergía y posibles consumidores de las mismas a nivel territorial, para apoyar la toma de decisiones en la fundamentación y elaboración de programas y proyectos estatales, empresariales y locales dirigidos a su aprovechamiento por medio de cadenas productivas.

La presente edición del atlas, al igual que la anterior, se enfoca en tres fuentes de bioenergía: el biogás producido como resultado del tratamiento anaerobio de residuales orgánicos; el biodiesel producido a partir de aceite vegetal no comestible obtenido del fomento de plantaciones de *Jatropha curcas*, conocido en el campo cubano como piñón de botija; y la biomasa sólida, en particular, la forestal, la cáscara de arroz y la biomasa cañera, esta última incluida en la nueva edición.

El análisis se basó en los datos aportados por tres sectores productivos: la industria azucarera, la industria alimentaria y la actividad del sector agrícola y forestal. La industria alimentaria representada por cinco grupos empresariales: Grupo Empresarial Agroalimen-

tario, Grupo Empresarial Alimentario, Grupo Empresarial de la Pesca, CORALSA y CUBARON. La actividad agrícola y forestal integrada por cinco grupos empresariales: Grupo Empresarial Ganadero, Grupo Empresarial Agrícola, Grupo Empresarial Agroforestal, LABIOFAM y TABACUBA.

Para cada sector y sus correspondientes grupos empresariales, se procesó la información suministrada sobre el consumo de: electricidad, combustible utilizado en hornos y calderas (diferenciando los consumos de diésel, fuel oil, GLP y crudo nacional) y del diésel utilizado en la maquinaria agrícola. Se procesaron datos de 1365 unidades productivas, y en la mayoría de los casos fue posible desagregar la información hasta el nivel de municipio.

Para la comprensión mejor de los resultados, el Atlas de Bioenergía 2022, estructura el contenido en cuatro capítulos, los tres primeros dedicados a: biogás, biodiesel y biocombustibles sólidos y el cuarto a la evaluación del impacto del uso de las fuentes de bioenergía en la reducción del consumo de portadores energéticos de origen fósil en los sectores productivos y grupos empresariales incluidos. Además, se incluyen 41 tablas, 57 gráficos y 43 mapas.

El Centro de Gestión de la Información y el Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), tuvo la responsabilidad de obtener este producto, el cual es un resultado del Proyecto Internacional GEF/PNUD/MES “Tecnologías Energéticas Limpias para las Áreas Rurales en Cuba” con el acrónimo de BIOENERGÍA, coordinado por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”.

CAPÍTULO 1. Biogás

1.1. Introducción

La contaminación del medio ambiente por la deposición en el mismo de sustancias contaminantes está entre los principales problemas ambientales del país¹. En el caso de los contaminantes orgánicos una de las soluciones disponibles para reducir su carga orgánica y por tanto su impacto ambiental es el tratamiento anaerobio.

Para implementar esta solución tecnológica existe una amplia variedad de tecnologías comerciales. La tecnología más apropiada en cada caso depende de las condiciones específicas del problema a resolver. En particular las características de los residuales y la cantidad en que se producen son criterios importantes para esta selección.

Como resultado del tratamiento anaerobio, se produce biogás y bio- abonos, los cuales son productos que valorizan económicamente la actividad de reducción de la carga contaminante. El uso del biogás como combustible gaseoso convierte a esta solución tecnológica medioambiental en una tecnología de energía renovable.

En esta edición del atlas se valora el potencial de producción de biogás de los siguientes residuos:

- Las excretas asociadas a la cría de ganado porcino, avícola y vacuno.
- Los residuales líquidos orgánicos asociados a la industria alimentaria.



¹ Ley del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente. Aprobada por la Asamblea Nacional del Poder Popular de la República de Cuba el 14 de mayo del 2022.



- Los residuales contaminantes orgánicos de la producción de azúcar crudo (la ca- chaza), de las destilerías de alcohol (vinaza) y de la producción de levadura.

El potencial energético de este combustible gaseoso se reporta por provincia expresado como:

- a. Volumen físico (m³)
- b. Valor energético expresado en **toneladas equivalentes de petróleo** (tep)
- c. Potencial de generación de electricidad expresado en MWh, de utilizarse el 100 % de este biocombustible con este propósito.

Se introduce como indicador de impacto por la producción y uso de este bio-combustible gaseoso, el nivel de auto abastecimiento eléctrico o de combustible en calderas que se logra en el sistema productivo de utilizarse el 100 % del biogás con estos fines.

Los resultados presentados se basan en los datos brindados por:

A. Grupo Empresarial de Ganadería (GEGAN) y sus divisiones:

- Porcina
- Avícola
- Vacuna

B. El Grupo Empresarial Agrícola (GAG)

C. El Grupo Empresarial de la Industria Agroalimentaria

D. El Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria

E. El Grupo Empresarial de la Pesca

E. CUBARON

G. CORALSA

H. El Grupo Empresarial del Azúcar (AZCUBA)

1.2. Metodología

La metodología de cálculo utilizada para la estimación del potencial de producción de biogás se describe a continuación para cada uno de los grupos de residuos antes enume- rados.

1.2.1. Cálculo del potencial de producción de biogás a partir de excretas asociadas a la cría de ganado porcino, avícola y vacuno

Las producciones potenciales de biogás en cada especie animal son diferentes. A su vez, estas dependen de diversos factores como: peso vivo del animal, categoría, tipo de alimentación, temperatura media ambiental y tiempo de retención hidráulica, entre otras.

La metodología utilizada se ajusta a las condiciones de Cuba, con los sistemas de alimentación más utilizados y sus tecnologías de manejo y crianza.

En la Tabla 1.1 se muestran los principales índices para el cálculo de las producciones de biogás en el sector ganadero cubano.

Tabla 1.1. Índices para el cálculo de la producción de residuos y biogás

Especie	Categorías por especie, CE	Símbolo	Peso Vivo Promedio PVP, kg	Tiempo en la categoría	Observaciones
Porcino	Reproductora	Crep	140	4 años	Datos tomados del Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina, 2015
	Semental	Csem	150	2 años	
	Cochinato	Ccto	130	90 días	
	Cochinata	Ccta	130	90 días	
	Ceba	Cceb	55	120 días	
	Lechones (as)	Clec	40	97 días	
	Crías	Ccri	7	26...33 días	
Avícola	Reproductora	Arp	2	72 semanas	
	Ponedora	Apo	1,6	78 semanas	
	Reemplazos	Are	0,77		
Ganado Vacuno	Vaca lechera o de engorde	Vle	300		
	Toros engorde	Vtor	400		
	Torete	Vete	250		
	Terneros (as)	Vter	50		
	Añojas	Vaas	45		
	Novillas	Vnov	70		

Indicadores de producción de biogás. Las estimaciones de las producciones de biogás están en función de los sólidos volátiles presentes en las excretas, que son los que se convierten durante el proceso de digestión anaerobia en biogás, tal como aparece en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Cantidades de excretas e índices de producción de biogás en porcinos, vacunos y avícolas.

	Símbolo	Unidades	Porcino	Vacuno	Avícola	Observaciones
Porcentaje de excretas más orina	% R	%	5	9	9,15	Se refiere a promedios
Porcentaje de Sólidos Volátiles	% SV	%	12	13	17	
Índice de producción de biogás	Bsv	m ³ /kgsv	0,45	0,25	0,460	Producción media de biogás de los sólidos volátiles presentes en las excretas

Base de cálculo y resultados

Las bases para el cálculo y los resultados de la producción de residuos y biogás en porcino, avícola y vacunos aparecen en las Tablas 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6 respectivamente.

Tabla 1.3. Fórmulas para la producción de biogás y para el cálculo de los volúmenes de residuos, se entiende como residuos las excretas más orina.

Variable de cálculo	Símbolo	Unidades	Fórmula de cálculo	Observaciones
Volumen de residuos	Rev	kg/día;	$Rev = NC * PVP * \% R$	Residuos como excretas más orina
Producción diaria de biogás	Pbio	m ³ /día	$Pbio = Rev * \% SV * Bsv$	Teniendo en cuenta los SV

NC: Número de cabezas

Tabla 1.4. Volúmenes de residuos orgánicos (excretas más orina) y producción de biogás en porcino

Símbolo	Categoría de la especie, CE	Volumen de Residuos, kg/día	Producción diaria de biogás, m ³ /día	Observaciones
Crep	Reproductora	7	0,038	
Csem	Semental	7,5	0,040	
Ccto	Cochinato	6,5	0,035	
Ccta	Cochinata	6,5	0,035	
Cceb	Ceba	2,75	0,015	
Clec	Lechones	2	0,011	
Cpre	Preceba	1,5	0,008	
Ccri	crías	0,35	0,002	

Tabla 1.5. Volúmenes de residuos orgánicos (excretas más orina) y producción de biogás en avícola

Símbolo	Categoría de la especie, CE	Volumen de Residuos, kg/día	Producción diaria de biogás, m ³ /día	Observaciones
Arp	Reproductora	0,183	0,014	Cálculos inferidos a partir de informes del IIA
Apo	Ponedora	0,145	0,011	
Are	Reemplazos	0,07	0,006	

Tabla 1.6. Volúmenes de residuos orgánicos (excretas más orina) y producción de biogás en vacunos

Símbolo	Categoría de la especie, CE	Volumen de Residuos, kg/día	Producción diaria de biogás, m ³ /día	Observaciones
Vle	Vaca lechera o de engorde	27	0,88	
Vtor	Toros engorde	36	0,90	
Vete	Torete	22,5	0,71	
Vter	Terneros (as)	4,5	0,15	
Vaas	Añojas	4,05	0,13	
Vnov	Novillas	6,5	0,20	

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de los volúmenes de residuos, producciones de biogás, sólidos totales y sólidos volátiles fueron asimiladas de la bibliografía internacional y corroboradas en las condiciones de Cuba.

El cálculo del potencial de producción de biogás a partir del tratamiento de residuales orgánicos líquidos industriales se realiza a partir de los datos aportados sobre volumen anual y DQO de los residuales líquidos. Se utiliza la fórmula:

$$Pot_{Biogas} \left(\frac{m^3}{año} \right) = Vol_{res} \left(\frac{m^3}{año} \right) \times DQO_{res} \left(\frac{g}{l} \right) \times IP_{Biogas} \left(\frac{m^3}{kg DQO} \right) \times \eta_{red} (\%)$$

Donde:

- Pot_{Biogás}: Potencial de producción anual de biogás
- Vol_{res}: Volumen anual de residual
- DQO_{res}: Demanda Química de oxígeno del residual a tratar
- IP_{Biogás}: Índice teórico de producción de biogás a partir de la reducción de DQO
- η_{red} : Eficiencia de reducción de DQO del proceso de tratamiento anaerobio implementado.

Se utilizan los siguientes valores:

IP_{Biogás}= 0.58 m³ de biogás/ kg de DQO

η_{red} =70 %².

1.2.2. Residuales líquidos orgánicos asociados a la industria alimentaria.

Los vertidos generados por el sector agroalimentario se caracterizan en general por una elevada carga orgánica biodegradable (medida en DB05), un contenido moderado en sólidos en suspensión y la escasa o nula presencia de contaminantes tóxicos y/o peligrosos.

- Industria cárnica

La industria cárnica agrupa tanto a los mataderos y salas de despiece como a las fábricas de productos elaborados (frescos, curados o cocidos). Por lo general, se encuentra por un lado el conjunto matadero-sala de despiece y por otro lado la industria de productos elaborados.

En mataderos, según se trate de vacunos, porcinos o avícolas, se generan aguas residuales en las áreas de estabulación (orina, heces, pelos, plumas, etc.), en el sacrificio, el desangrado, el escaldado, el chamuscado, el lavado de piezas y otros.

² Este valor habla de una media en general. Sin embargo, se pueden esperar diferentes valores en dependencia de los siguientes factores:

- Tiempo de Retención Hidráulica, TRH, mientras menor sea el TRH menor será la eficiencia del Sistema. En los sistemas anaerobios de primera o segunda generación la η_{red} máxima podría llegar hasta un 80 %
- Tipo o generación tecnológica del Sistema de Tratamiento Anaerobio, en los de cuarta generación, por ejemplo los UASB, podríamos esperar valores aún superiores al 90 %.

El volumen final de agua residual producido es elevado y se estima que en vacuno es del orden de 5 litros por kilogramo de peso animal, en aves el consumo es superior y se sitúa entre 5 y 10 litros de agua por kilogramo de peso de animal vivo.

Por lo general, el agua arrastra moderadas cantidades de excretas, orina, restos de carne, sangre, pelos, trozos de vísceras y grasa superficial entre otros residuos, que en su conjunto hacen que el agua tenga un elevado contenido de materia orgánica, materias en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno (amoniaco y orgánico), fosfatos, detergentes y desinfectantes de las limpiezas.

Por el contenido de sangre, las aguas residuales de los mataderos contienen los valores más altos de DBO5 entre todas las aguas residuales de origen orgánico, por encima de 400 000 mg/L.

- **Industria láctea**

La industria láctea, dedicada a la producción de leche pasteurizada, la elaboración de queso, mantequilla y yogurt entre otros productos, genera agua residual. En la actualidad en la producción de leche, la generación de aguas residuales, en el mejor de los casos se estima es de 1 a 2 litros por litro de leche procesada, y en el peor de los casos puede llegar a los 10 litros.

Estos desechos líquidos están compuestos de sueros y aguas de lavado de tanques, y residuos sólidos. En toda la cadena de producción ocurren derrames de leche entera, grasas, etc. El volumen de vertido suele aceptarse entre 1,5 a 2,5 litros por cada litro de leche procesada, y en el conjunto de la industria láctea el rango se amplía hasta 2 a 5 litros por litro de leche procesada.

- **Industria cervecera**

La cantidad y composición de los efluentes de cervecería depende de los procesos tecnológicos implementados. Estos efluentes contienen contaminantes solubles e insolubles, así como compuestos orgánicos. El índice de volumen total de agua residual vertida oscila entre 2,5 y 7,2 litros. Este amplio rango de emisión está relacionado directamente con el nivel de consumo de agua y con la eficiencia de la gestión que cada fábrica hace de este recurso.

Estas aguas provienen principalmente de las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones que entran en contacto directo con la superficie de equipos, conductos y de-





pósitos que han transportado o contenido mosto, cerveza o materias primas, incrementando considerablemente la carga orgánica y la cantidad de sólidos en suspensión.

- **Industria de conserva**

Las conservas de frutas y vegetales en todos sus procesos, consumen entre 3,5-6,0 m³ de agua/t de producto procesado. Los mayores consumos de agua se producen en los lavados de frutos. La carga contaminante de los vertidos del sector se compone de materia orgánica y sólidos en suspensión. La carga orgánica (DQO y SS), varía en dependencia de la materia prima procesada.

Una de las características de este tipo de industria es que se trabaja por campañas, aprovechando la disponibilidad de las distintas materias primas a lo largo del año. En cada campaña se trabaja con diferentes frutos, necesitando en ocasiones etapas de fabricación diferentes y produciendo, por lo tanto, un cambio significativo en los niveles de consumo de agua, así como en las características de las aguas residuales generadas. Este sector se caracteriza por su variabilidad y estacionalidad de sus aguas residuales.

La carga contaminante de estos vertidos se compone básicamente de materia orgánica y sólidos en suspensión, y su presencia o concentración depende de varios aspectos: sobre todo de la materia prima, la presentación final que se le dé al producto (congelado, concentrado, etc.). Otros aspectos a tener en cuenta son, el sistema de producción empleado, nivel de producción, tipo de industria (multi producto o no), si se mezclan las aguas de proceso con las de refrigeración, si se han implantado buenas prácticas de gestión medioambiental, plan de minimización de residuos o un sistema de gestión ambiental, etc.

- **Industria pesquera**

Las aguas residuales procedentes del procesamiento de pescado tienen un alto contenido orgánico y por consiguiente una elevada demanda biológica de oxígeno (DBO5), debido a la presencia de sangre, tejidos y proteínas disueltas.

1.2.3 Residuales asociados a la Industria azucarera

Cachaza: Es el residuo que se obtiene en el filtrado del jugo durante el proceso de clarificación del jugo de caña. Por su alto contenido de sustancias orgánicas biodegradables es un residuo altamente contaminante. Se produce con un contenido de humedad entre

un 75% y un 80%, se estima que se producen 0.04 t/tonelada de caña molida³ con un potencial de producción de biogás⁴ de 100 m³/ton.

Vinaza: Es el residuo líquido que se produce por la fermentación del mosto en las destilerías de alcohol. Se produce en grandes cantidades y posee una alta carga orgánica. Se caracteriza por tener altas concentraciones de potasio y sulfatos y por bajos niveles de pH, con frecuencia por debajo de 4.

Para el cálculo del potencial de producción de biogás a partir de la vinaza se utiliza el procedimiento descrito en el epígrafe 2.2.2. En este caso se utiliza⁵ un índice de generación de vinaza de 1,6 m³ vinaza/hl etanol, un DQO de 50 kg DQO/m³ y una reducción de la carga orgánica del 70%.

Para la evaluación del potencial energético se utilizan los siguientes supuestos:

- Contenido de metano en el biogás: 60 %;
- Poder calórico del biogás: 23.05 MJ/m³;
- Equivalencia Energética: 0.5622 tep/mil m³ de biogás
- Índice de generación de electricidad⁶: 1.8 kWh/m³

1.3. Resultados

A partir de la metodología antes descrita se calculó el potencial de producción de biogás a partir de los datos recibidos de cada organización.

1.3.1. Biogás en la actividad agropecuaria.

Este es el potencial asociado al tratamiento de las excretas asociadas a la cría de animales. De las organizaciones incluidas en este reporte esta actividad es realizada por el GAG, el sector porcino privado, el GEGAN y AZCUBA.

Los resultados obtenidos muestran un potencial de producción de 284.294.324 m³/año, equivalentes a 135.085 tep/año o 506.923 MWh/año. El aporte principal a este potencial esta dado por el GEGAN que aporta más del 50% del total. Figura 1.1.

El mayor potencial está asociado a la producción avícola que representa un 42% del total. La contribución de la producción porcina es del 35%, del cual el 68% corresponde a la producción privada. El 20% restante es el aporte de la producción vacuna. Figura 1.2.



³ SOSTENIBILIDAD DEL RECICLAJE DE RESIDUOS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA: UNA REVISIÓN. Basanta, R.*; García Delgado, M. A.; Cervantes Martínez, J. E.; Mata Vázquez, H.; Bustos Vázquez, G. Cienc. Tecnol. Aliment. 5(4) 293-305 (2007).

⁴ Antonio Valdes. Almacenamiento de biogás en la industria azucarera alcoholera. <http://docplayer.es/96474019-Almacenamiento-de-energia-a-partir-de-la-produccion-de-biogas-en-la-industria-azucarera-alcoholera-antonio-valdes-delgado-cubaenergia.html>. Revisado 24/11/2021

⁵ Tratamiento industrial de vinazas de destilerías en reactores UASB. MSc. Yaniris Lorenzo-Acosta, Dr. Fidel Doménech-López, Dr. Felipe Sánchez, Dr. Oscar Almazán-del Olmo, Tec. Juana Ma. Chanfón-Curbelo. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), La Habana, Cuba. Revista Tecnología Química vol.35 no.1 Santiago de Cuba ene.-abr. 2015

⁶ Se asume el uso de grupos electrógenos diseñados para el uso del biogás como combustible.

La distribución territorial del potencial identificado de producción de biogás agropecuario (Figura 1.3) muestra que en 6 provincias se concentra el 58% del total. Estas son: Camagüey, Villa Clara, Matanzas, Pinar del Río, Artemisa, Holguín y Sancti Spíritus. De ellas se destacan las 4 primeras por poseer potenciales significativos en todas las producciones. Tabla 1.7, figura 1.4.



Figura 1.1 Potencial de biogás agropecuario por OSDE

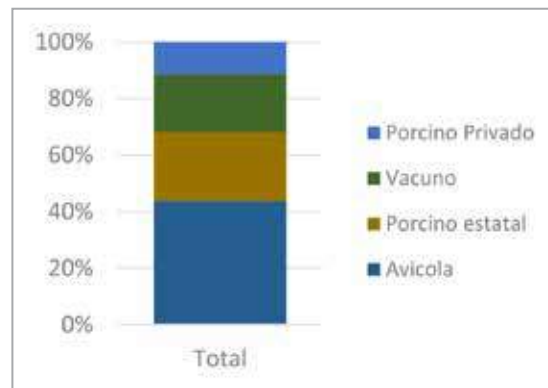


Figura 1.2 Potencial de biogás agropecuario por fuente

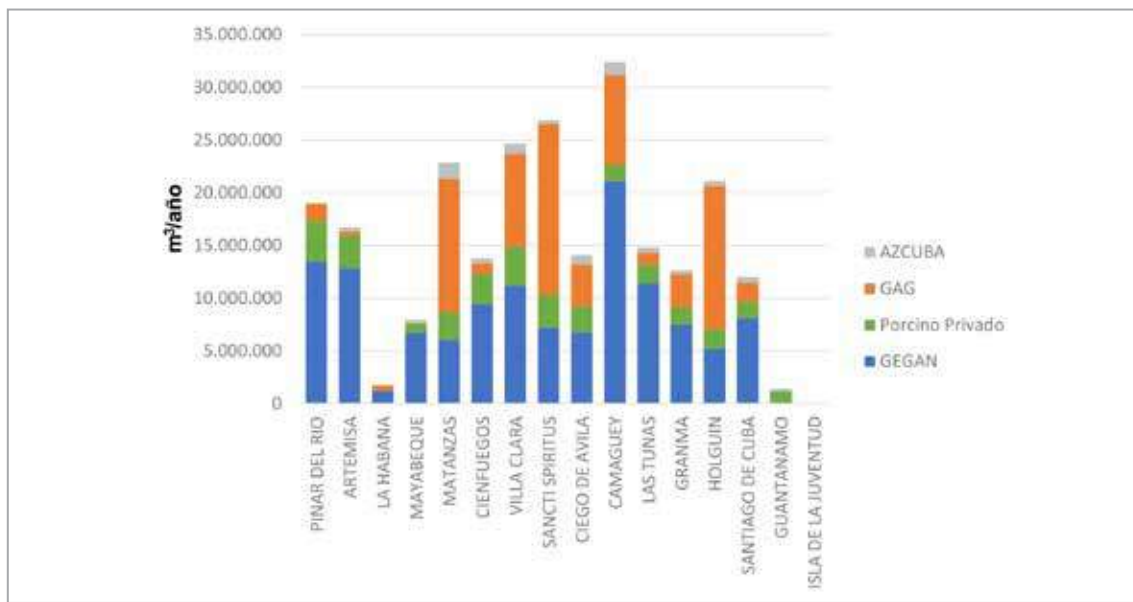


Figura 1.3 Potencial de producción de biogás agropecuario por provincia y OSDE

Tabla 1.7. Acumulado del potencial de biogás por provincias

Potencial	Acumulado	Cantidad de Provincias	Provincias									
			Camagüey	Sancti Spiritus	Villa Clara	Matanzas	Holguín	Pinar del Río	Artemisa	Mayabeque	Cienfuegos	
Total	58%	6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Vacuno	55%	5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Avícola	72%	5	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Porcino Estatal	59%	6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Porcino Privado	62%	6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

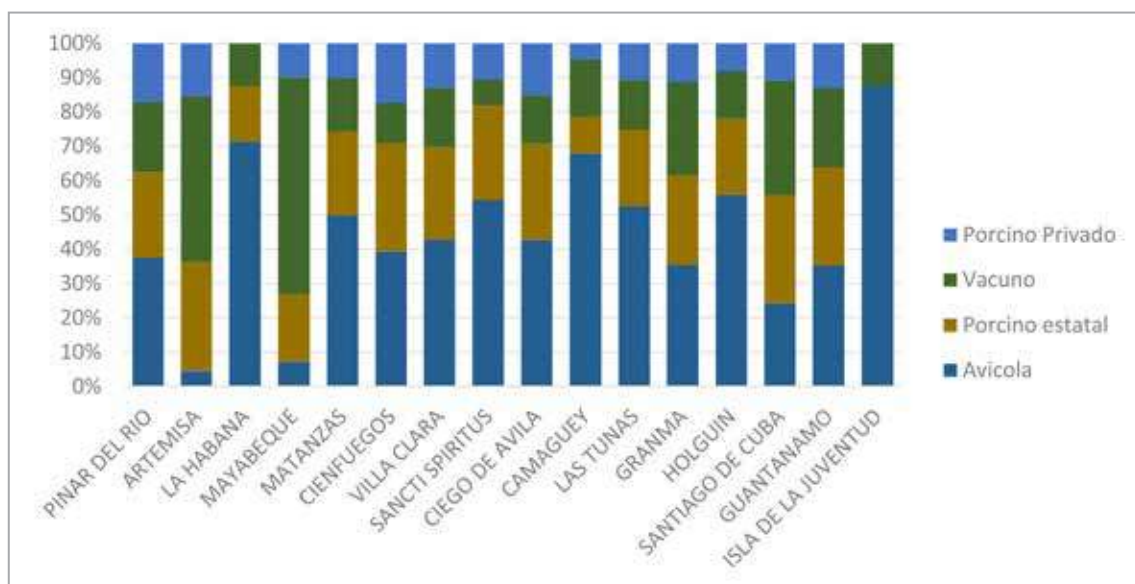


Figura 1.4 Participación por fuentes de biogás agropecuario por provincia

El uso de este biogás en la generación de electricidad crea la oportunidad de obtener altos niveles de autoabastecimiento energético de esta actividad productiva. La actividad productiva agropecuaria que tiene el potencial de alcanzar el mayor autoabastecimiento

eléctrico es el avícola (Figura 1.5). En general, el potencial de electricidad a generar es mayor que el consumo eléctrico de la correspondiente actividad productiva, de aquí que el autoabastecimiento nacional puede ascender a un 148%, siendo significativo el potencial del GEGAN que llega a un 317% (Figura 1.6). Este potencial del GEGAN es muy alto para todas sus divisiones productivas.

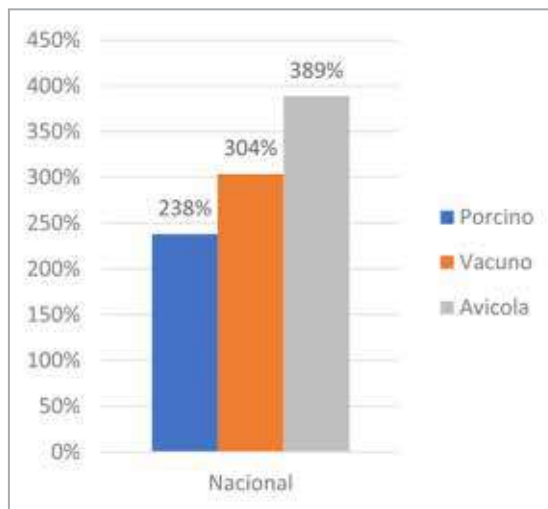


Figura 1.5 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de la actividad productiva agropecuaria



Figura 1.6 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de la actividad agropecuaria por OSDE

La distribución por provincia muestra que, es posible lograr el autoabastecimiento eléctrico de la actividad agropecuaria para la mayoría de las provincias, índice que oscila entre un 150% y un 300% (Figura 1.7). Solo hay dos provincias que no tienen el potencial para autoabastecerse de electricidad. La variabilidad de este indicador a nivel de provincia es muy significativa (Figura 1.8). Esto está asociado a la diversidad de la actividad productiva de cada empresa, el uso del riego eléctrico y la eficiencia del equipamiento utilizado.

La materialización de estos potenciales en la producción avícola, este asociado a la implementación de soluciones tecnológicas para el pretratamiento de las excretas y determinados ajustes en el diseño de los biodigestores. El aprovechamiento del alto potencial de la ganadería vacuna presenta como principal condicionamiento el acuartonamiento de la masa ganadera ya que no existen mayores complicaciones tecnológicas para su

implementación. La producción de biogás en la actividad porcina presenta como principal limitación la existencia misma de este ganado, limitado por las dificultades económicas de Cuba para importar alimento animal.

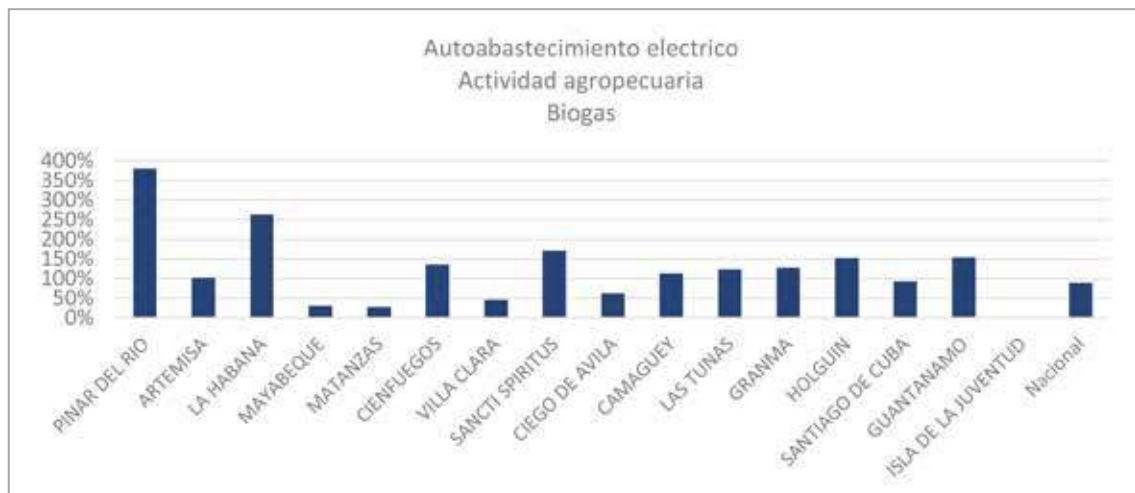


Figura 1.7 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de la actividad agropecuaria por provincia

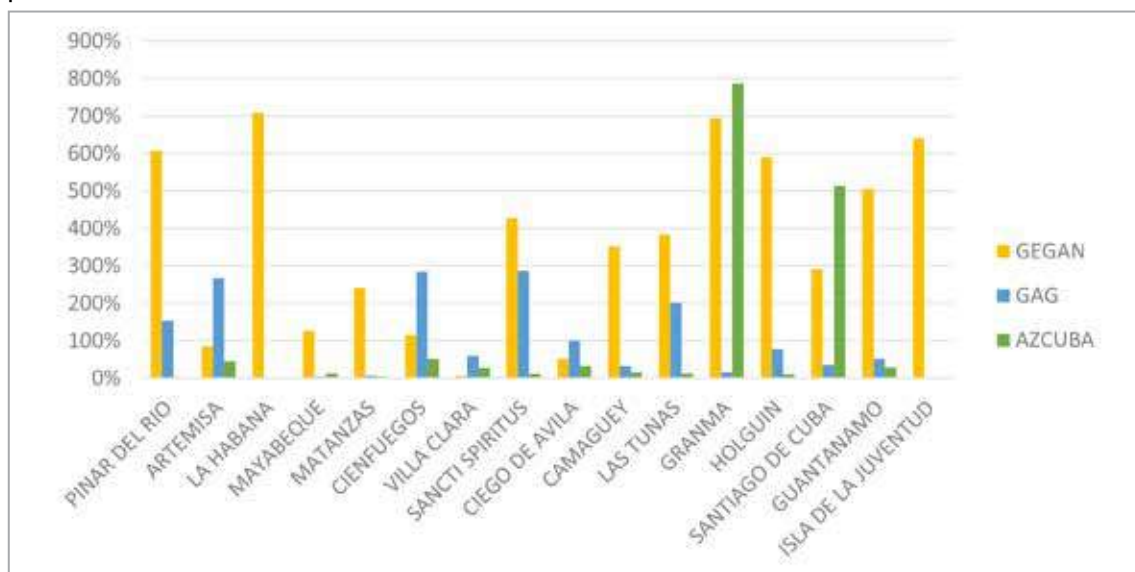


Figura 1.8 Autoabastecimiento eléctrico a partir del uso del biogás de los OSDE por provincia

1.3.2. Biogás de la actividad industrial

Las fuentes de biogás industrial asociadas a este reporte son la industria alimentaria y la azucarera.

El potencial de producción de biogás industrial asciende a los 71.112.325 m³/año, equivalentes a 69,676 tep/año o 27,720 MWh/año, cifras determinadas por el potencial de la industria azucarera. Esta cifra no incluye un potencial de producción de 74.147.807 m³ de biogás a partir de la cachaza. A pesar que esta cantidad prácticamente duplica el valor del potencial total de biogás, no se considera en el análisis debido a las dificultades para lograr su aprovechamiento viable desde el punto de vista técnico económico. Las razones principales son que su producción solo se realiza durante la zafra y su relativamente rápida degradabilidad. La opción más viable para su aprovechamiento en el corto mediano plazo es su uso en mezcla con las vinazas de la destilación de alcohol, en aquellos casos en que las distancias de transportación lo permitan.

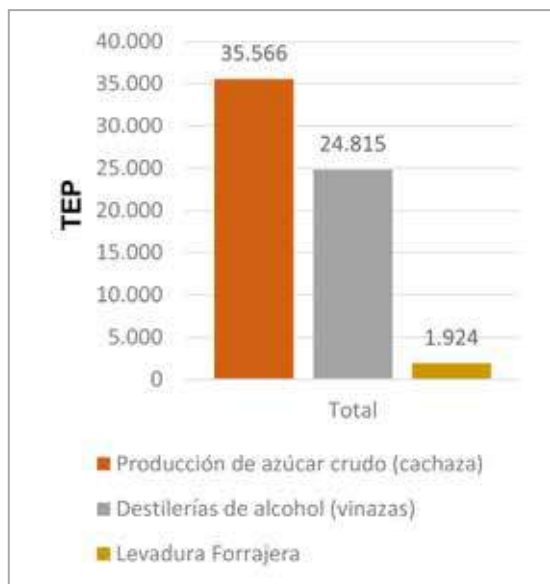


Figura 1.9 Potencial energético de la producción de biogás industrial de AZCUBA por actividad productiva

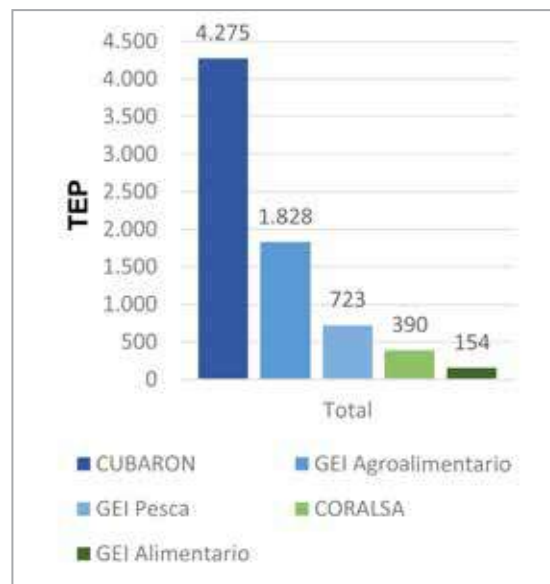


Figura 1.10 Potencial energético de la producción de biogás industrial por OSDEs del MINAL

La actividad productiva con mayor potencial de producción de biogás del país es la destilación de alcohol en la Industria azucarera (Figura 1.9). En la Industria Alimentaria, después de CUBARON la actividad con mayor potencial de producción de biogás le corresponde a la Industria Agroalimentaria. (Figura 1.10)

La distribución del potencial de biogás entre las actividades productivas de los grupos empresariales de la industria alimentaria varía notablemente. En el Grupo Empresarial Alimentario se concentra en las actividades de Cervecería y Bebidas y Refrescos (Figura 1.11). En el Agroalimentario aunque la principal contribución está en la actividad Láctea, participan igualmente la actividad Cárnica y Conserva (Figura 1.12). En el caso de la Pesca el potencial se define por la Pesca de Plataforma (Figura 1.13).

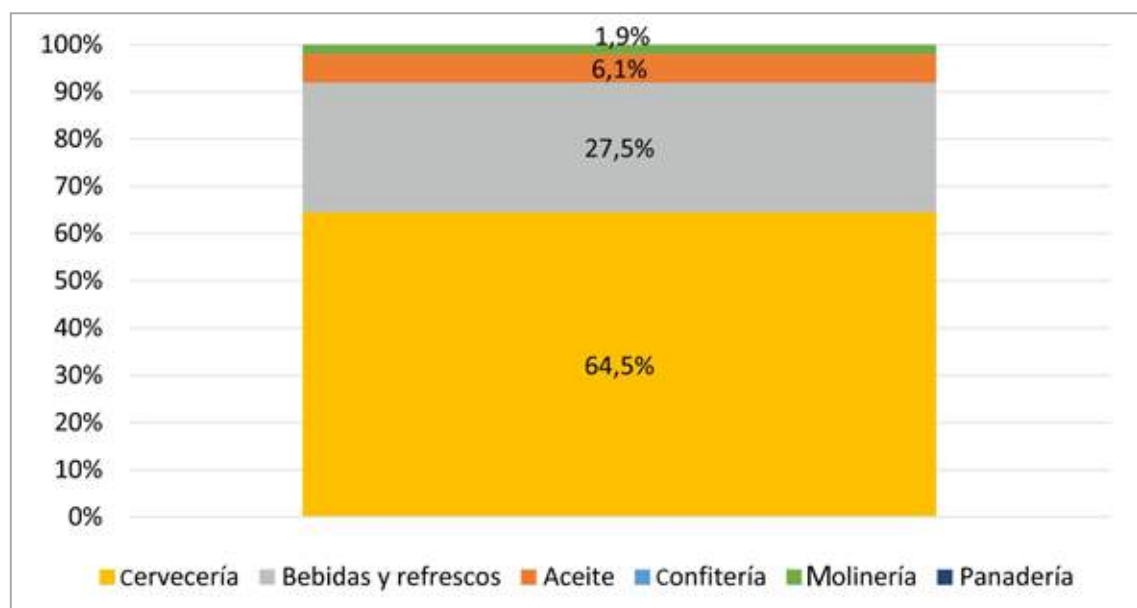


Figura 1.11 Potencial de biogás industrial por actividad productiva. Grupo Empresarial Alimentario

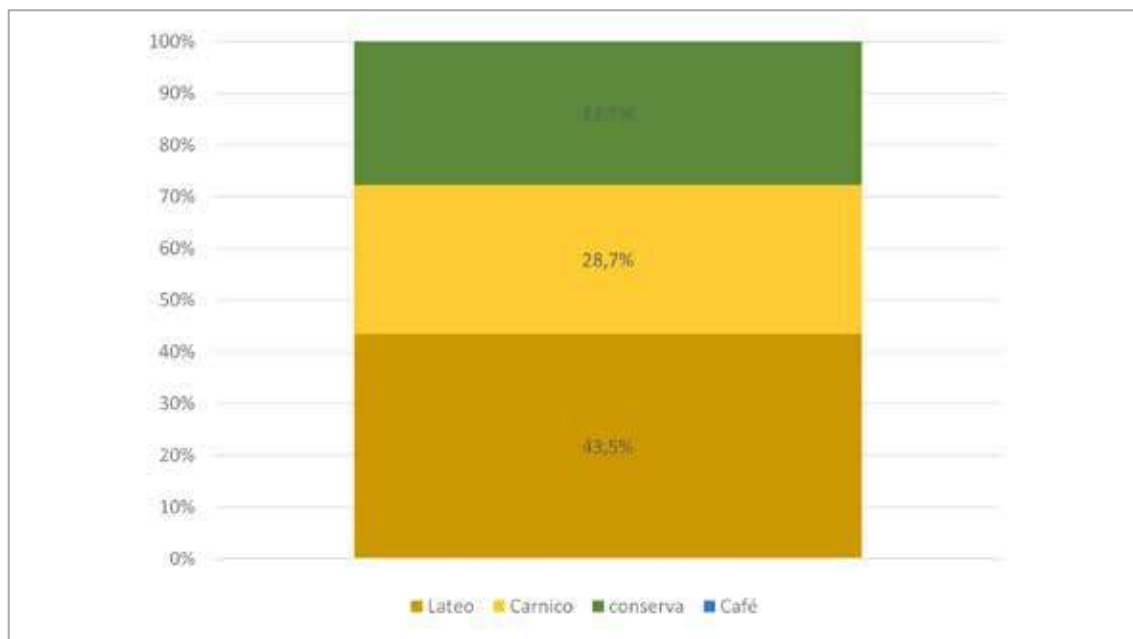


Figura 1.12 Potencial de biogás industrial por actividad productiva. Grupo Empresarial Agroalimentario

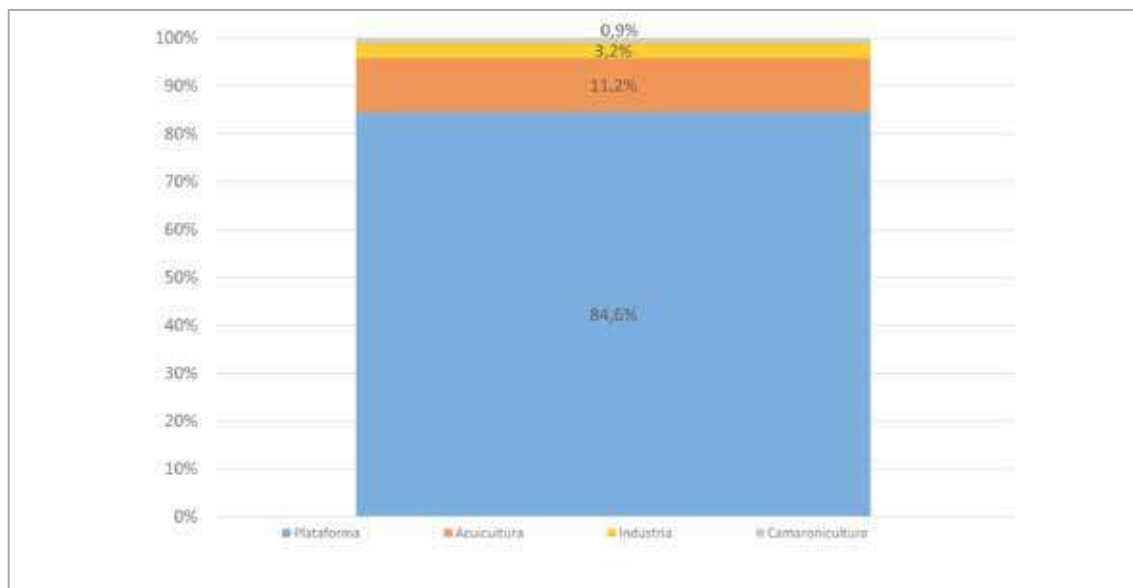


Figura 1.13 Potencial de biogás industrial por actividad productiva. Grupo Empresarial de la Pesca

La distribución territorial del potencial de biogás industrial está determinada por la distribución del potencial de producción de las destilerías de alcohol y se concentra en 10 provincias del país (Figura 1.14 y figura 1.15).

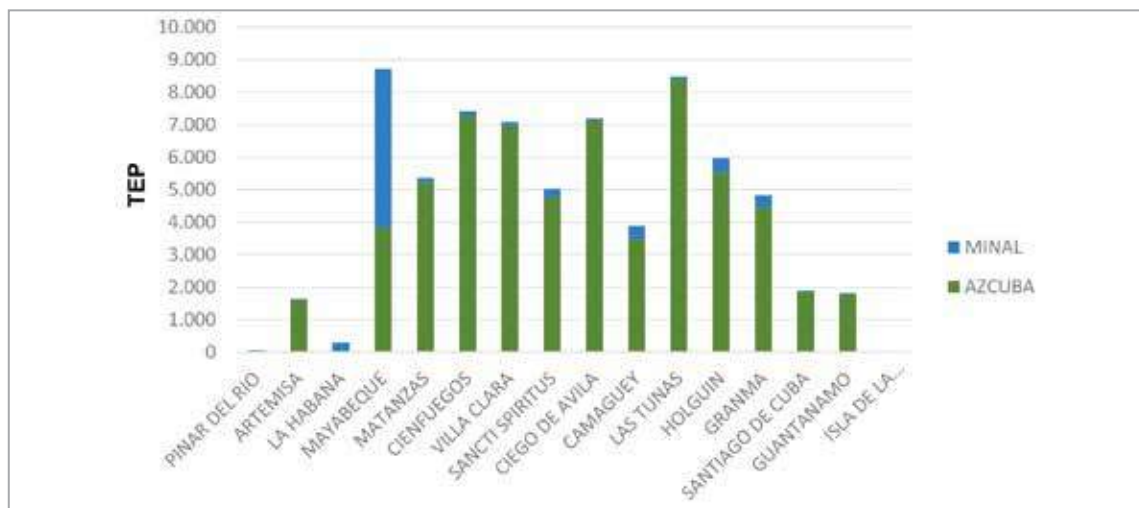


Figura 1.14 Potencial de bogas industrial del MINAL y AZCUBA por provincia

El potencial de la Industria Alimentaria está determinado por seis provincias.

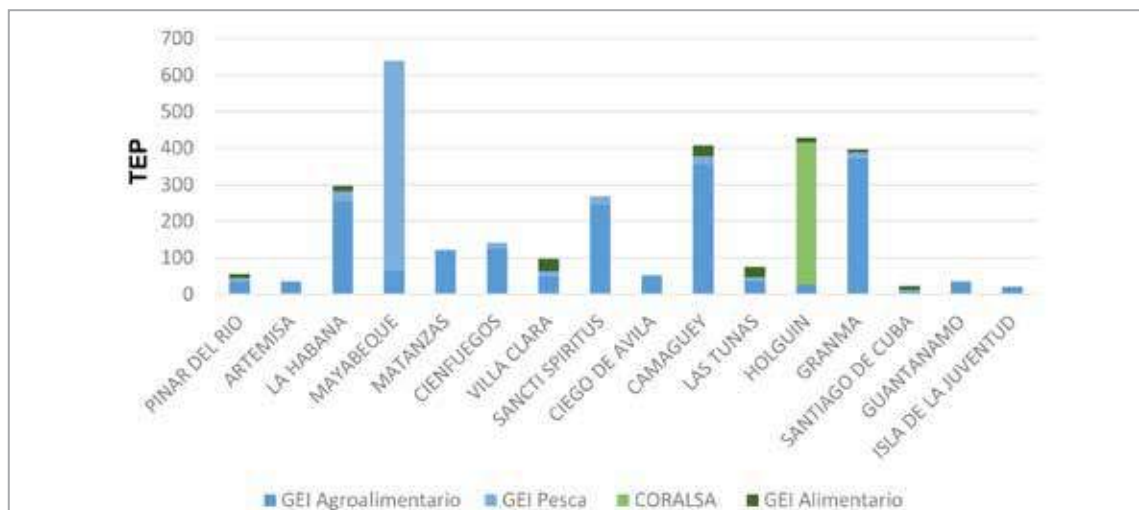


Figura 1.15 Potencial de biogás industrial del MINAL por OSDE (no se incluye a CUBARON)

La contribución del potencial de biogás al autoabastecimiento energético de la industria azucarera se centra en la producción de electricidad de las destilerías de alcohol y las plantas de producción de levadura. El nivel de autoabastecimiento es totalmente diferente para ambas producciones, mientras que en la destilería de alcohol sería posible alcanzar un 144%, solo se llegaría a un 30% en las Plantas de Levadura. El auto abastecimiento de toda la industria de derivados sería de un 113%. (Figura 1.16).

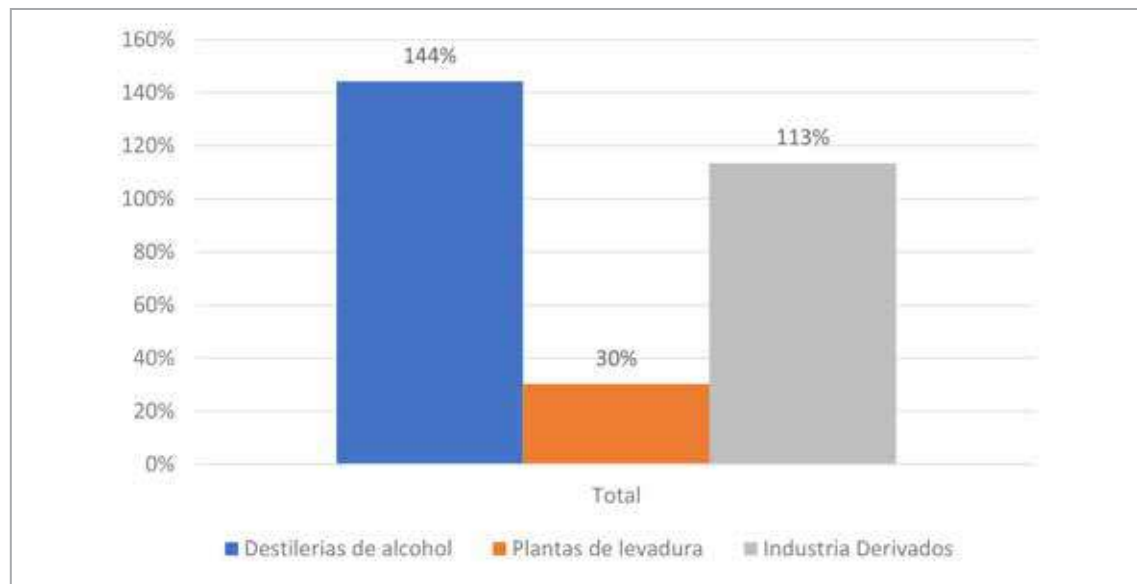


Figura 1.16 Potencial de autoabastecimiento eléctrico por el uso del biogás industrial por actividades productivas de AZCUBA

Desde el punto de vista territorial el autoabastecimiento eléctrico de la industria de derivados resulta superior al 100% en 6 de las 10 provincias en que se encuentra presente. (Figura 1.17).

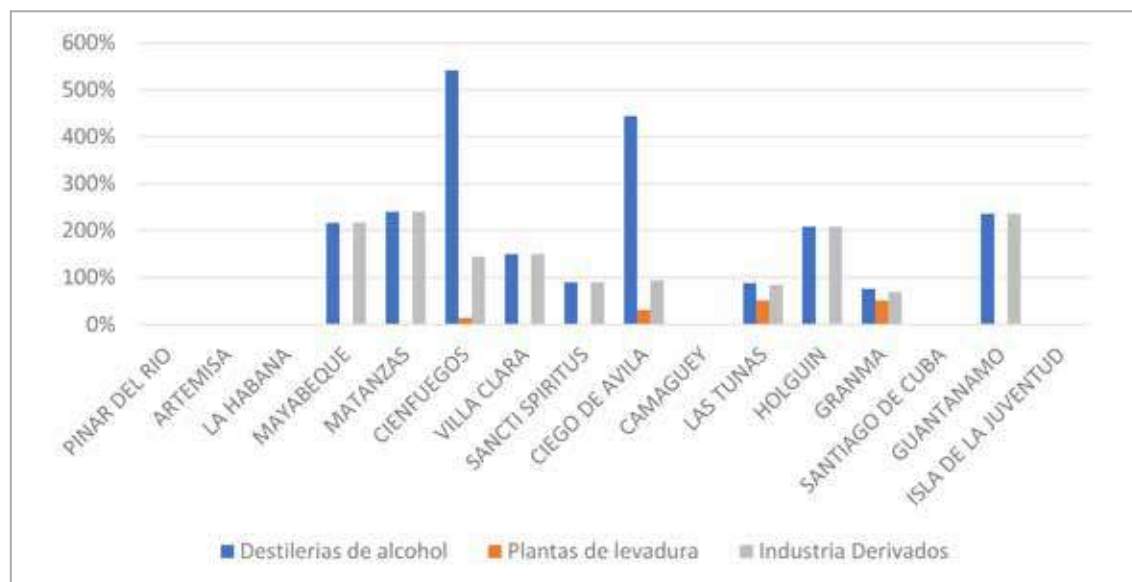


Figura 1.17 Potencial de autoabastecimiento eléctrico por el uso del biogás industrial por provincia y por actividades productivas de AZCUBA

El aporte del potencial de biogás de la industria alimentaria a su autoabastecimiento energético es relativamente bajo y se concentra en actividades específicas. Para realizar un análisis más detallado se calcula el nivel de autoabastecimiento que se podría lograr para el total de entidades y el que se alcanzaría por el conjunto de entidades con potencial de producción de biogás.

A nivel de grupos empresariales excepto el Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria, el resto puede lograr niveles de autoabastecimiento de electricidad o combustible en hornos y calderas superiores al 3%. CUBARON es el grupo que tiene la mayor oportunidad de autoabastecimiento energético a partir del uso del biogás, con cifras superiores al 90% en electricidad y al 24% del consumo total del combustible utilizado en calderas, y hasta un 40% si se consideran solo los consumos en las unidades con potenciales de producir biogás (Figura 1.18).

CORALSA presenta como singularidad una producción potencial de biogás que permitiría autoabastecerse totalmente de combustible para las calderas.

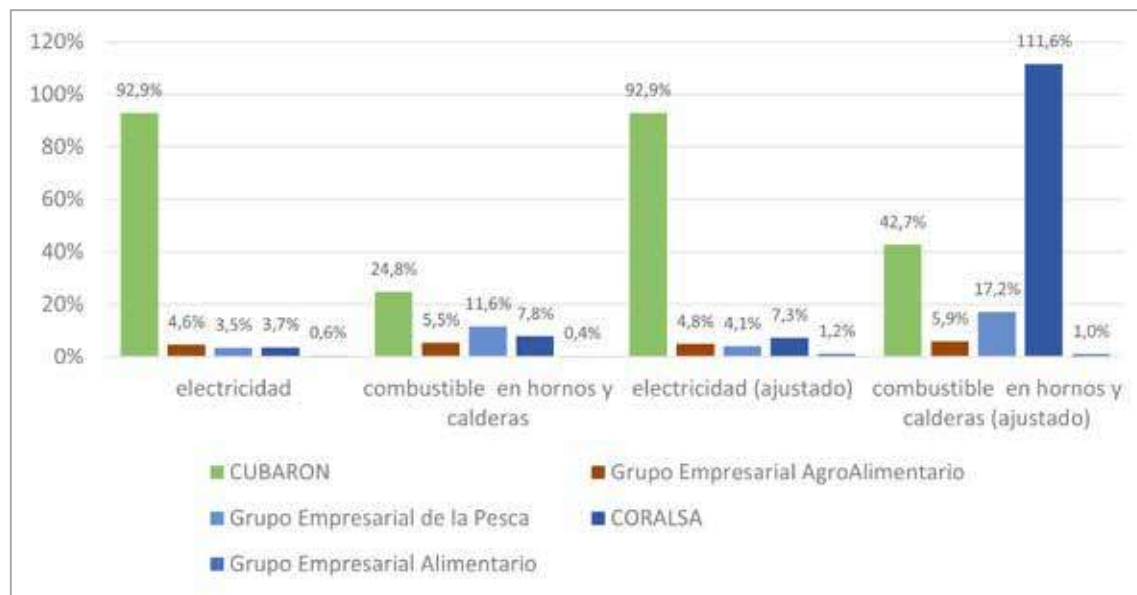


Figura 1.18 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del MINAL por OSDEs

Un análisis más detallado de las oportunidades de autoabastecimiento por actividad productiva muestra que serían de interés en el Grupo Alimentario la sustitución de combustible en calderas con biogás en Bebidas y Refrescos y en Molinería, con valores que oscilan entre un 8% y un 12%. (Figura 1.19).

Todas las actividades productivas del Grupo Agroalimentario, excepto café, muestran un potencial de autoabastecimiento superior al 3%. El caso más significativo es el potencial de sustitución de alrededor del 17% de la electricidad que consume la actividad de conserva. (Figura 1.20).

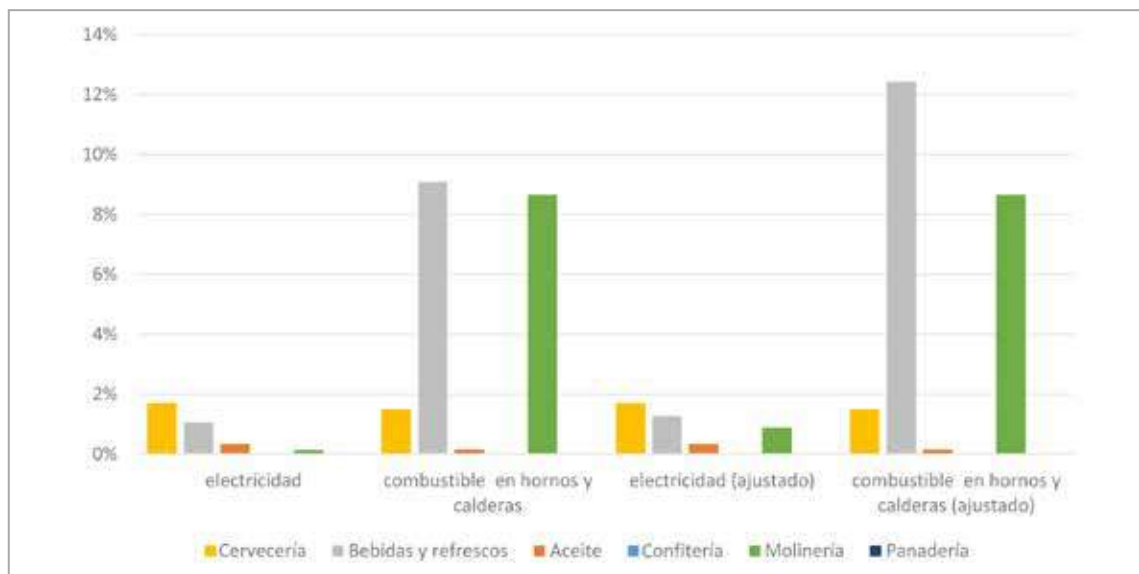


Figura 1.19 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del Grupo Empresarial Alimentario

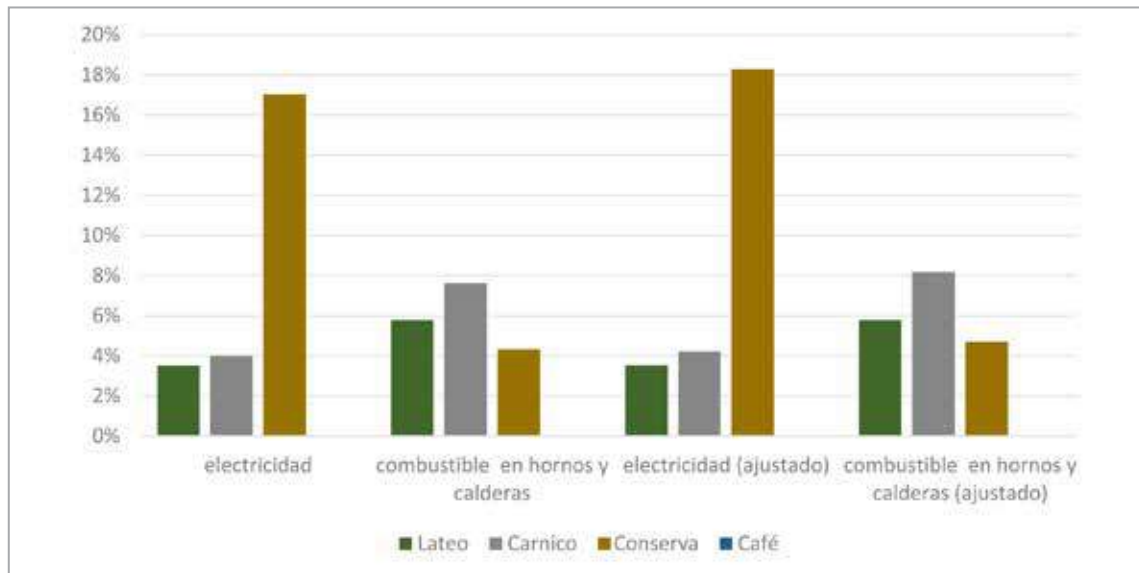


Figura 1.20 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del Grupo Empresarial Agroalimentario

En el grupo de la Pesca, las oportunidades más significativas están en la actividad de pesca de plataforma con el potencial de sustituir más del 20% del combustible utilizado en calderas y la actividad de industria que pudiera autoabastecerse en un 15 % de electricidad generada con biogás. En la actividad de Acuicultura es posible llegar a sustituir el 13% del combustible utilizado en calderas en el caso de las unidades con potencial de producción de biogás. (Figura 1.21).

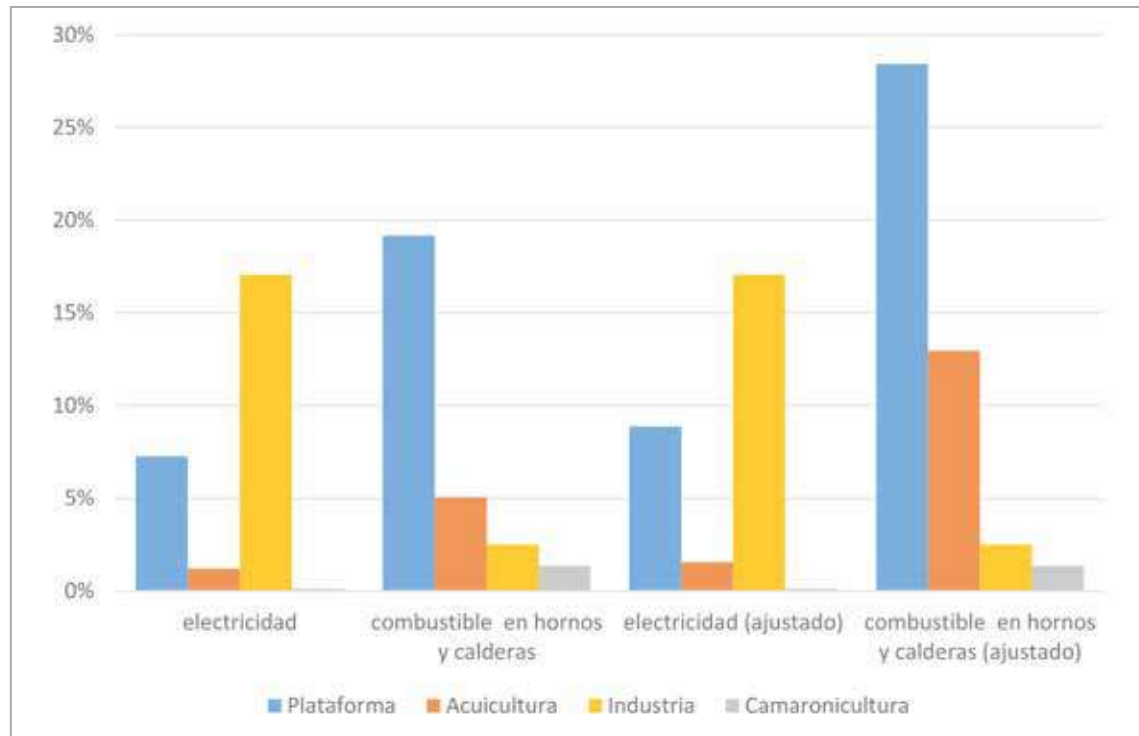


Figura 1.21 Potencial de autoabastecimiento de portadores energéticos por el uso del biogás industrial del Grupo Empresarial de la Pesca

1.4. Biogás total

El potencial de producción de biogás total que suma el asociado de las producciones agrícolas e industriales, asciende a 615.595 m³/año que equivalen a 189.227 tep/año o 710.095 MWh/año. El 63% del total corresponde a las producciones agropecuarias.

La distribución territorial del potencial de biogás asociado a los sectores productivos incorporados en este estudio el 54% del total se acumula en 6 provincias: Matanzas, Holguín, Mayabeque, Santiago de Cuba, Ciego de Ávila y Cienfuegos. (Figura 1.22).

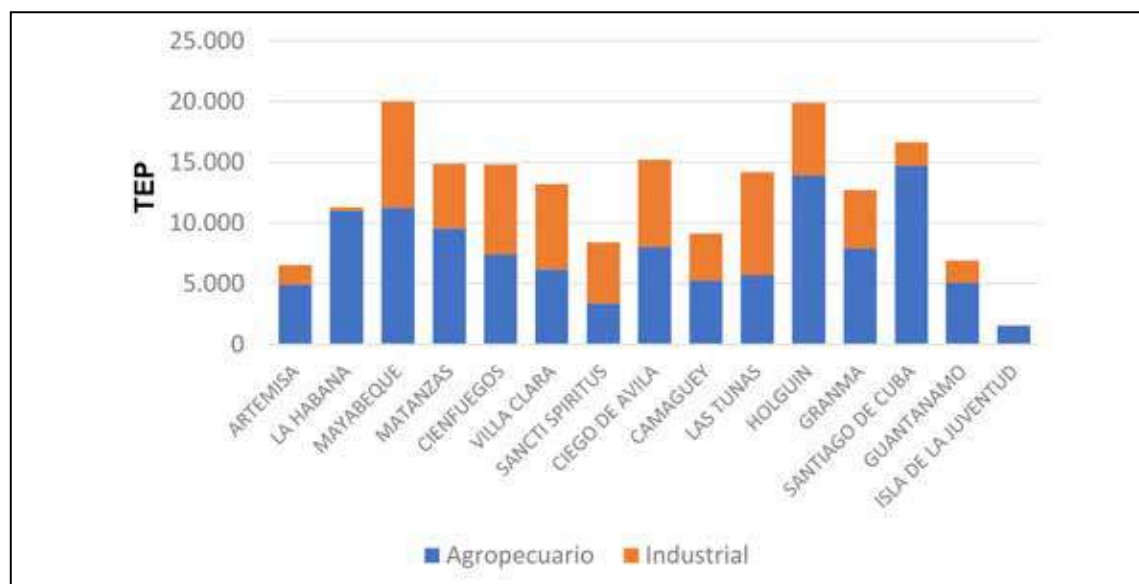


Figura 1.22 Potencial energético de biogás total por provincia

Hay cuatro provincias en las que el potencial del biogás industrial representa más del 50% del total. Estas son: Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spiritus y Las Tunas. (Figura 1.23).

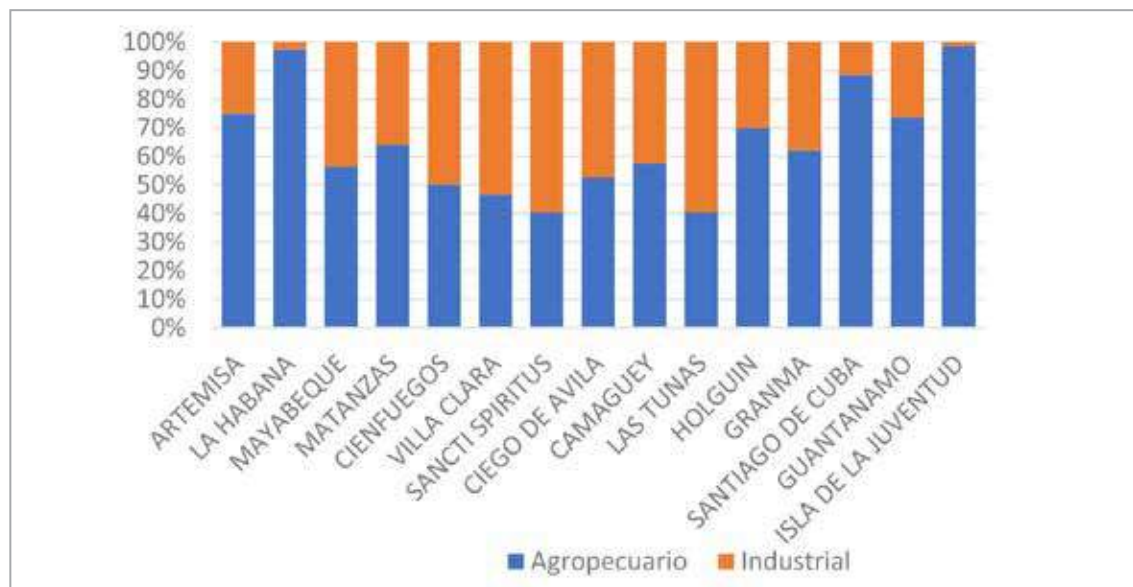
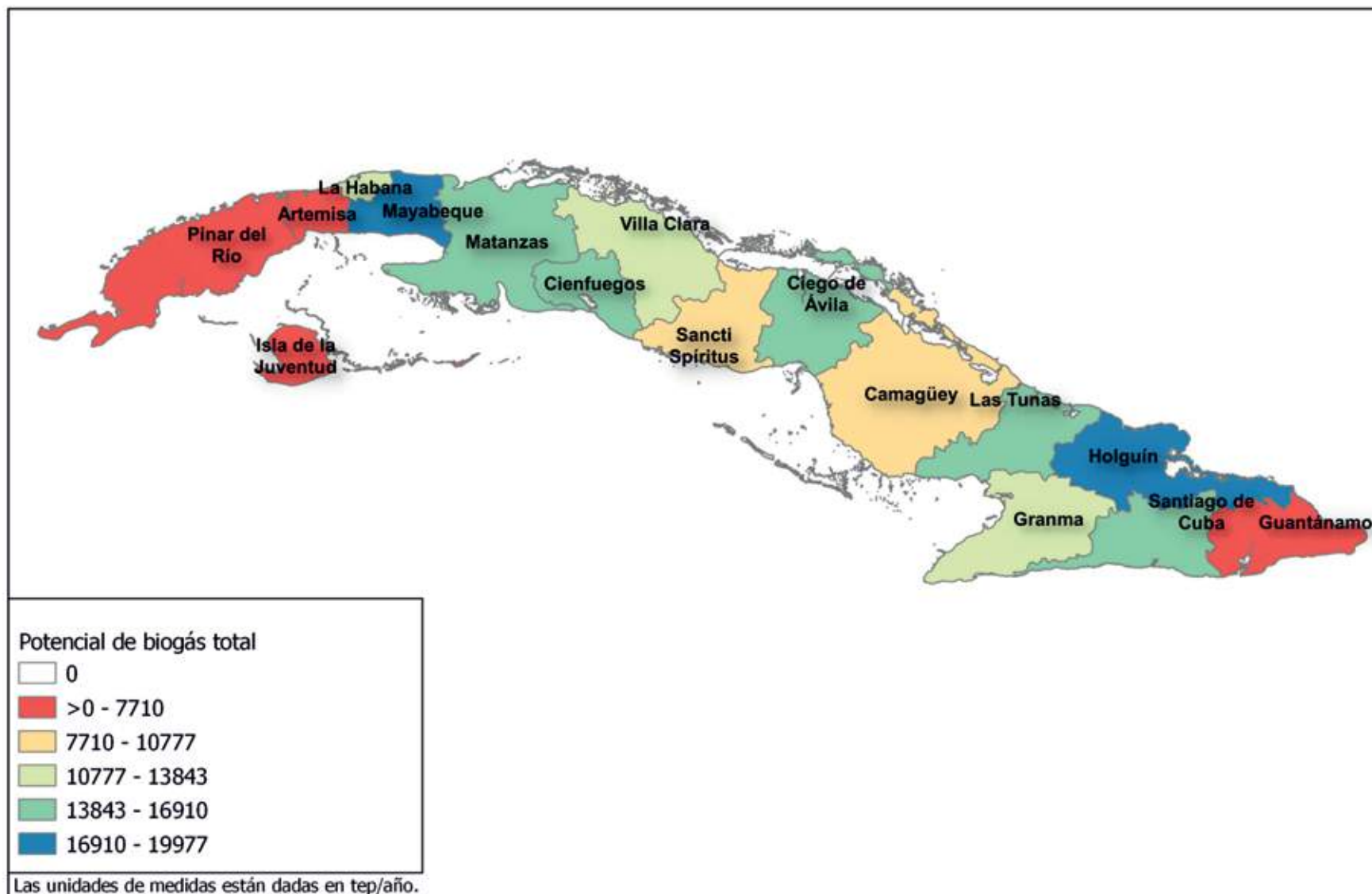
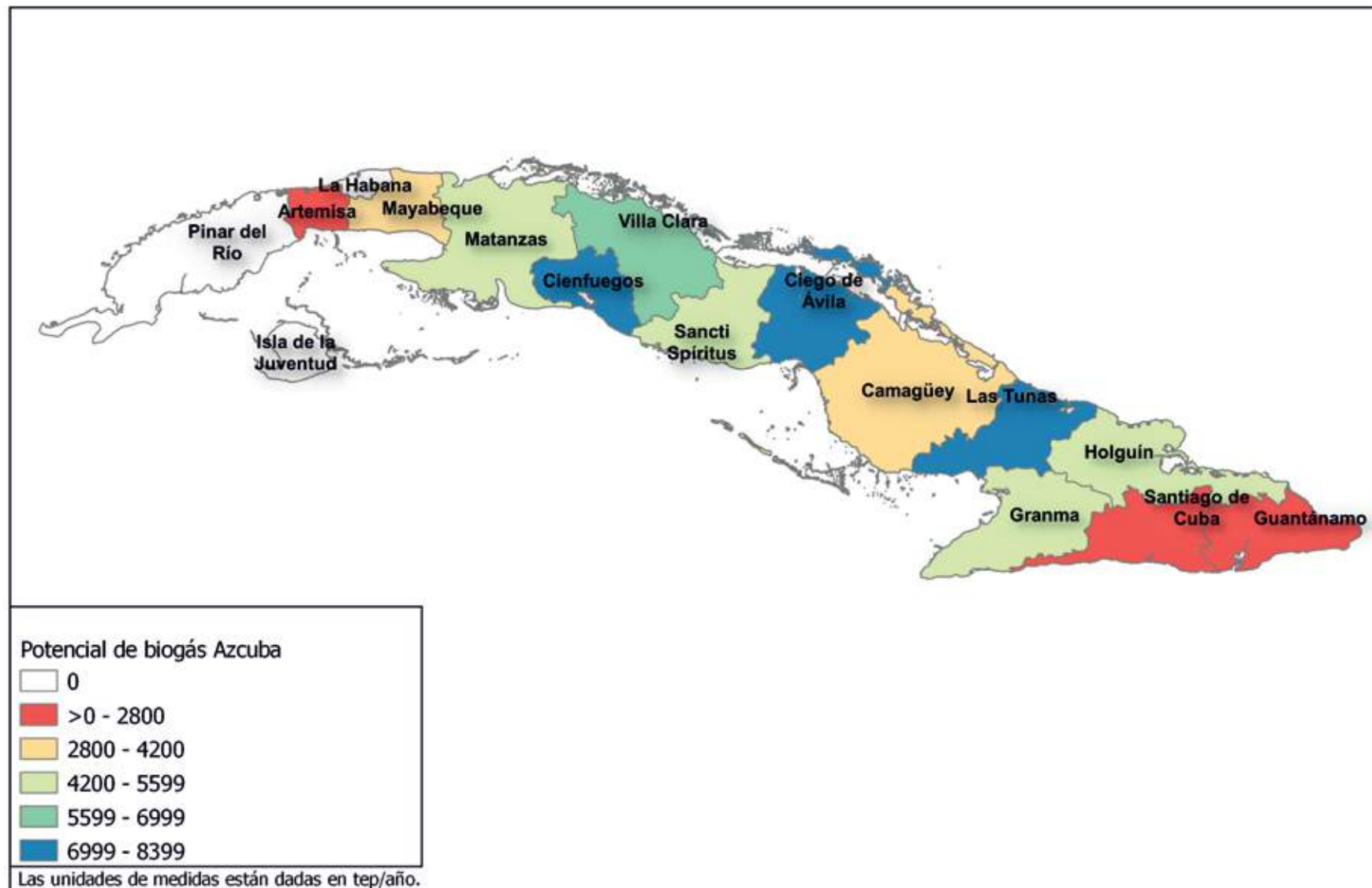


Figura 1.23 Participación por origen del potencial de biogás total por provincia

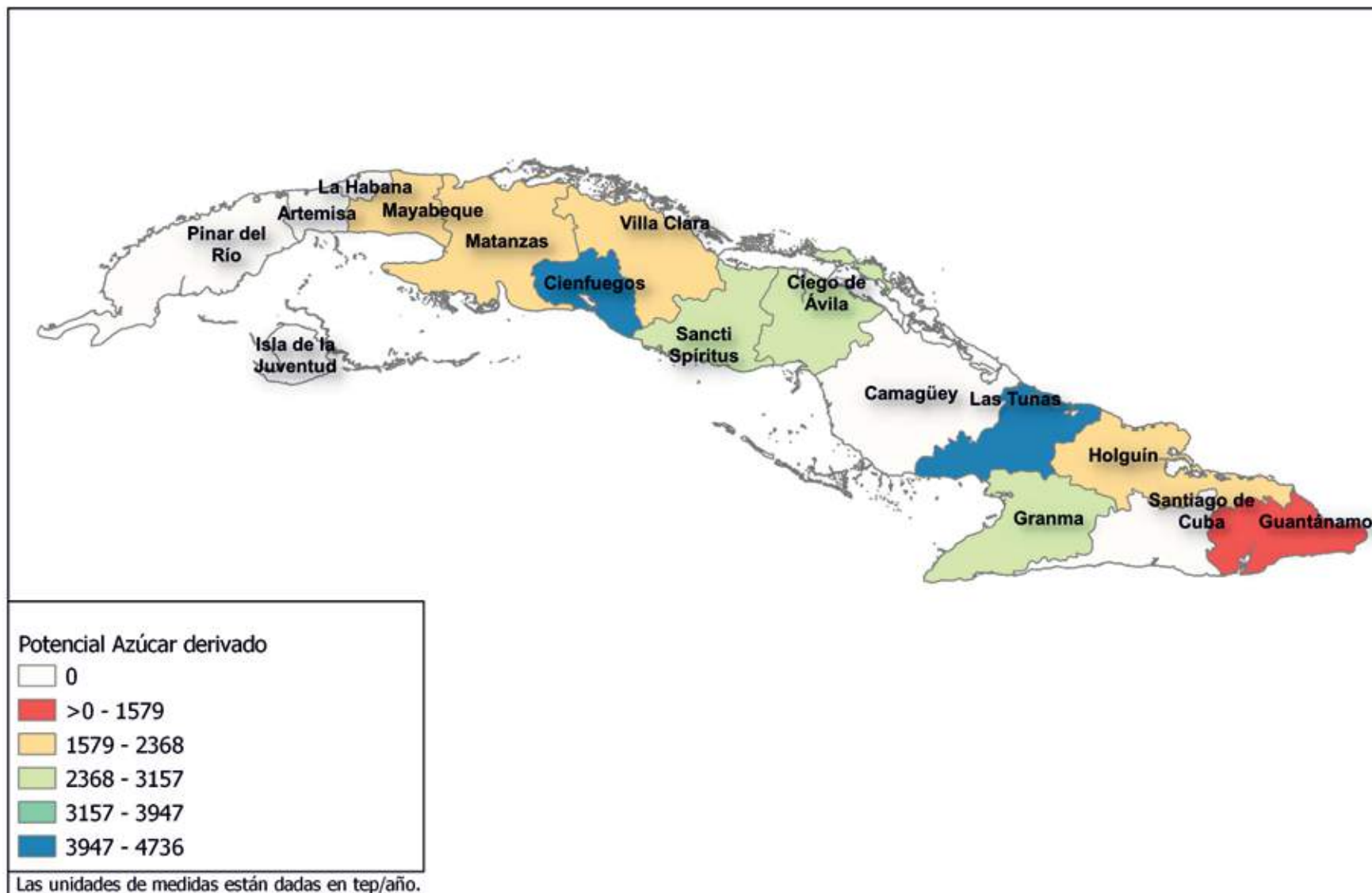
1.5. Mapas.



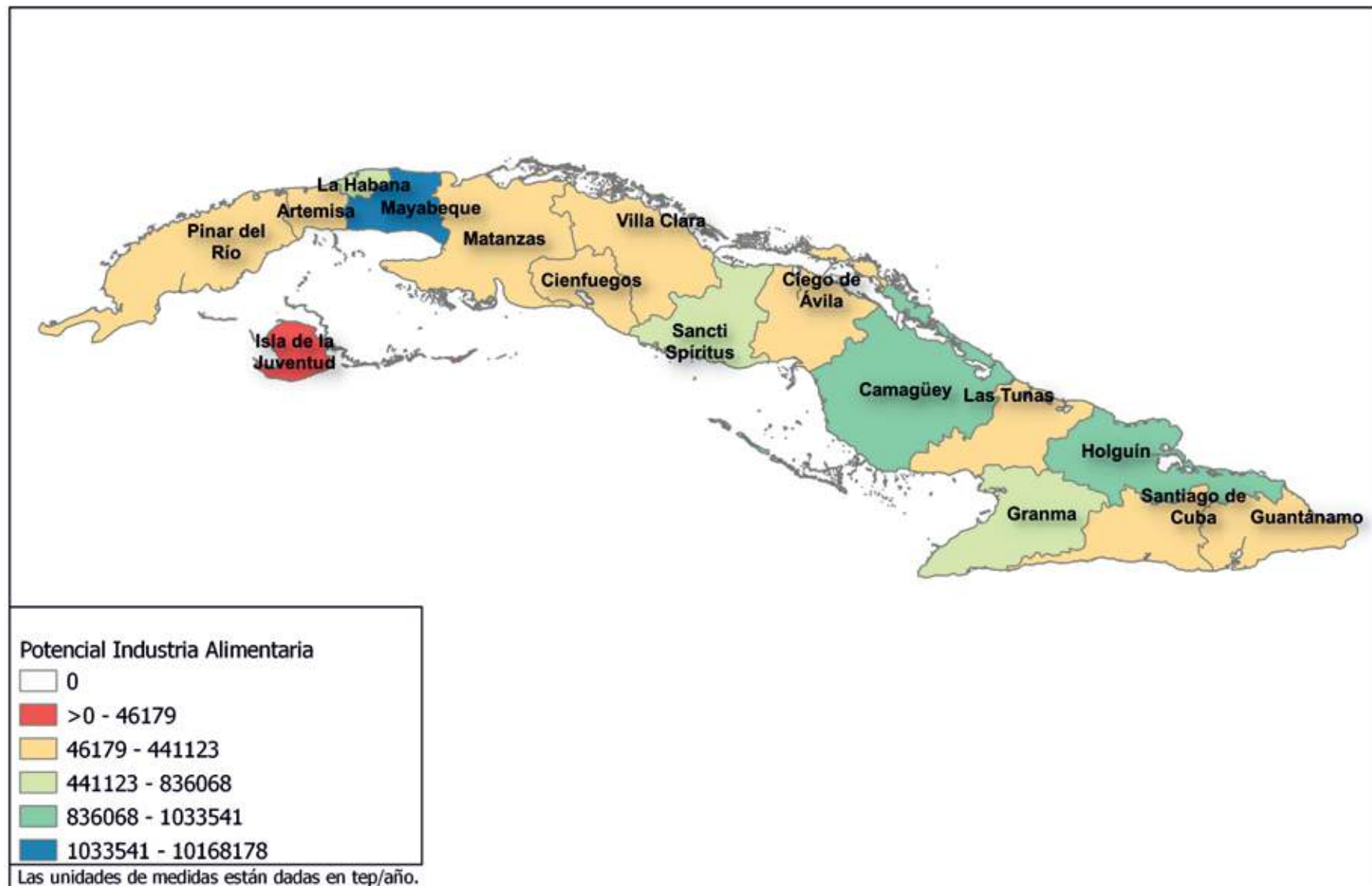
Mapa 1.5.1 Potencial de biogás total



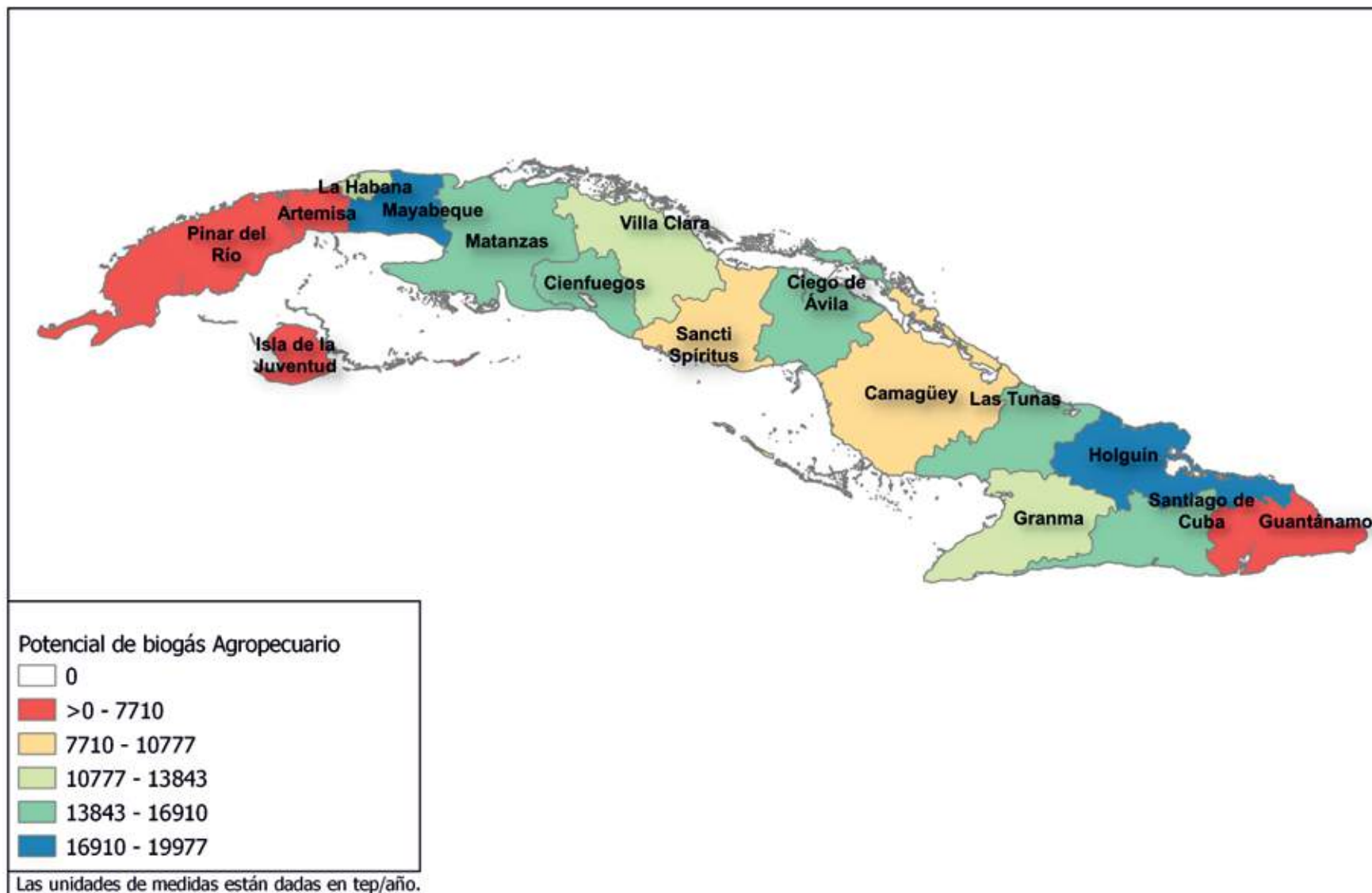
Mapa 1.5.2 Potencial de biogás Azcuba



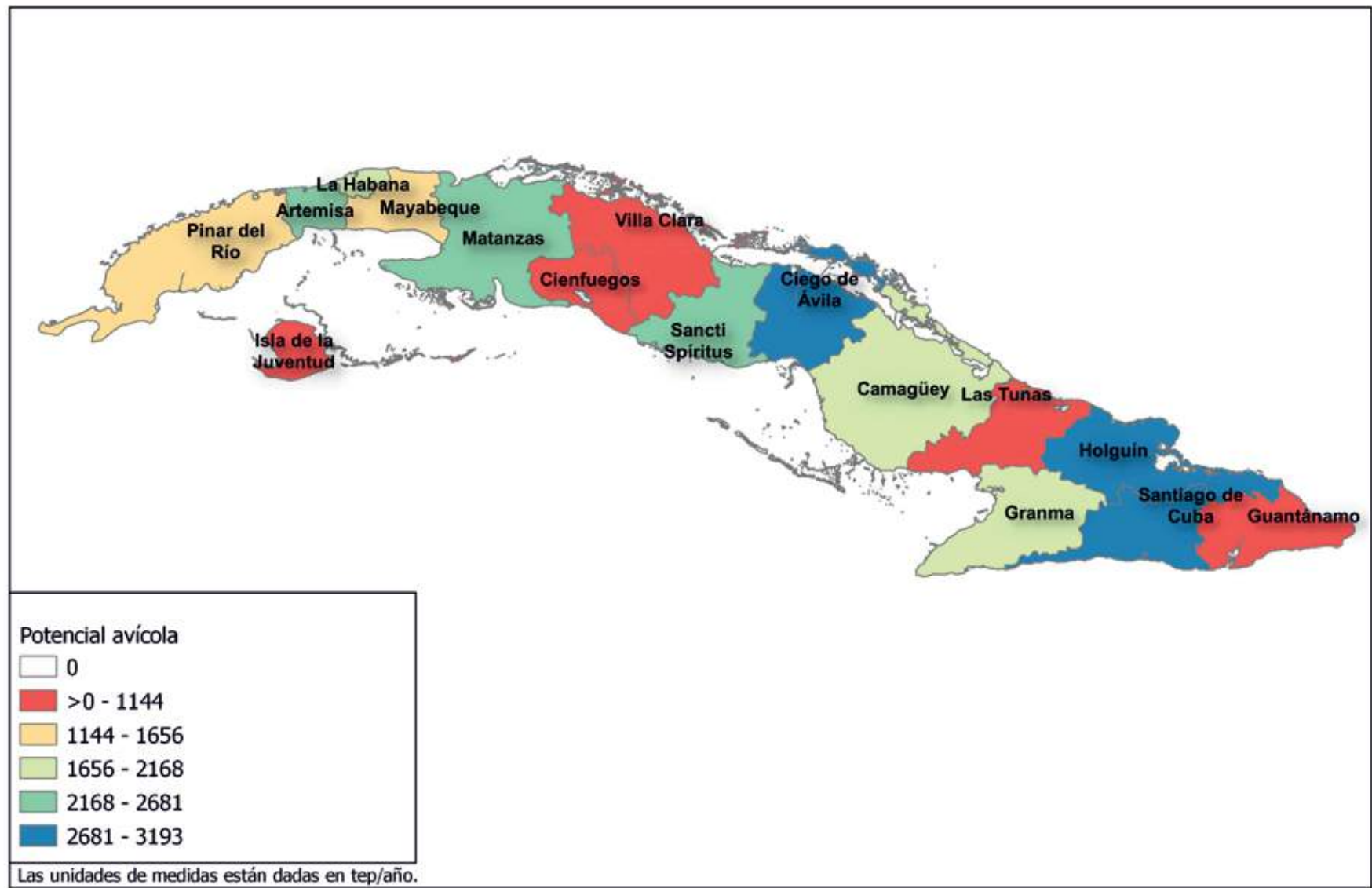
Mapa 1.5.3 Potencial de biogás Azúcar y Derivados



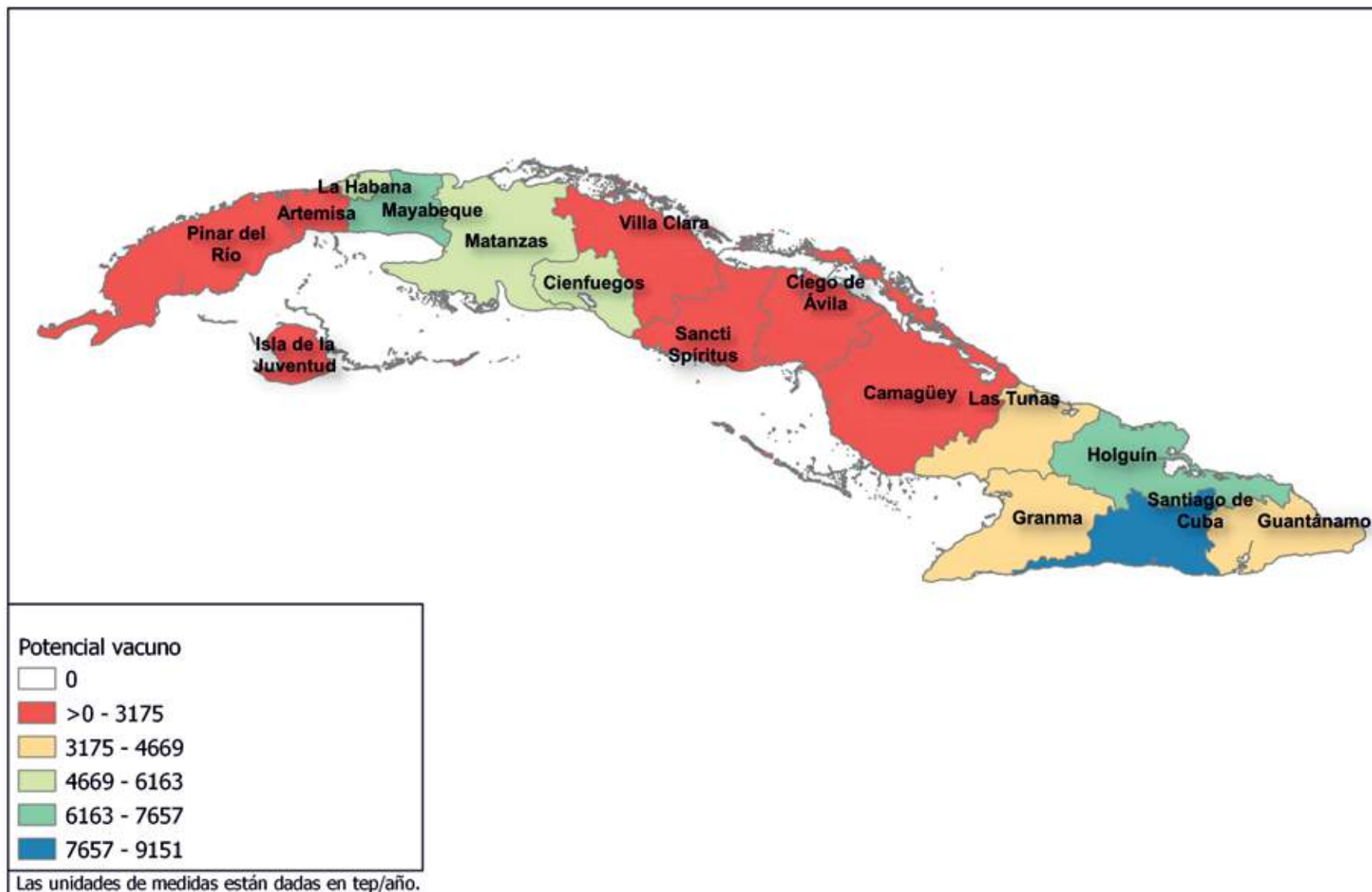
Mapa 1.5.4 Potencial de biogás Industria Alimentaria



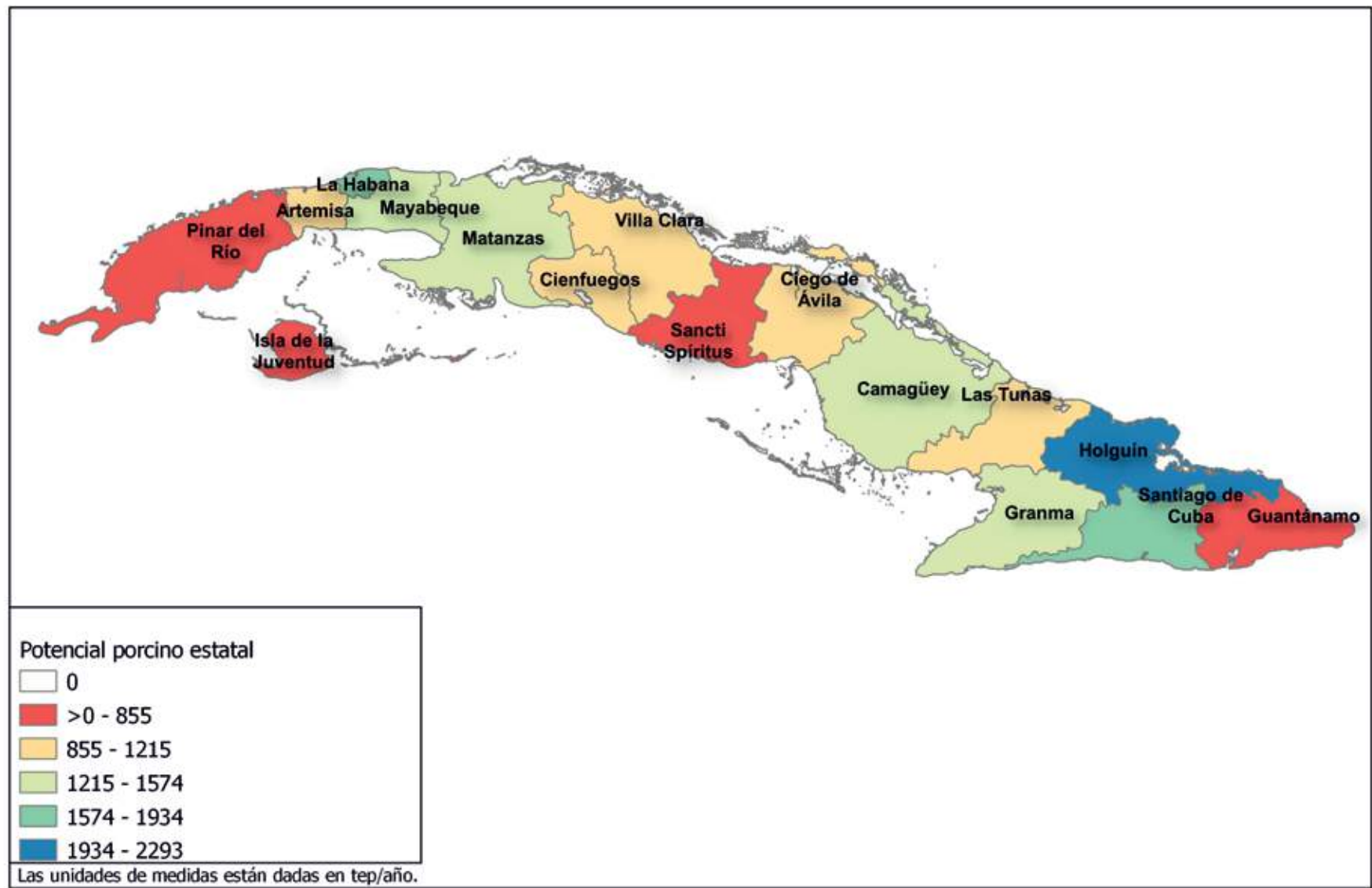
Mapa 1.5.5 Potencial de biogás Agropecuario



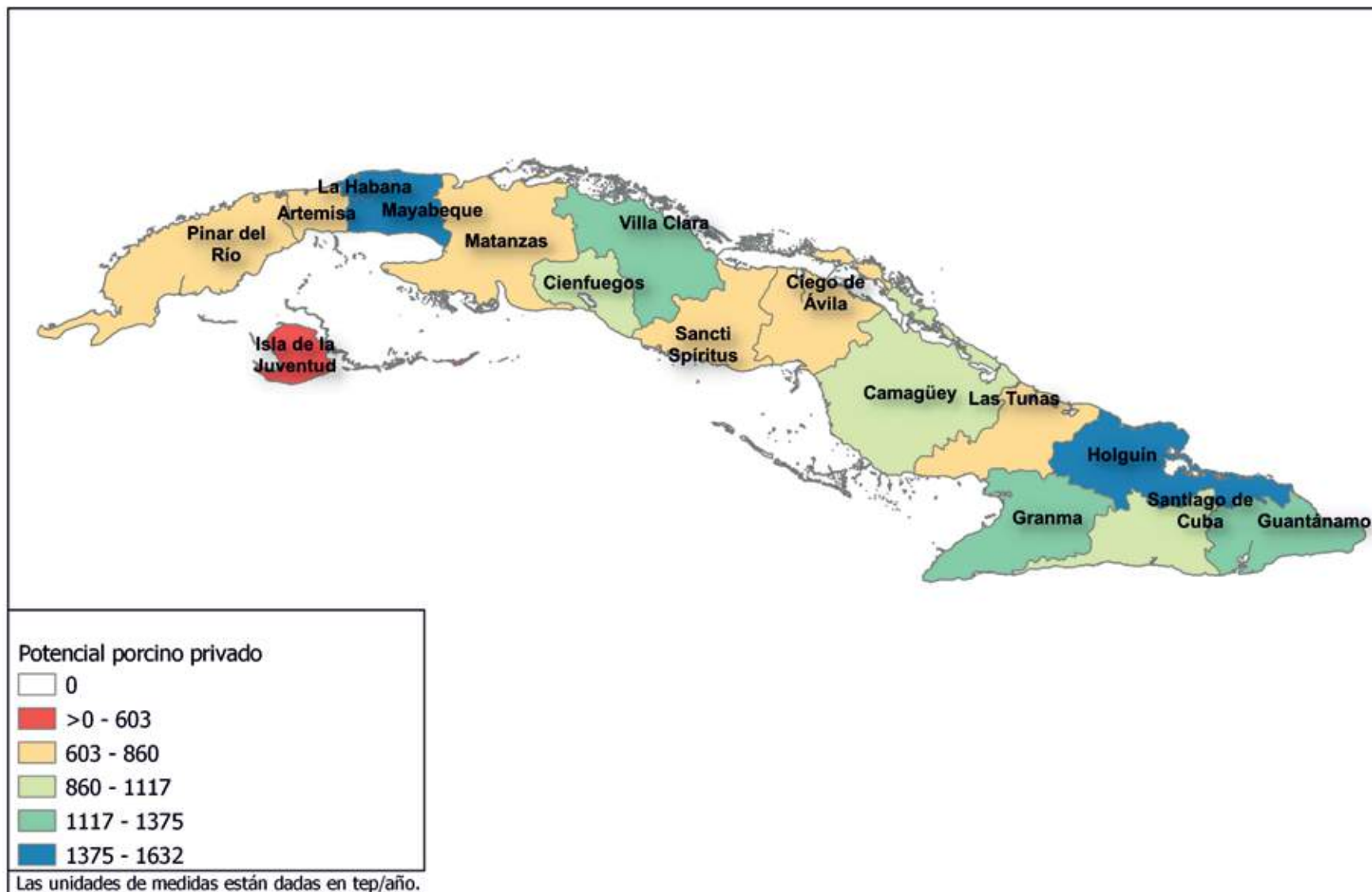
Mapa 1.5.6 Potencial de biogás avícola



Mapa 1.5.7 Potencial de biogás vacuno



Mapa 1.5.8 Potencial de biogás porcino estatal



Mapa 1.5.9 Potencial de biogás porcino privado

Conclusiones

- Se ha calculado el potencial de producción de biogás a partir del tratamiento anaerobio de los residuales orgánicos asociados a la producción de derivados en la industria azucarera y a la industria alimentaria, y los que resultan de la producción pecuaria de los sectores azucarero y agrícola -forestal.
- A partir de los análisis realizados se identifica que las principales incertidumbres en los resultados están dadas en la ganadería vacuna por la estimación del tiempo de estabulación y en la actividad industrial en relación con los datos del volumen de flujo de residual y de carga orgánica que son estimados o resultado de mediciones puntuales. Una mayor precisión de la evaluación de este potencial requeriría un estudio más detallado de estos parámetros.
- El potencial obtenido asciende a 429.5 millones de m³/año, equivalentes a 204.7 mil tep/año o 773.198 MWh/año, correspondiendo el 66% a la actividad agropecuaria. En la actividad industrial el mayor productor potencial es AZCUBA y en la agropecuaria el GEGAN.
- Desde el punto de vista territorial, la provincia con mayor potencial de producción de biogás son Mayabeque y Holguín, en la actividad industrial Mayabeque y Las Tunas y en la actividad agropecuaria Camagüey.

- Teniendo en cuenta las potencialidades de producción de biogás y la estructura de consumo de electricidad y combustible, ha resultado mas razonable considerar que el biogás se destine a la producción de electricidad en lugar que a la sustitución de combustibles en hornos y calderas.
- Un análisis sobre el impacto potencial que se puede alcanzar por el uso del biogás para la generación de electricidad permite apreciar que se puede lograr generar el 44% de la electricidad consumida por los tres sectores incluidos en este reporte. El potencial de generación de electricidad en AZCUBA es del 34%, de su consumo total, en el sector agrícola y forestal es de un 117% y en la industria alimentaria un 6,5%.

CAPÍTULO 2. Demanda potencial de biodiésel

2.1. Introducción

El consumo de combustibles en los medios de transporte automotor, ferroviario y la maquinaria agrícola representa un gasto importante para el país y en muchas ocasiones una limitante para la realización de actividades productivas y de servicios. Si bien es cierto que la tendencia internacional cada vez se inclina más a la electrificación de estos medios de transportación y en particular del transporte automotor ligero y de pasajeros, en el corto mediano plazo el consumo de combustible en esta actividad seguirá siendo significativo.

La contribución de la bioenergía a la disminución de la importación de combustible en este campo es por medio del uso de las mezclas de gasolina con alcohol etílico y la de diésel con biodiésel.

Ambos biocombustibles representan oportunidades para impulsar la actividad agropecuaria. En Cuba la producción de etanol está asociada al cultivo de la caña de azúcar y pudieran explorarse otras alternativas agrícolas como es el cultivo de la yuca. Un ejemplo de la producción de etanol a partir de la yuca, para su mezcla con gasolina, es Tailandia¹.

El biodiésel es una mezcla de esteres metílicos de ácidos grasos que puede sustituir al diésel y se obtiene por medio de la transesterificación, al hacer reaccionar los aceites vegetales o las grasas animales con metanol e hidróxido de sodio como catalizador. Como subproducto se obtiene glicerol.

¹ Biofuels Annual. Thailand case. 2021. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Bangkok_Thailand_05-31-2021.pdf. Revisado 25/11/2021.

En el caso de Cuba los expertos coinciden en que la fuente más apropiada es el aceite obtenido de la semilla del fruto de la *Jatropha curcas* (Jc), conocida en Cuba como Piñón de Botija. Entre las razones para esta selección está el hecho de no ser un aceite comestible y no ser una planta muy exigente en cuanto a suelos y atenciones agro-culturales.

El enfoque de esta evaluación de demanda potencial de biodiésel no está dirigido a la producción para el mercado nacional de combustibles, sino para contribuir al autoabastecimiento del sector agrícola del país hasta en un 20% del combustible que actualmente se utiliza en la maquinaria agrícola en este sector.

Los porcentajes de mezcla, obedecen a los mandatos sobre biocombustibles establecidos por los gobiernos de cada país. Es así como en Colombia se ha regulado una mezcla de B9-B10 (9-10 % aceite de palma en la composición del biodiésel), y en otros países de la región como Brasil y Argentina, el principal exportador de biodiésel del mundo, se han establecido mezclas de B5 y B10 respectivamente. Así mismo, países de otras latitudes, como los del Sudeste Asiático, han adoptado una mezcla de B10; al tiempo que la India se encuentra trabajando por alcanzar una mezcla de B20 en los próximos años. Lo importante de estas cifras es señalar que existen iniciativas en distintos países para incrementar paulatinamente el volumen de las mezclas de biodiésel, buscando con ello mitigar los daños al medioambiente ocasionados por los combustibles de origen fósil, así como disminuir la dependencia que se tiene de los mismos.

Los principales aportes e impactos de un agrosistema forestal de *Jatropha curcas* se pueden enmarcar en los beneficios económicos, sociales y medioambientales.

Económicos: El país podrá disponer de combustibles renovables propios para el transporte y la maquinaria agrícola, lo que tendrá una influencia positiva en el mejoramiento de la matriz energética y en la reducción de importaciones. Estas materias primas y sus subproductos (residuos) de los procesos pueden tener otros empleos económicos (insecticidas, abono, alimento animal, y otros), y el desarrollo de agroindustrias locales, generando nuevos empleos y las economías locales.

Sociales: Puede contribuir a la solución de problemas locales, propiciar un mayor acceso a la energía en las áreas rurales y a crear nuevos puestos de trabajo asociados a estas cadenas productivas, lo que influye en una elevación de la calidad de vida.



Medioambientales: El desarrollo de un agrosistema de *Jatropha curcas* y el aprovechamiento de su biomasa pueden propiciar un incremento de las áreas boscosas y frenar la deforestación en los ecosistemas más frágiles, en especial en las regiones semiáridas y secas no aprovechadas por la agricultura cubana, la regeneración de esos suelos, el incremento de la biodiversidad, la disminución de las emisiones de gases contaminantes, etcétera.

2.2. Metodología

La metodología empleada se basa en la estimación del área de plantaciones de Jc necesaria para producir el 20% del combustible diésel que se utiliza en la maquinaria agrícola.²

El área calculada que se requiere para plantaciones se expresa como una fracción de las siguientes categorías³ para cada provincia del país:

- a. Tierras ociosas
- b. Suelos categoría III y IV
- c. Áreas cultivadas.

El cálculo del potencial de producción de biodiésel por unidad de área de plantación de *Jatropha curcas* se realiza en los siguientes posibles escenarios de implementación:

A. Cultivo intercalado:

- En secano y buen manejo
- Con riego, fertilización y buen manejo

B. Plantación en monocultivo:

- En secano y buen manejo
- Con riego, fertilización y buen manejo

La *Jatropha curcas* para cultivo intercalado requerirá de esquemas de plantación de 6m x 2m, (833 plantas por ha). Responde al concepto de producción integrada de alimentos y energía, donde el 40% de la superficie agrícola se destina a la producción de alimentos y el restante 60% a la producción de energía.

² Según datos del 2017 aportados por la ONEI.

³ Se toman los datos del Boletín "Balance del uso y tenencia de la tierra" 2017

La mayor parte de los cultivos de bajo porte pueden ser intercalados. En Cuba se ha experimentado con 19 cultivos diferentes y se cuenta con buenas experiencias de cultivos en frijoles y otros granos, además maní, cucurbitáceas, etcétera.

En monocultivo el esquema de plantación recomendado es de 3m x 2m, 1666 plantas por ha.

Las labores de manejo fundamentales consisten en mantener limpias las plantaciones y realizar la poda anual a tiempo para garantizar la formación de ramas y frutos. El riego de las plantaciones en los lugares en que esté disponible se hará en los momentos de máximas sequías y a garantizar la segunda producción de frutos. Para la fertilización se emplearán los fertilizantes inorgánicos y los orgánicos producidos por composteos de los propios residuos de la poda y cosecha de la *Jatropha*.

Para el cálculo de los rendimientos de producción de biodiésel además de las plantaciones de cultivo intercalado y en monocultivo, se incluye el caso de la plantación de cerca viva en la ganadería. Las variables e indicadores productivos empleados, así como los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.1. Para facilidad de los mismos se parte de los rendimientos de producción de frutos secos por árbol, la producción de semilla y aceite, los índices de extracción de aceites de la semilla y los indicadores industriales obtenidos en el marco del proyecto internacional Biomass Cuba.

Tabla 2.1. Cálculo de los rendimientos de biodiésel a partir de *Jatropha curcas*

Símbolos	Variables	Unidades	Escenarios			
			Cultivo intercalado		Monocultivo	
			El _s	El _r	Ed _s	Ed _r
			En seco y buen manejo	Con riego, ferti- lización y buen manejo	En seco y buen manejo	Con riego, ferti- lización y buen manejo
P _f	Producción de frutos por árbol	Kg frutos secos/ árbol/ año	2.03	3.23	2.03	3.23
P _s	Contenido de semilla por fruto	Kg semillas secas/árbol/ año	1.32	2.1	1.32	2.10
C _a	Contenido de aceite crudo en la semilla	kg de aceite/kg de semilla seca	0.42	0.42	0.42	0.42
I _e	Índice de extracción de aceite de la semilla a presión en frío	kg de aceite extraído por kg de aceite en la semilla	0.75	0.75	0.75	0.75
$P_{ac} = C_a \times I_e$	Obtención de aceite crudo de la semilla	Aceite crudo extraído por kg de semilla	0.32	0.32	0.32	0.32
$P_{aa} = P_{ac} \times P_s$	Aceite crudo extraído por árbol	Kg aceite crudo extraído/árbol/año	0.42	0.66	0.42	0.66
R _r	Rendimiento de la refinación	kg aceite refinado por kg de aceite crudo	0.9	0.9	0.9	0.9
$P_{BDa} = P_{aa} \times R_r$	Producción de biodiésel por árbol	kg biodiésel/ árbol/año	0.37	0.58	0.37	0.58
d _{BD}	Densidad del biodiésel	kg/l	0.88	0.88	0.88	0.88

Símbolos	Variables	Unidades	Escenarios			
			Cultivo intercalado		Monocultivo	
			EI_s	EI_r	Ed_s	Edr
			En secano y buen manejo	Con riego, fertilización y buen manejo	En secano y buen manejo	Con riego, fertilización y buen manejo
D_p	Densidad de plantación	árboles /ha	800	800	1650	1650
$P_{BD} \text{ (kg)} = P_{BDa} * D_p$	Producción de biodiésel por unidad de área de plantación	kg de biodiésel/ha. Año	293.4	466.8	605.1	962.7
$P_{BD(l)} = P_{BD} \text{ (kg)} / d_a$	Producción de biodiésel por unidad de área de plantación	litros de biodiésel/ha. Año	333.4	530.4	687.6	1094.0

Para las cercas vivas se utiliza una densidad de plantación de 500 árboles de *Jatropha curcas* por km de cerca viva y se estima una producción de biodiesel de 183.4 kg/km de cerca viva, el equivalente a 208.4 litros de biodiesel/ km.

2.3. Índice de área adicional a plantar con *Jatropha curcas*

Este índice permite calcular el área de Jc que se debe sembrar para producir el 20% del diésel consumido en la producción del cultivo seleccionado (Tabla 2.2). Con este fin se debe multiplicar el área de cultivo por el valor correspondiente del índice. Este índice se calcula a partir del documento “*Índices de Consumo para las Principales Producciones del Ministerio de la Agricultura*” en su primera versión del 2013.

Es significativo que para los principales cultivos agrícolas con y sin riego, el área adicional a plantar está entre el 5% y el 14% como máximo. Figura 2.1.

Tabla 2.2. Índice de área adicional de plantación de *Jatropha curcas* para producir el biodiésel equivalente al 20% del consumo de diésel para el cultivo seleccionado.

Producción	Porcentaje de área adicional (%) para plantación	
	sin riego, %	con riego, %
Yuca	14.4%	10.9%
Ajo	11.1%	8.4%
Plátano	10.8%	8.1%
Maíz	9.4%	7.1%
Frijol	9.4%	7.1%
Tomate industria	8.5%	6.4%
Pepino	8.1%	6.2%
Cebolla seca	8.1%	6.1%
Tomate consumo fresco	7.8%	5.9%
Col	7.7%	5.8%
Boniato	6.5%	4.9%
Malanga xantomona	6.0%	4.5%
Ñame	5.7%	4.3%
Malanga calocasia	3.6%	2.7%
Arroz fanguero desinfección	2.8%	2.1%
Piña MD	2.8%	2.1%
Fruta bomba	2.6%	2.0%
Guayaba	1.8%	1.4%
Mangos	1.7%	1.3%
Piña	1.7%	1.3%
Aguacate	1.7%	1.3%
Cítricos	0.8%	0.6%

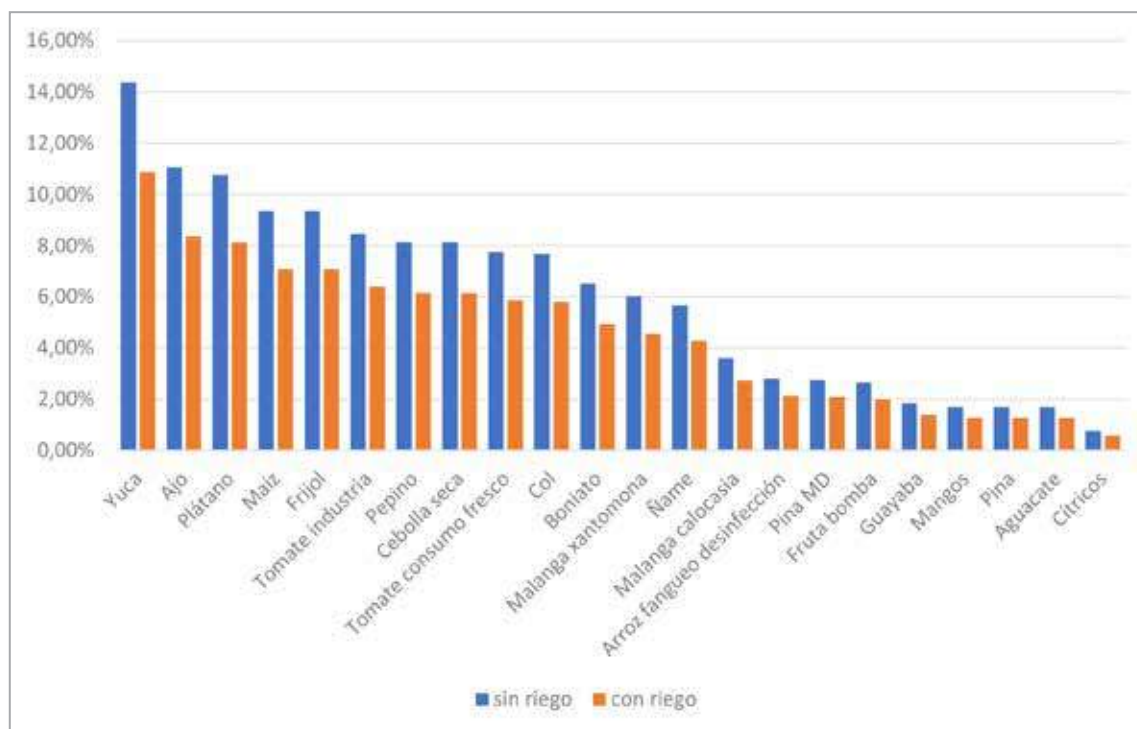


Figura 2.1. Área adicional de *Jatropha curcas L.* para sustituir el 20% consumo diésel por tipos de cultivos en el MINAG.

Como se puede observar en la gráfica, para cultivos tan extendidos en el país como el plátano, el maíz, el frijol, el tomate, entre otros, con un 8% a un 10% adicional de área plantada de *Jatropha*. Se puede producir el 20% del diésel que actualmente se consume durante el ciclo del cultivo.

2.4. Consumo de combustible diésel oil en maquinaria agrícola.

El consumo de diésel oil en maquinaria agrícola en los sectores incorporados a este documento asciende a 123.843 TEP. De esta cantidad el 52% le corresponde al GAG y el 32% a AZCUBA. El análisis más detallado por actividad muestra que el consumo de AZCUBA se define por el uso de diésel en la agricultura cañera, que representa el 85% de ese total. En el caso del GEGAN el mayor consumo corresponde al área de ganadería vacuna con un 46% del total del grupo. Figuras 2.2 y 2.3.

La demanda de biodiésel se concentra en cinco provincias: Matanzas, Camagüey, Granma, Pinar del Río y Villa Clara que acumulan el 50% del total. Tabla 2.3

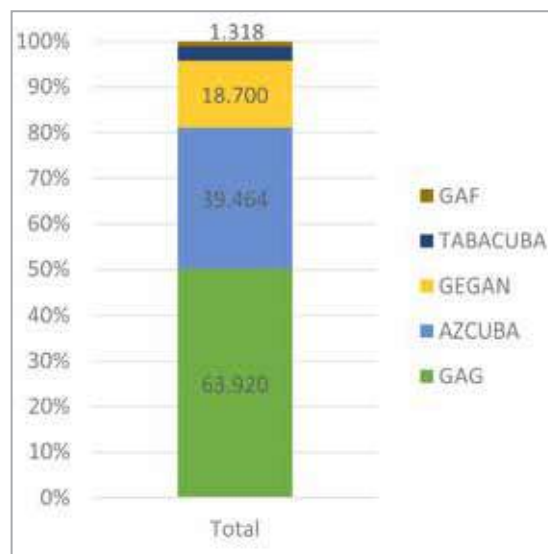


Figura 2.2 Participación por OSDE en el consumo de combustible diésel en la maquinaria agrícola (TCE)

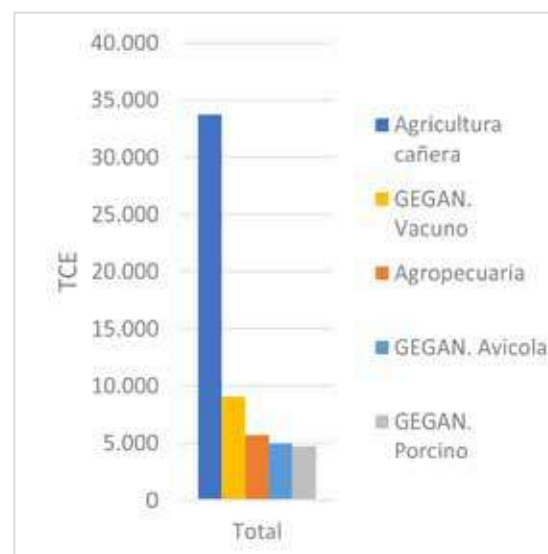


Figura 2.3 Consumo de combustible diésel en la maquinaria agrícola por OSDE

Tabla 2.3. Parte del área total requerida para producir el 20 % del diésel consumido en la agricultura

Provincia	AZCUBA			GEGAN			GAG	TABACUBA		GAF	Total		
	Agricultura cañera	Agropecuaria	Total	Avícola	Porcino	Vacuno	Total	Maq Agrícola	Riego	Total			
Pinar del Rio	0	0	0	97	105	204	406	1.084	258	131	389	209	2.088
Artemisa	247	51	298	64	210	41	314	326	238	33	271	0	1.208
La Habana	0	0	0	78	125	87	290	159	0	0	0	0	449
Mayabeque	371	144	515	42	309	32	383	328	0	0	0	0	1.226
Matanzas	486	116	603	41	159	40	239	2.281	38	0	38	0	3.161
Cienfuegos	515	43	558	25	22	30	77	716	30	0	30	0	1.381
Villa Clara	716	82	798	61	0	84	145	911	45	0	45	0	1.899
Sancti Spiritus	425	74	499	32	0	0	32	699	26	11	37	37	1.304
Ciego de Avila	682	76	758	7	63	6	77	967	88	0	88	0	1.889
Camagüey	641	150	791	47	153	20	220	1.512	0	0	0	1	2.525
Las Tunas	754	90	844	90	0	77	167	362	15	0	15	1	1.389
Granma	414	79	493	28	133	73	233	1.695	14	0	14	4	2.439
Holguín	599	66	666	74	165	75	314	632	9	0	9	10	1.630
Santiago De Cuba	429	77	506	62	130	37	229	308	9	0	9	1	1.053
Guantanamo	116	31	147	65	46	51	163	159	0	0	0	1	470
Isla de La Juventud	0	0	0	89	111	86	286	0	0	0	0	0	286
Total	6.395	1.080	7.475	902	1.731	944	3.577	12.139	768	175	943	264	24.397

2.5. Demanda de plantaciones de *Jatropha curcas*.

Para satisfacer esta demanda con mezclas de diésel – biodiésel con un 20% de este último utilizando plantaciones compactas en seco, se requiere un total de 39 460 ha de las cuales más del 50%, 20 207 ha, le corresponden al GAG. Figura 2.4.

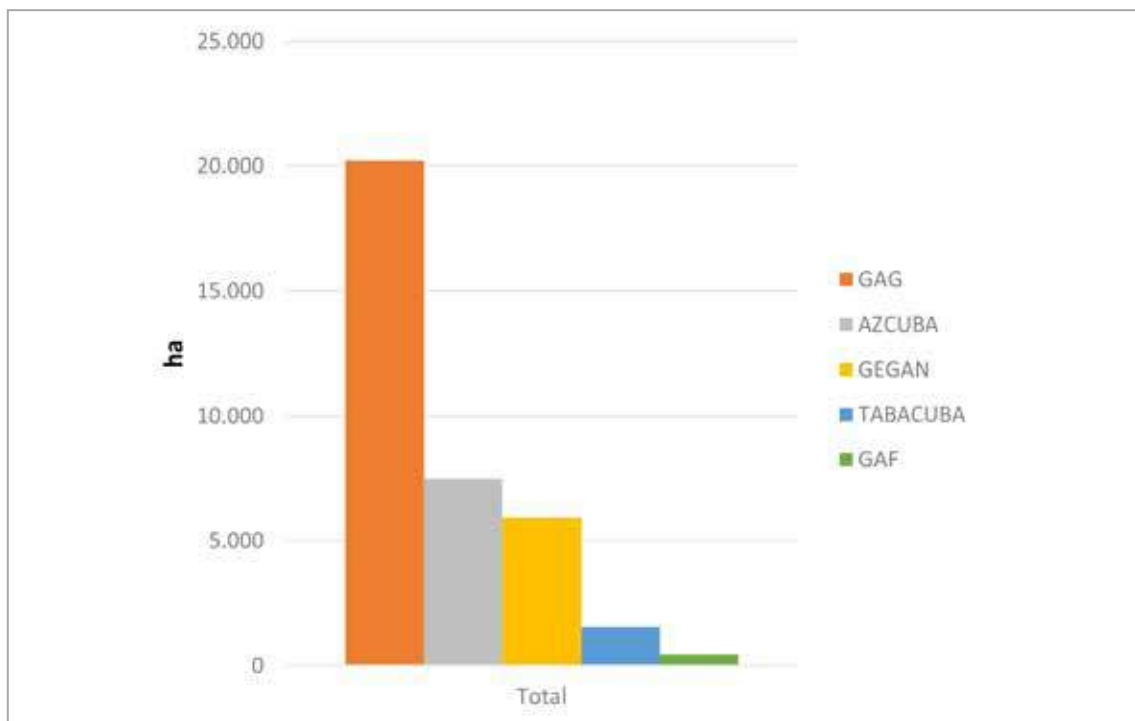


Figura 2.4 Demanda de plantaciones de *Jatropha curcas* en seco por OSDE

La demanda de plantaciones de *Jatropha curcas* por OSDE en cada provincia varía sustancialmente de una a otra. La demanda del GAG es más del 50% del total en las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Cienfuegos, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila, Camagüey y Granma. AZCUBA es el mayor demandante en Las Tunas con más del 50 % y en las provincias de Mayabeque, Holguín y Santiago de Cuba. El GEGAN demanda más del 50% en la provincia de la Habana. Figura 2.5.

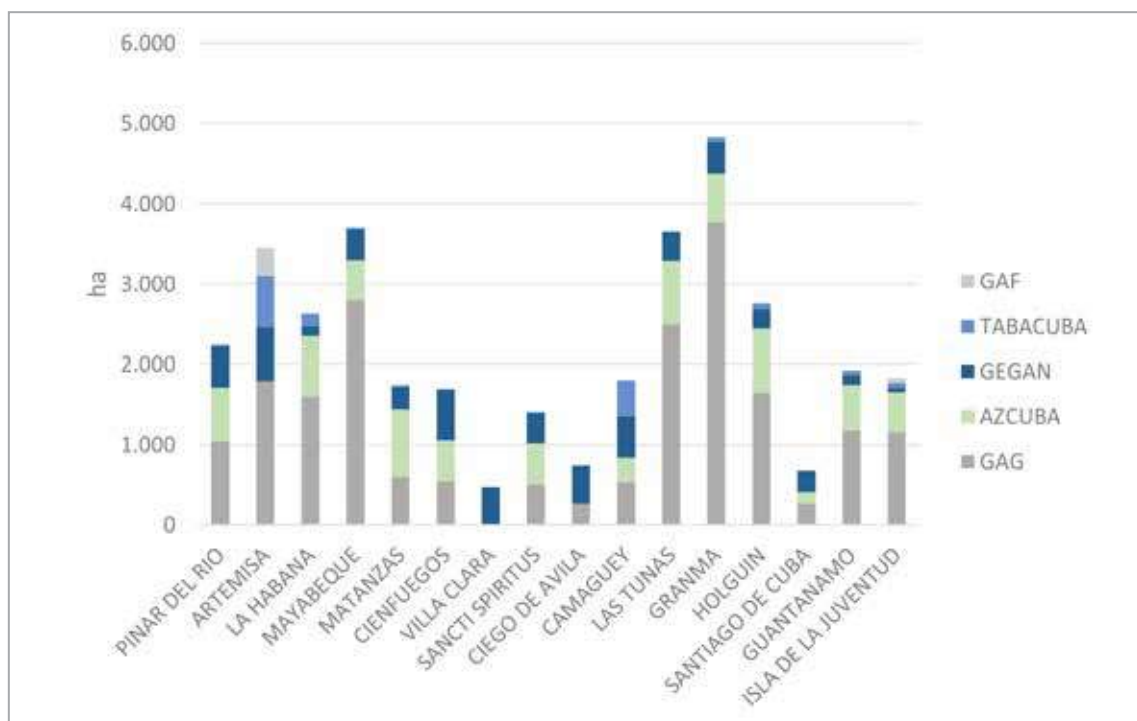


Figura 2.5 Demanda de Plantaciones *Jatropha curcas* en seco por provincia y OSDE

2.6. Disponibilidad de áreas para plantaciones de *Jatropha curcas*.

El análisis de disponibilidad potencial de áreas por provincia es un factor muy importante para evaluar en qué medida las condiciones existentes contribuyen a materializar este potencial. Utilizando los datos⁴ de área cultivada, áreas agrícolas ociosas y de suelos medianamente productivos (categoría III), y poco productivos (categoría IV), se determina la fracción de estas áreas por provincia que se requieren para establecer las plantaciones de *Jatropha* necesarias para lograr producir el 20% del diésel consumido en maquinaria agrícola en cada territorio. Tabla 2.4

El área a plantar de *Jatropha curcas* representa como media nacional el 1.3 % de las tierras cultivadas, el 0,7% de los suelos categoría III y IV y el 11% de las tierras ociosas.

La provincia de La Habana constituye una excepción por los altos valores de estos indicadores y la poca disponibilidad de tierras agrícolas. El área a plantar de *Jatropha curcas*,

⁴ Anuario Estadístico de la República de Cuba. Edición 2020.

representa en esta provincia el 154 % de las tierras ociosas, el 5,8% de los suelos categoría III y IV y el 4,6% de los suelos cultivados.

En el resto de las provincias, el índice relativo a la comparación con los suelos categoría III y IV varía entre un 1,5% para Ciego de Ávila y un 0,1 % para Guantánamo. En el caso de del índice relacionado con las tierras cultivadas su valor oscila entre 2,4% para Matanzas y un 0,6% para Guantánamo.

Tabla 2.4 Disponibilidad de áreas para plantaciones de *Jatropha curcas*

Provincia	Área	Área vs tierras ociosas	Área vs tierra cultivada	Área vs suelos categoría III y IV
Provincia	ha	%	%	%
Pinar del Río	3451	20,39%	1,43%	0,64%
Artemisa	1997	40,19%	1,52%	0,98%
Habana	742	150,14%	4,47%	5,67%
Mayabeque	2026	23,67%	1,46%	1,37%
Matanzas	5224	15,08%	2,14%	1,21%
Villa Clara	2283	11,04%	1,53%	1,02%
Cienfuegos	3403	22,85%	1,04%	0,64%
Sancti Spiritus	2155	6,65%	1,09%	0,67%
Ciego de Ávila	3123	13,95%	1,60%	1,30%
Camagüey	4173	5,30%	0,98%	0,61%
Las Tunas	2295	2,60%	1,08%	0,61%
Holguín	4032	14,64%	1,53%	0,96%
Granma	2694	23,23%	1,17%	0,36%
Stgo de Cuba	1740	20,68%	0,74%	0,44%
Guantánamo	778	4,68%	0,77%	0,16%
Isla de la Juventud	473	5,57%	4,26%	0,74%
Total	40589	10,26%	1,30%	0,70%

En el caso de las cinco provincias que acumulan el 50% de la demanda de plantaciones, todas excepto Matanzas requieren de menos del 1,5% de las áreas cultivadas y de los suelos categoría III y IV, y menos del 15% de las tierras declaradas ociosas. Figuras 2.5 y 2.6.

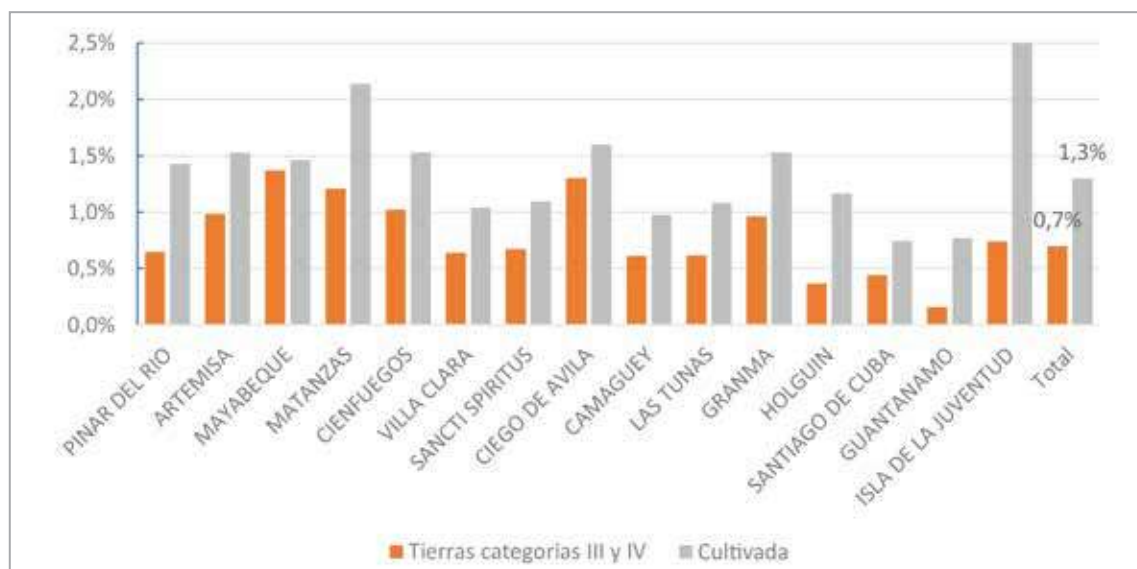


Figura 2.6 Disponibilidad de área cultivada y tierras de categoría III y IV para las plantaciones de *Jatropha curcas* por provincia, excepto La Habana.

En comparación con las tierras ociosas las áreas necesarias de plantaciones de *Jatropha curcas* oscilan entre un 2% y un 44%. (Figura 2.7). El porcentaje menor corresponde a Las Tunas y el mayor a la provincia Artemisa, lo cual es un valor extremo ya que para el resto de las provincias este índice tiene un valor inferior al 25%, y un 2% para Las Tunas. La media nacional es de un 11%.

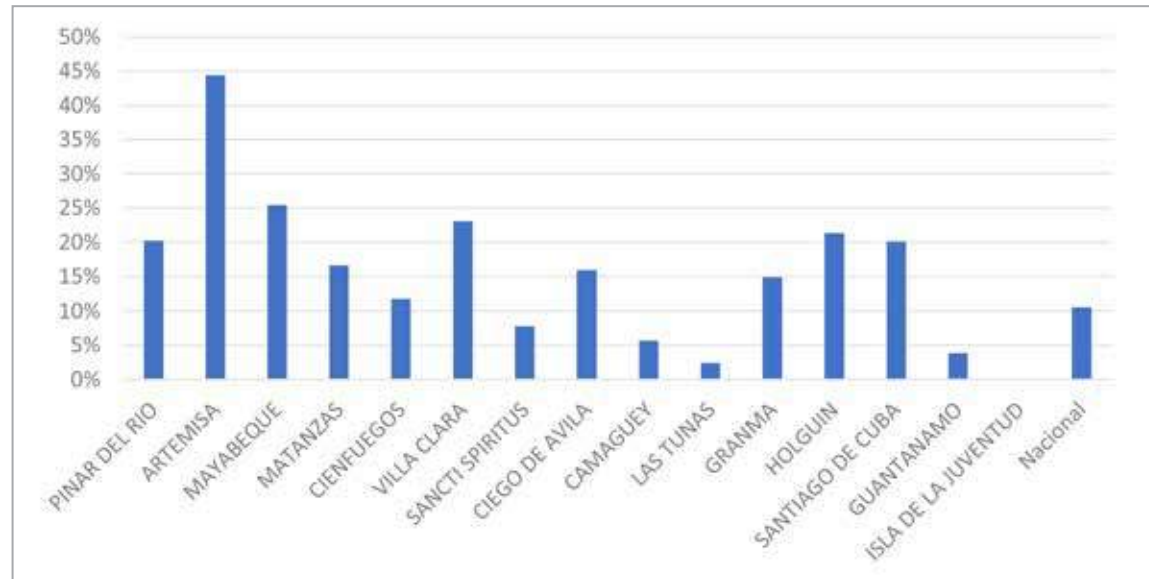
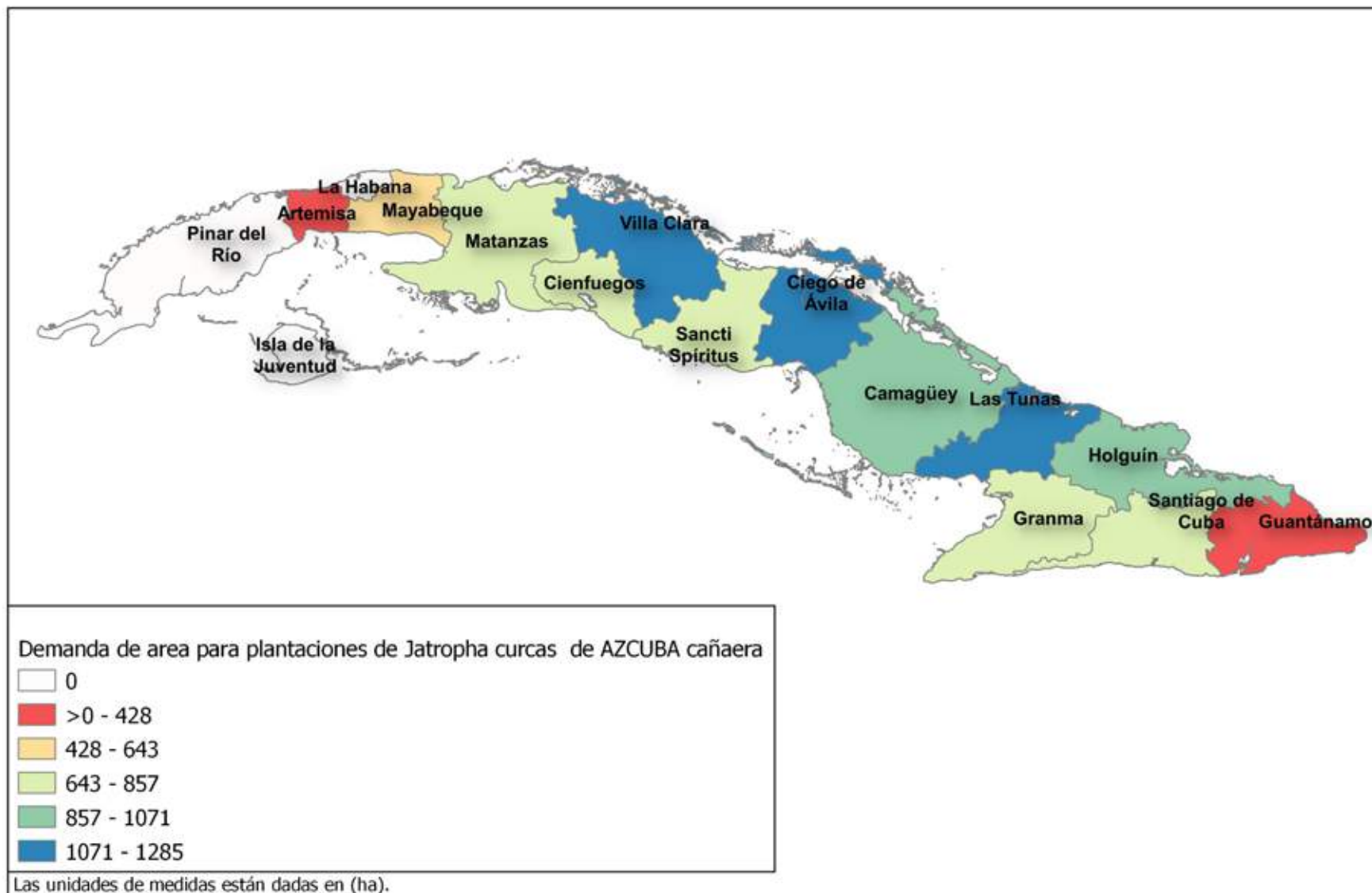
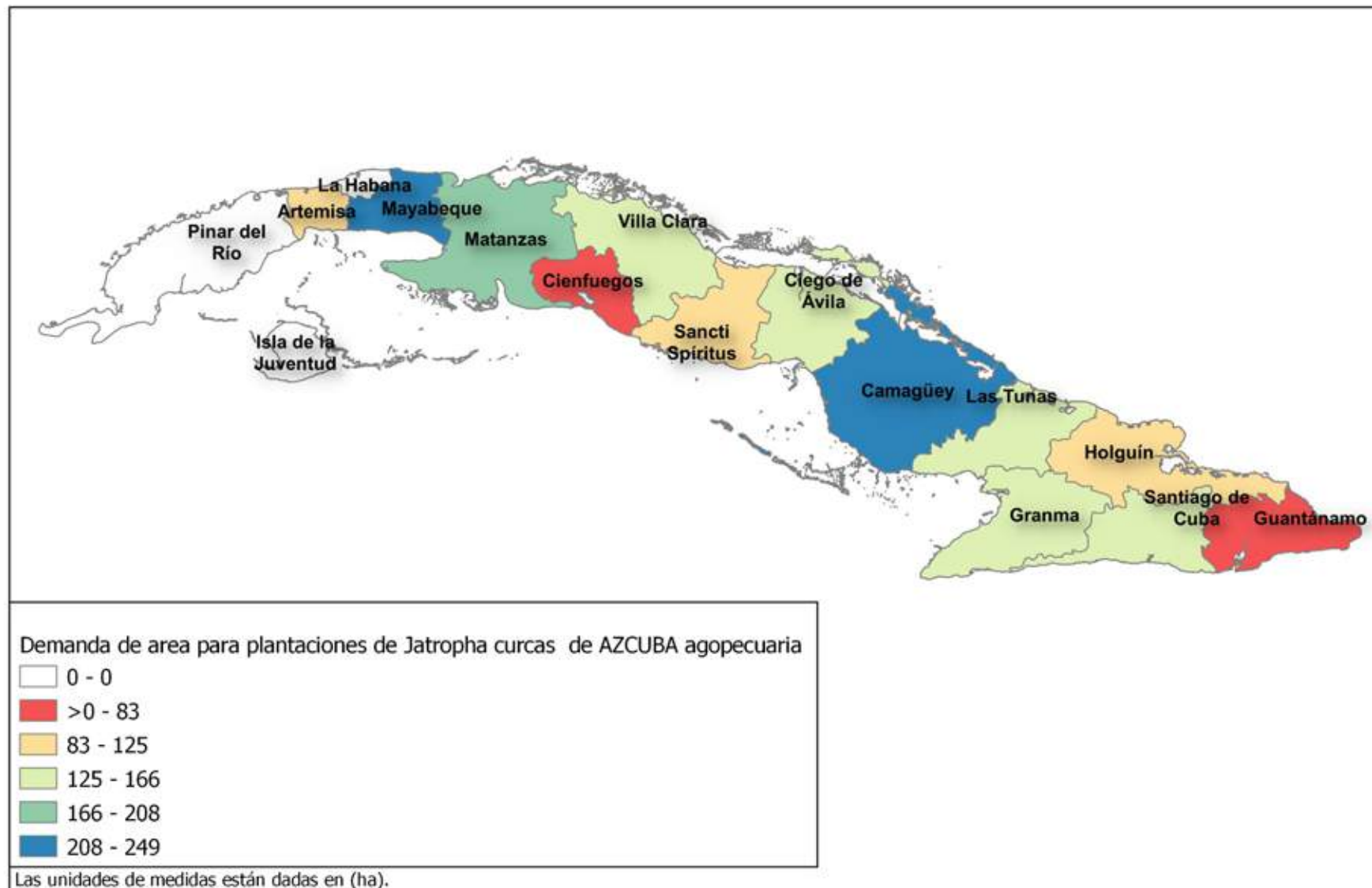


Figura 2.7 Disponibilidad de tierras ociosas para plantaciones de *Jatropha curcas* por provincia (excepto La Habana)

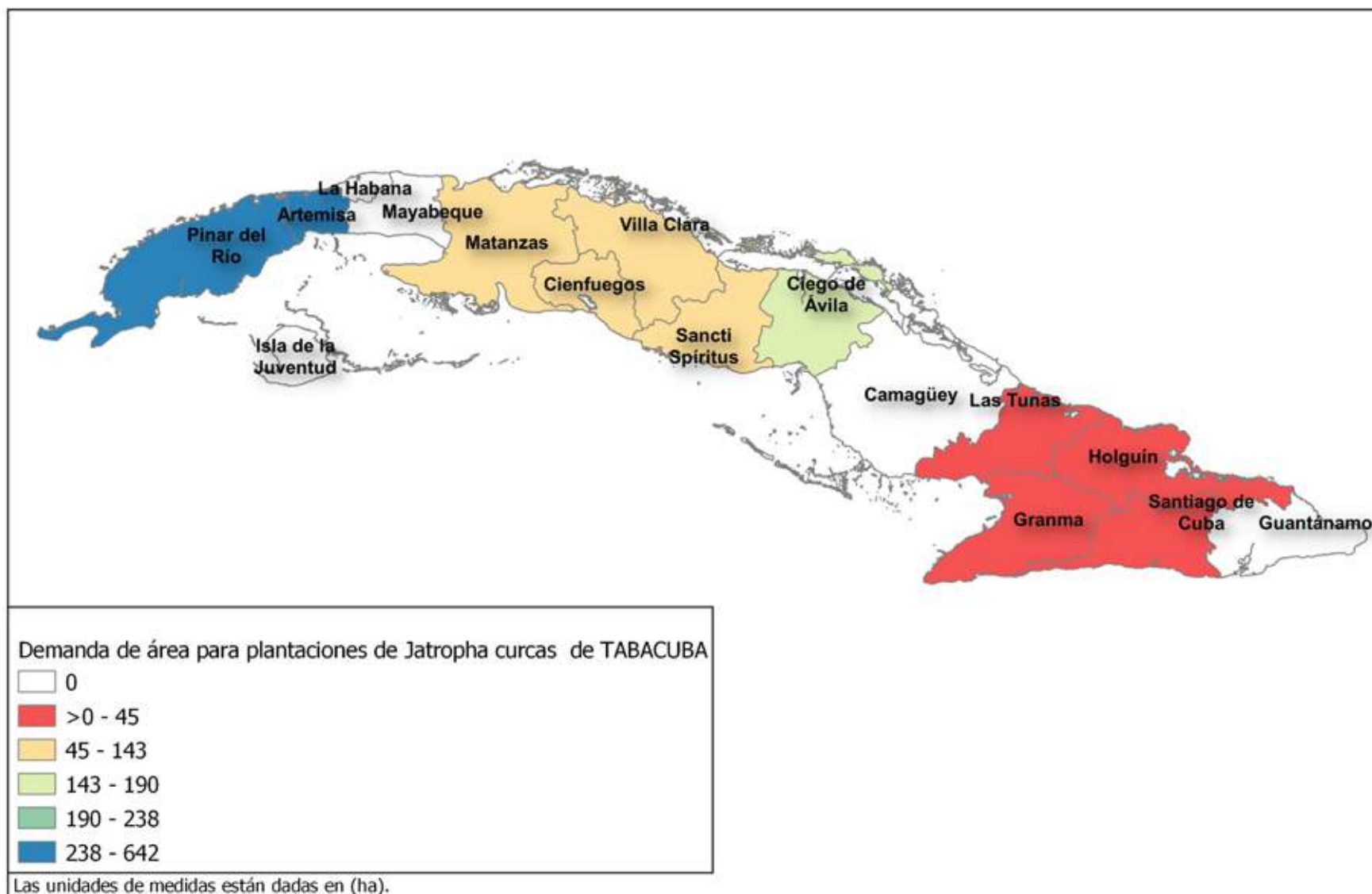
2.7. Mapas



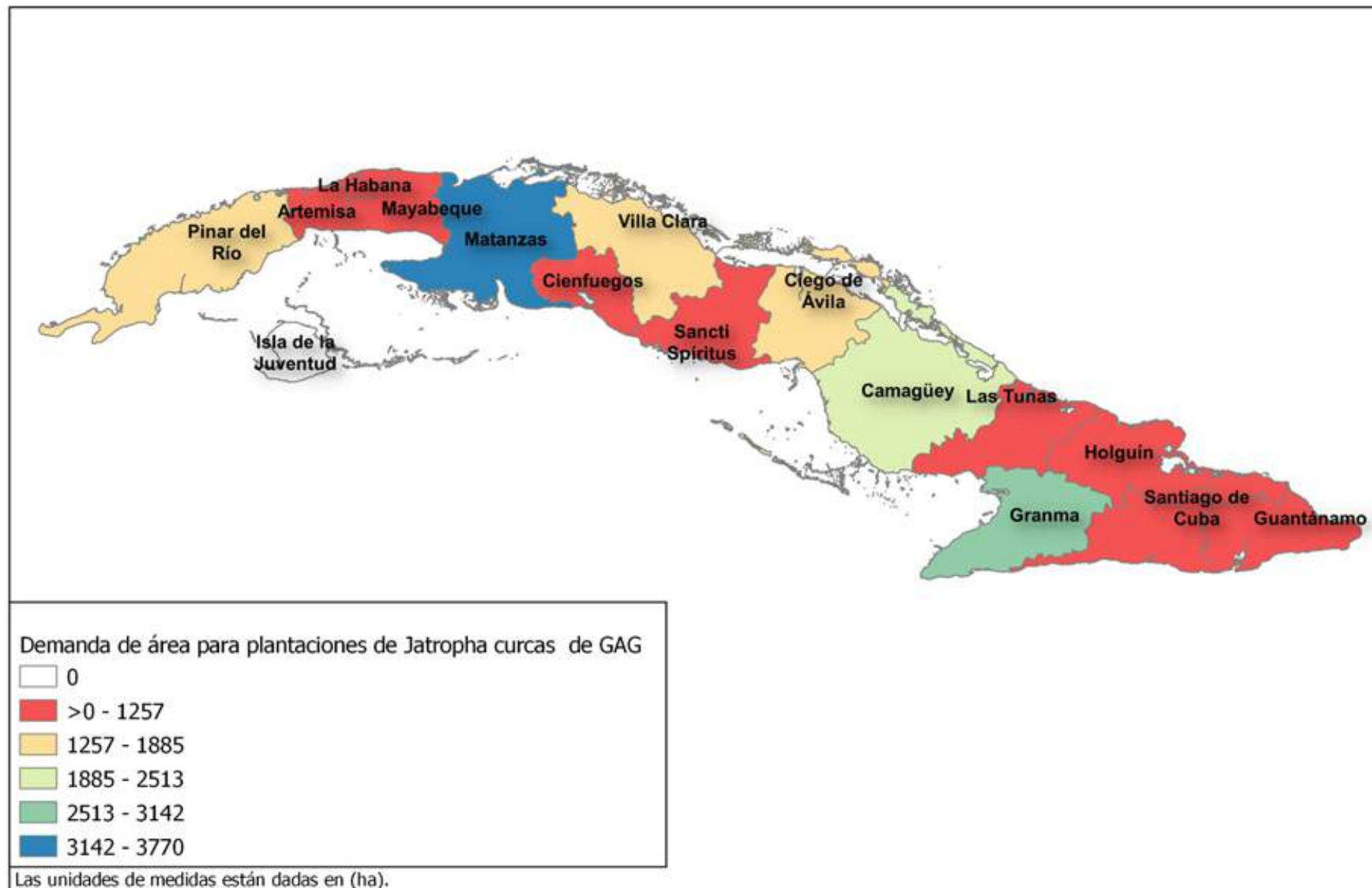
Mapa 2.7.1 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de AZCUBA cañera



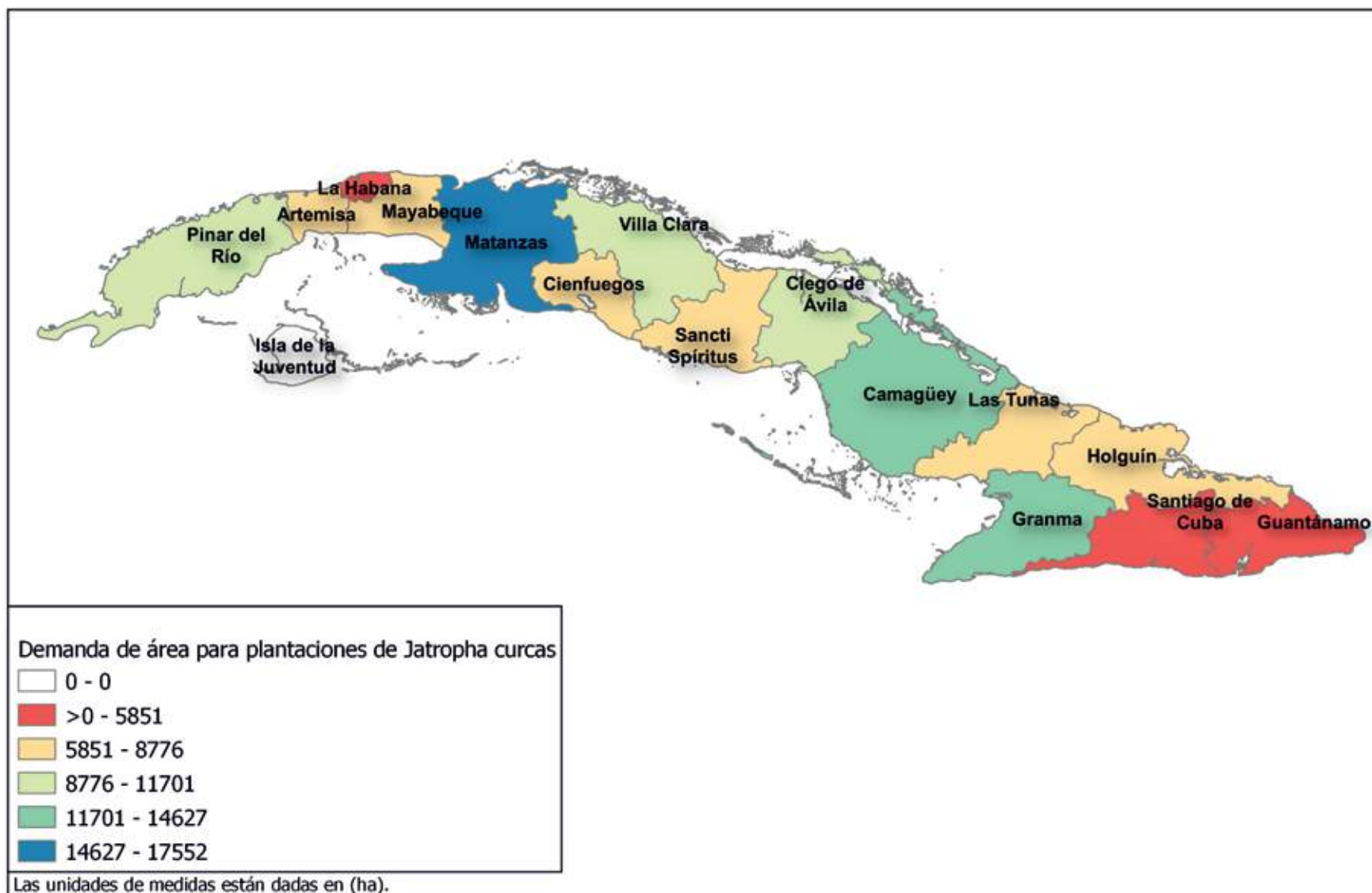
Mapa 2.7.2 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de AZCUBA agopecuaria



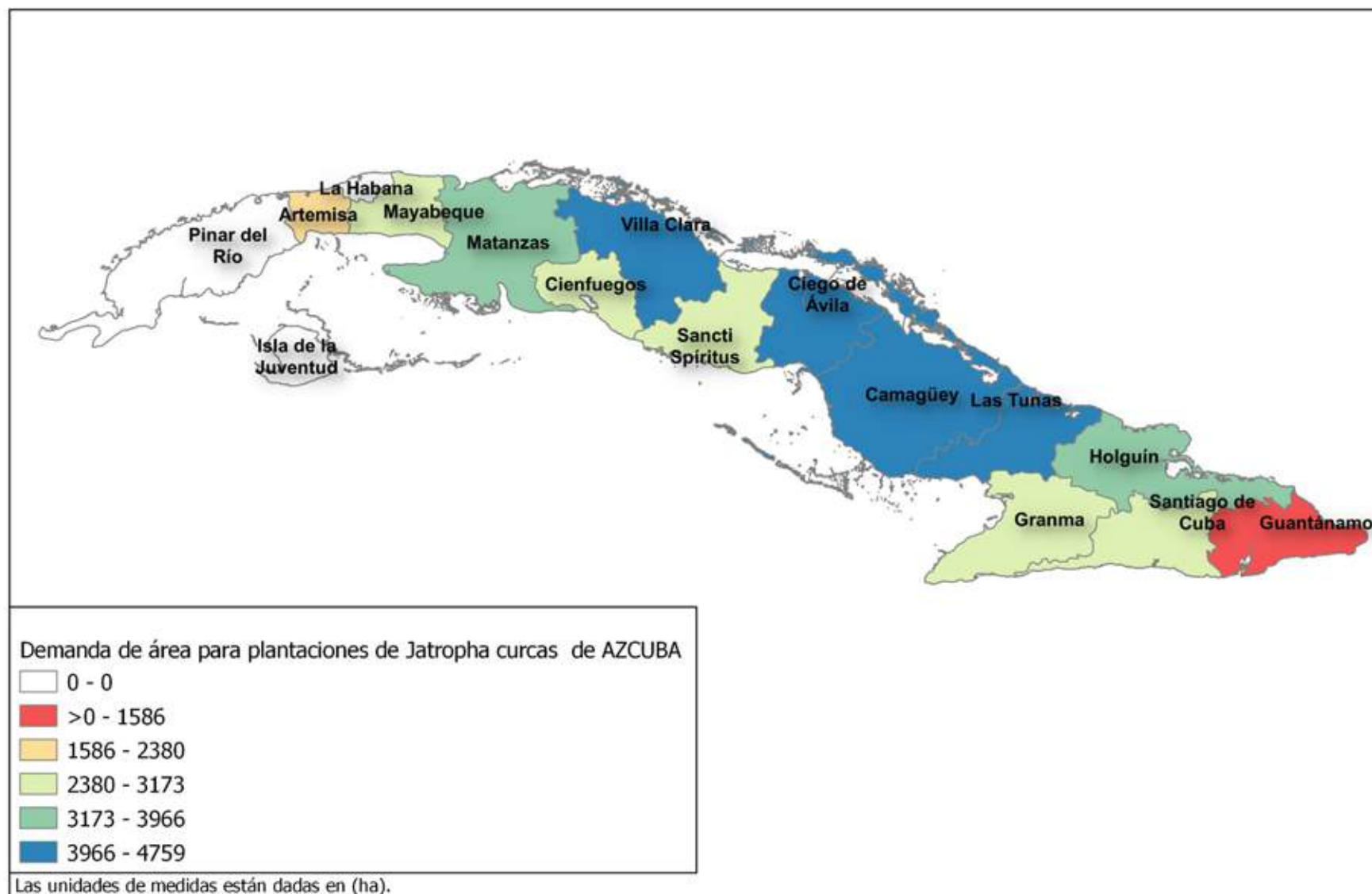
Mapa 2.7.3 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de TABACUBA



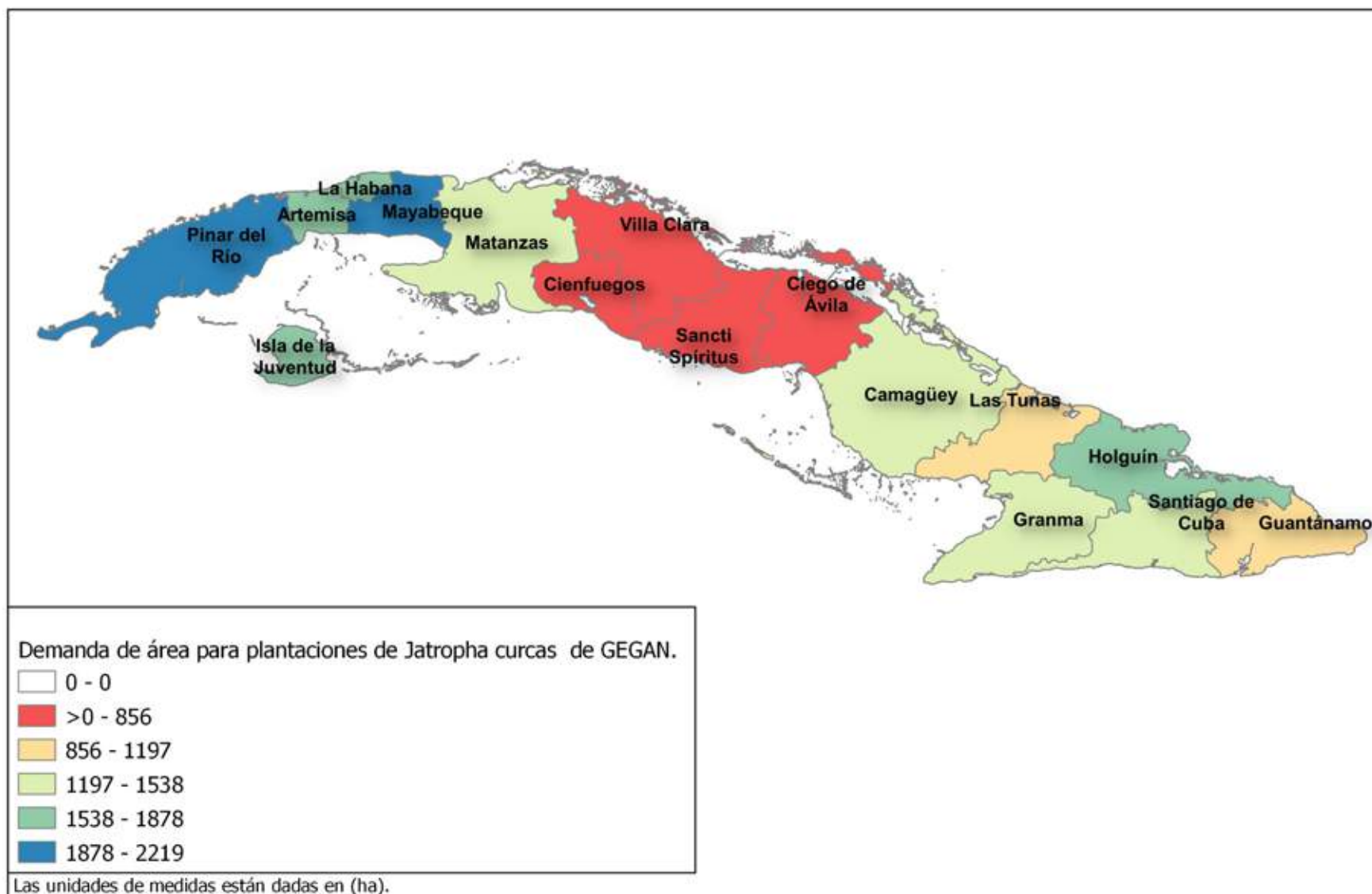
Mapa 2.7.4 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de GAG



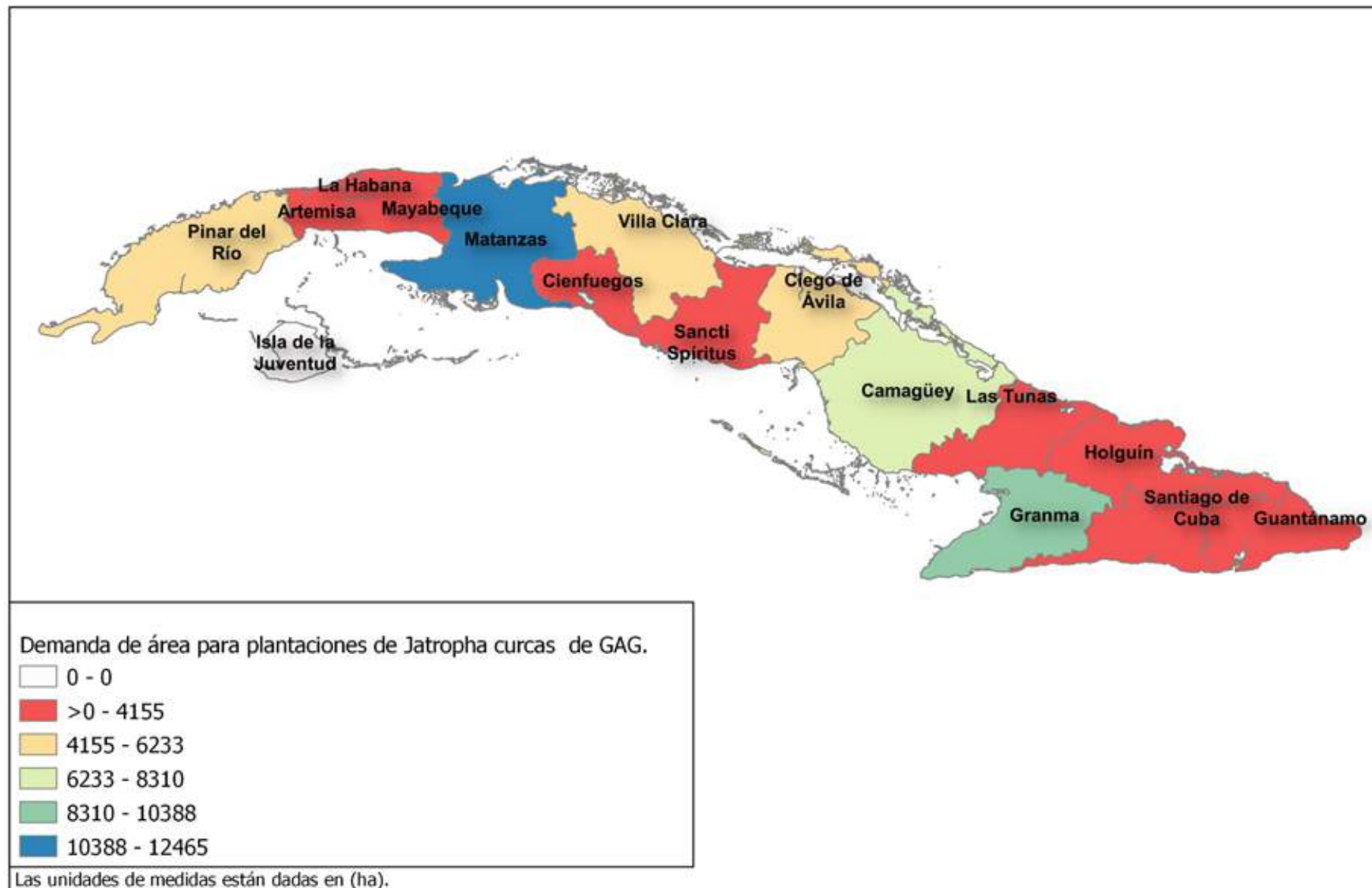
Mapa 2.7.5 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* (ha)



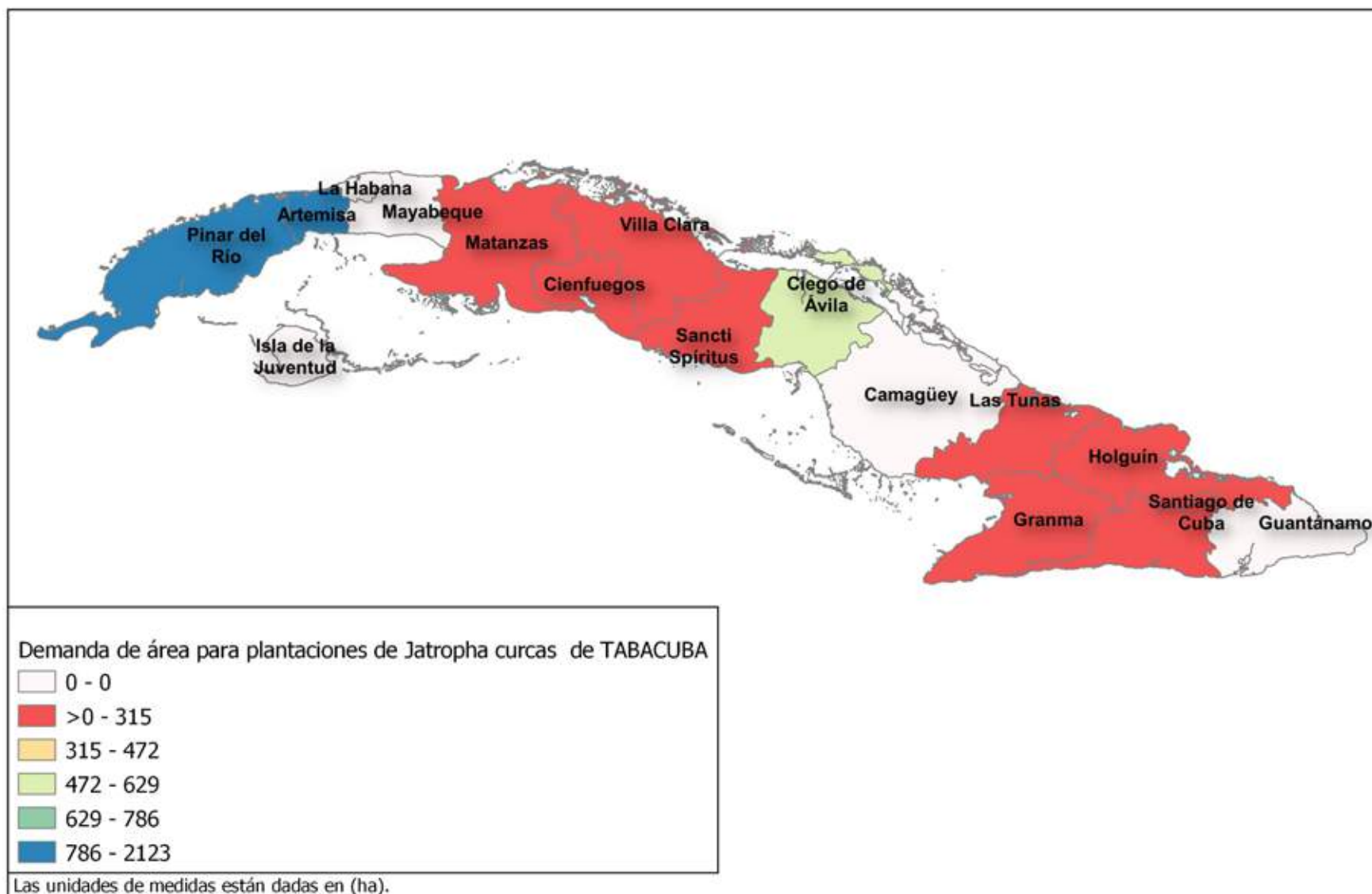
Mapa 2.7.6 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de AZCUBA



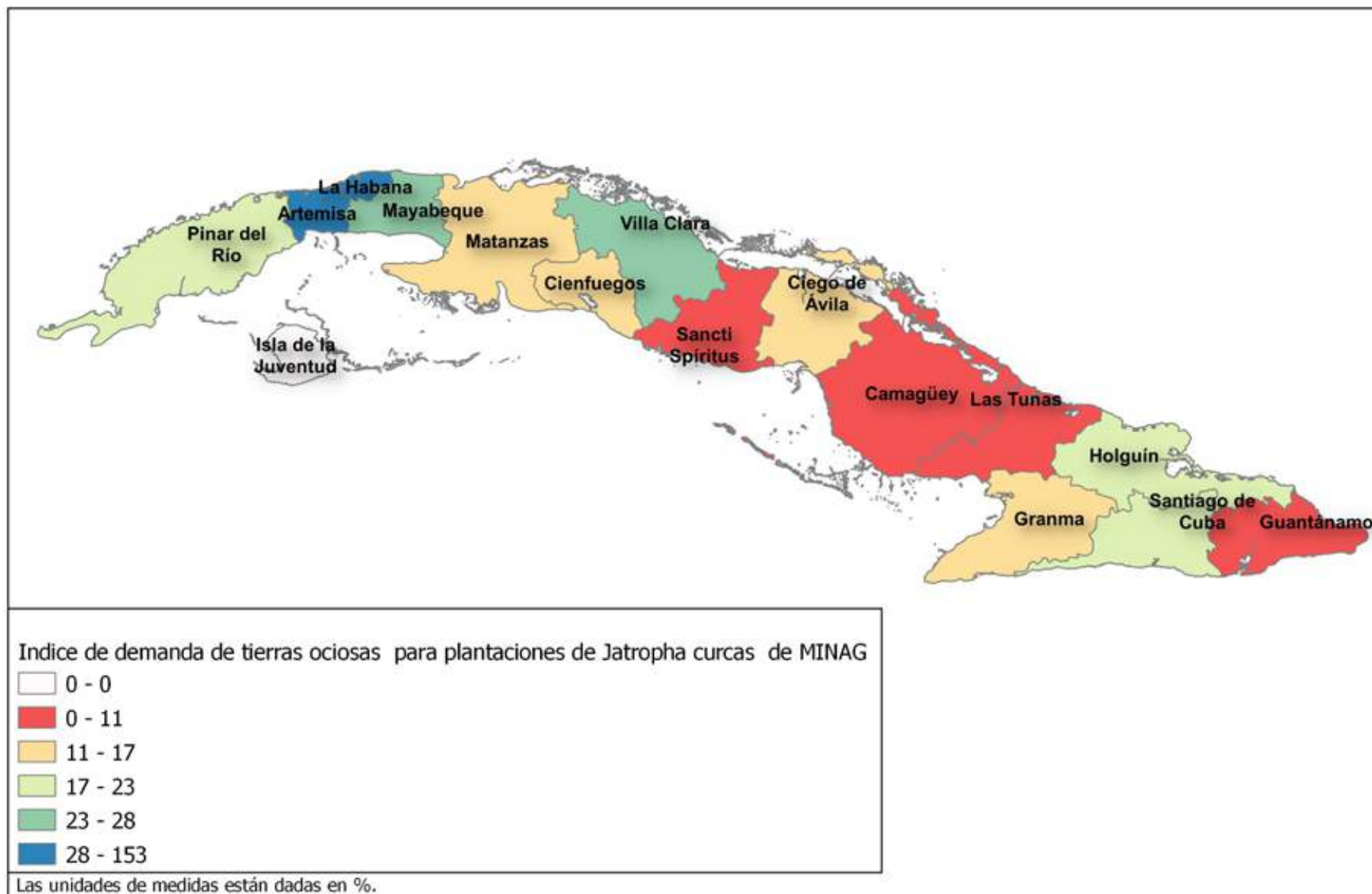
Mapa 2.7.7 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de GEGAN



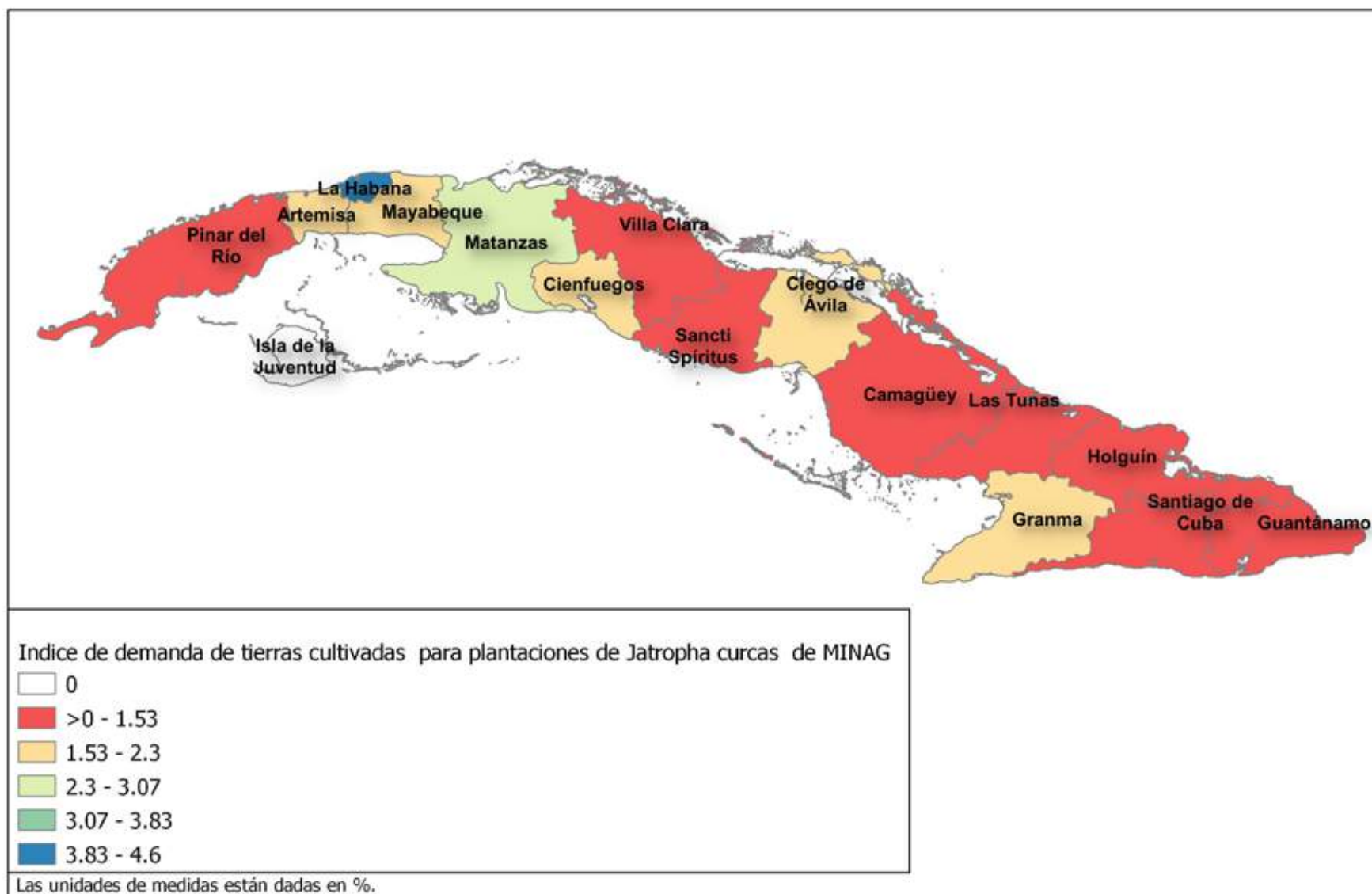
Mapa 2.7.8 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de GAG



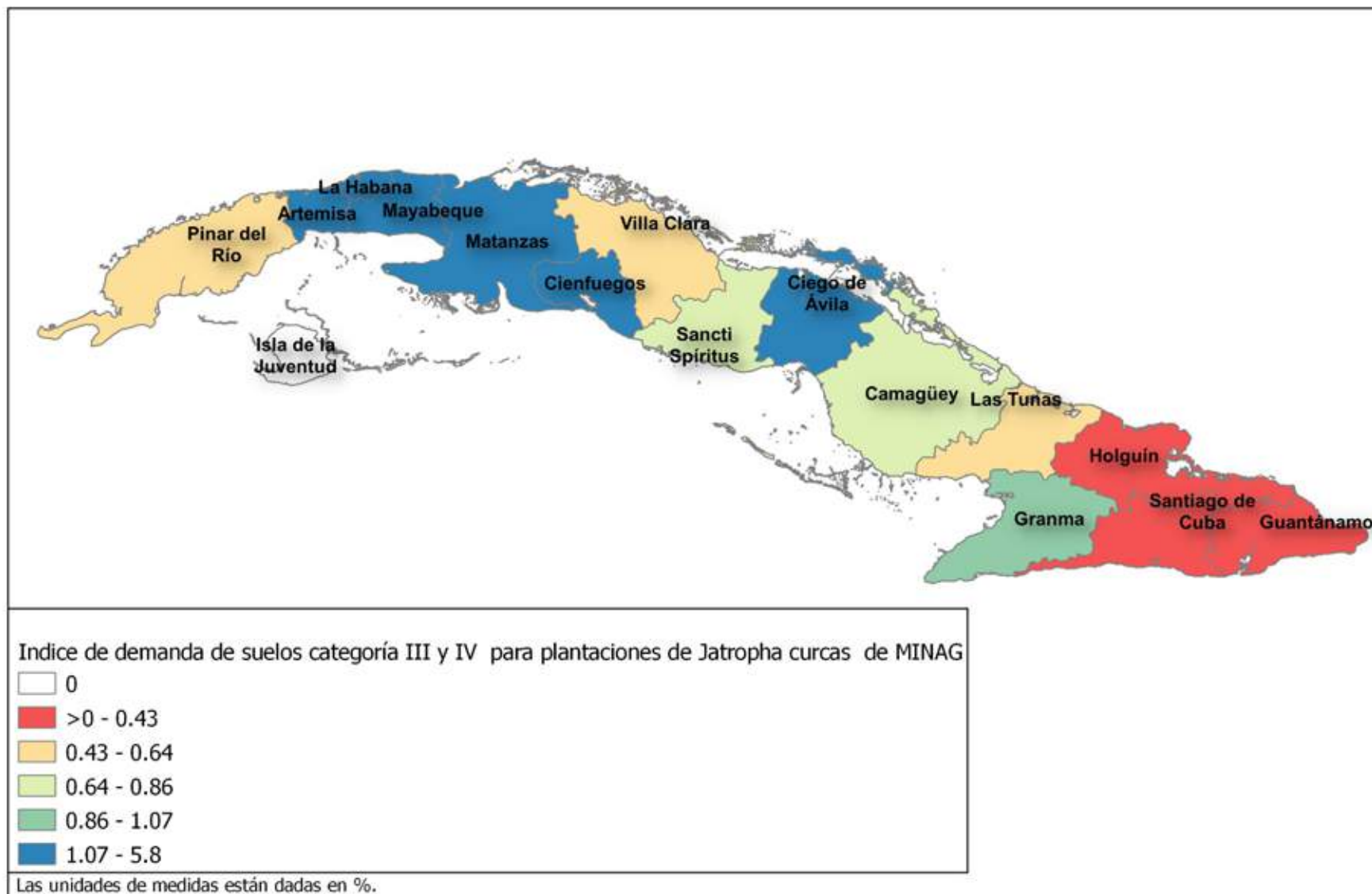
Mapa 2.7.9 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de TABACUBA



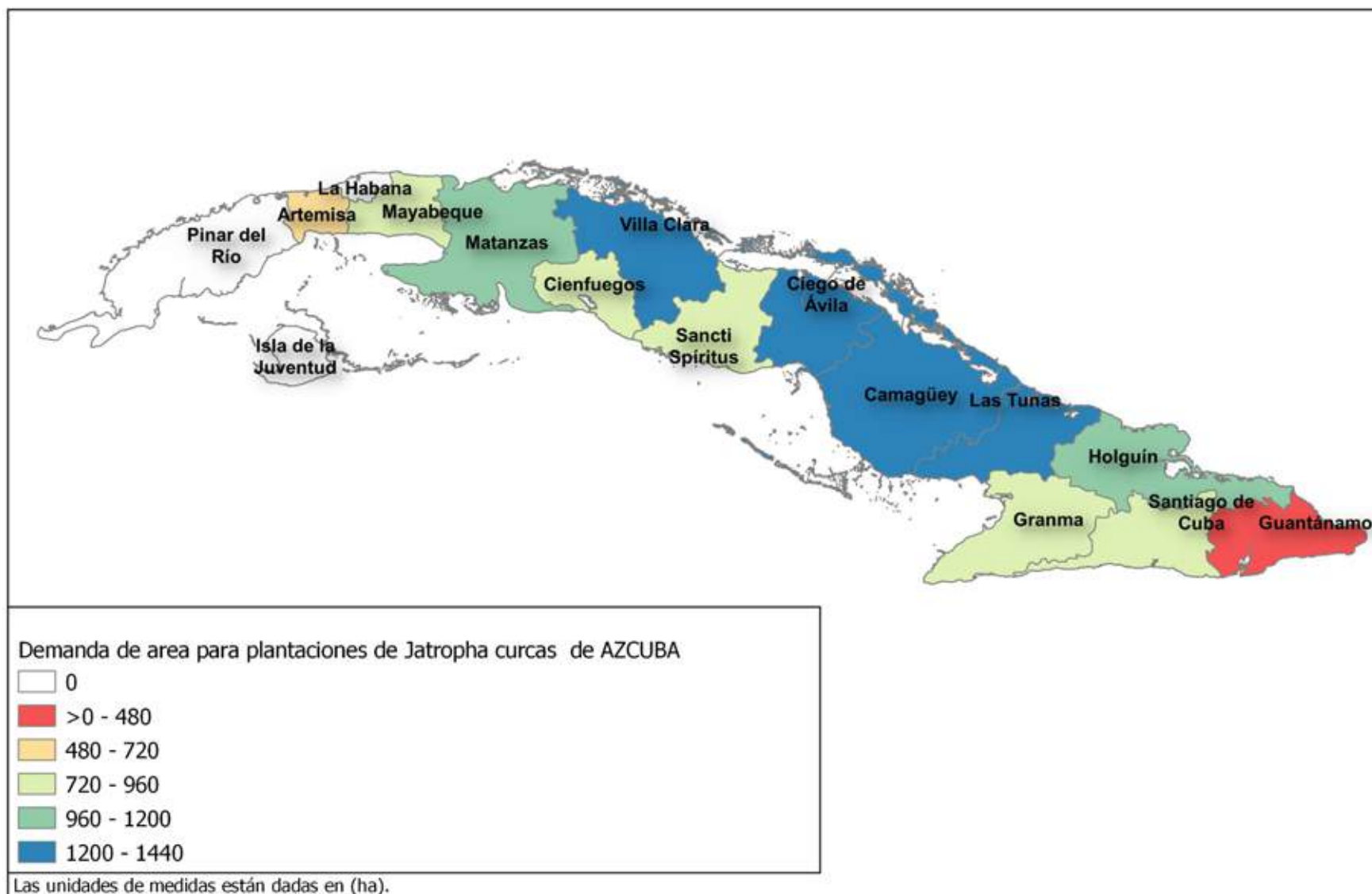
Mapa 2.7.10 Índice de demanda de tierras ociosas para plantaciones de *Jatropha curcas* de MINAG



Mapa 2.7.11 Índice de demanda de tierras cultivadas para plantaciones de *Jatropha curcas* de MINAG



Mapa 2.7.12 Índice de demanda de suelos categoría III y IV para plantaciones de *Jatropha curcas* de MINAG



Mapa 2.7.13 Demanda de área para plantaciones de *Jatropha curcas* de AZCUBA

Conclusiones

- La evaluación del potencial en relación a la producción y consumo de biodiesel, se centró en la estimación de las áreas de plantaciones de jatropha curcas requeridas para poder utilizar mezclas con diésel de hasta un 20% de biodiesel.
- En esta evaluación la incertidumbre fundamental está en el logro práctico de los rendimientos de producción agrícola de los frutos jatropha curcas, tomados para este análisis, que determinan en última instancia la producción del aceite vegetal.
- La demanda de biodiesel es de 24.397 tep. Esta demanda se concentra en el GAG el 52% y en AZCUBA el 32%. Para satisfacer la misma se requiere establecer 40589 ha de plantaciones de Jatropha curcas, que representan el 1,3 % de la superficie cultivada del país o el 10% de las tierras ociosas reportadas en el 2017. La provincia que requiere de la mayor extensión de plantaciones es Camagüey con 4173 ha.

CAPÍTULO 3. Potencial de biocombustibles sólidos

3.1. Introducción

La biomasa, desde el punto de vista energético, puede ser definida como la materia orgánica originada en un proceso biológico utilizable como fuente de energía.

Este capítulo trata sobre la biomasa sólida que puede ser utilizada como biocombustible sólido para sustituir a combustibles fósiles en hornos y calderas. Ejemplo de biocombustibles sólidos son las astillas, briquetas y pellets de madera.

En esta edición del Atlas Nacional de Bioenergía se describen dos grandes grupos de biomasa sólida: la biomasa forestal y la biomasa agrícola. Para facilitar el análisis este último grupo se trata directamente en dos sectores: el de la Agroindustria cañera y el Agrícola. Figura 3.1

En el caso del sector agrícola, por un problema de disponibilidad de información y de relevancia, solo se consideran los residuos del procesamiento industrial del arroz

3.1.1. Biomasa del Sector de la Agroindustria Cañera.

Las biomásas sólidas de la actividad agro-industrial del sector son los Residuos Agrícolas Cañeros (RAC) y el bagazo de la caña de azúcar.

Los RAC son la parte superior del tallo de la caña de azúcar (cogollo) y las hojas de la planta. Durante la cosecha mecanizada una parte de los RAC es separada y devuelta al campo. El resto del RAC, que es transportado junto con la caña de azúcar cortada, pasa por un nuevo proceso de separación en los centros de limpieza.

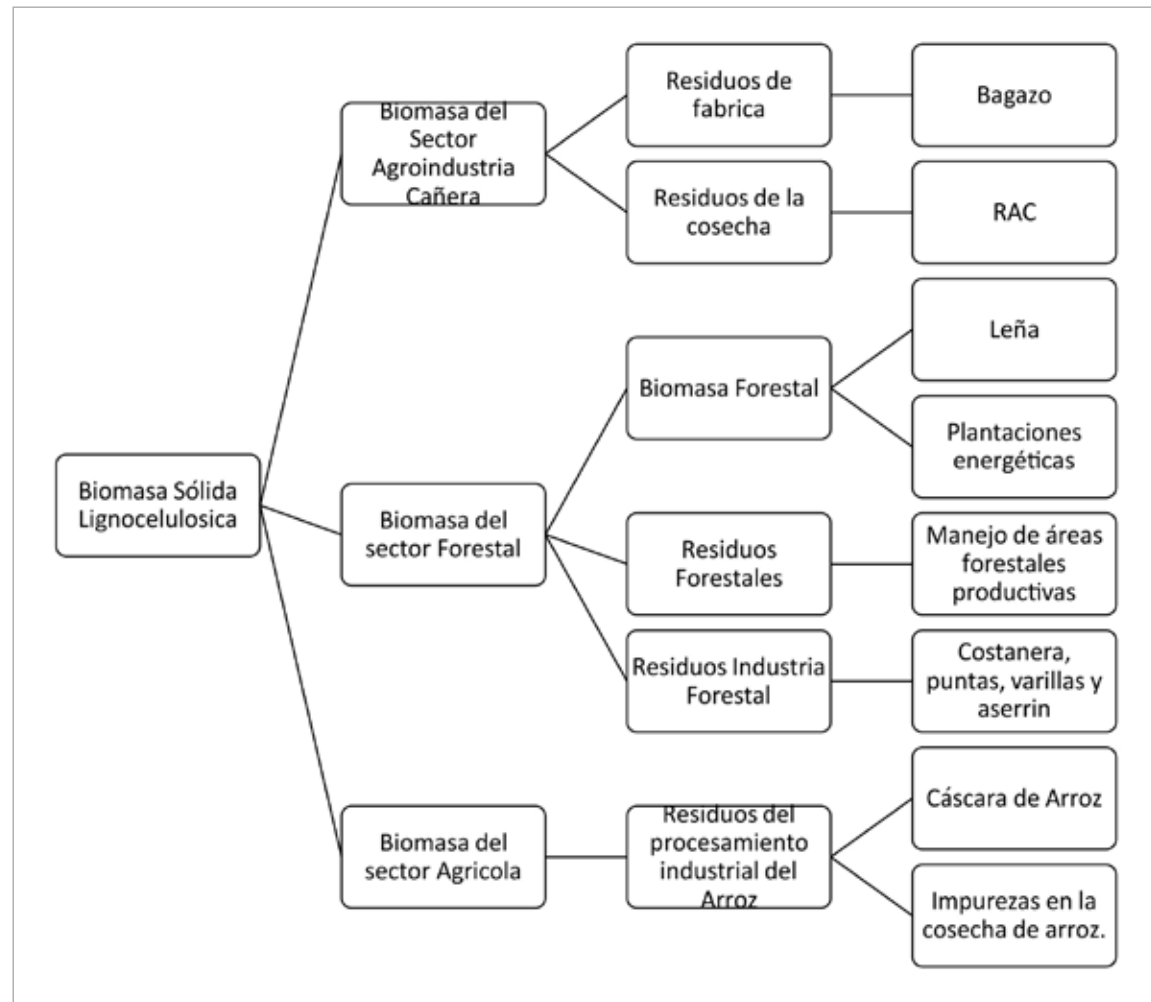


Figura 3.1 Esquema de biomasa lignocelulosa

Se considera que una parte del RAC que queda en campo puede ser recolectada sin que afecte al suelo y ser destinada a su uso como combustible junto con el RAC separado en los centros de limpieza.

El bagazo es la componente fibrosa de la caña de azúcar y se obtiene como un residuo industrial del proceso de su molienda para la obtención del jugo de la caña. Es actualmente la principal fuente de energía del proceso de producción de azúcar crudo.

3.1.2. Biomasa del Sector Forestal.

La cubierta forestal de Cuba es del 31.8%¹ y a la misma se asocia un importante potencial energético.

En este reporte la biomasa asociada al sector forestal se divide en dos grupos: la biomasa forestal y los residuos forestales e industriales.

A. La biomasa forestal tiene dos componentes principales:

a. La leña.

Este es un producto forestal, sin valor para la producción de madera comercial, que se extrae de bosques y plantaciones forestales. Una parte de la misma es utilizada como combustible fundamentalmente para la cocción de alimentos, tanto doméstico como colectivo, y para la producción artesanal de materiales de construcción a partir de arcilla. Sin embargo, las tecnologías que se utilizan en estos procesos tienen generalmente una baja eficiencia energética por su carácter rudimentario y con una baja valorización de la leña como combustible.

b. Plantaciones energéticas.

Estas son plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento y alto valor energético, que se establecen para obtener la mayor densidad posible de biomasa forestal y en turnos cortos de rotación de la tala final, que no superan los siete años.

B. Los residuos forestales

Se producen durante la tala final de plantaciones y las actividades de manejo forestal. Por sus características de tamaño y forma irregular y baja densidad volumétrica, requieren del uso de soluciones tecnológicas específicas para su extracción del bosque y su transformación en biocombustibles sólido. Estas tecnologías, aunque disponibles comercialmente, no están implementadas en Cuba, ante todo por la inexistencia de un mercado definido para estos productos.



¹ Capítulo Medio ambiente, Anuario Estadístico de Cuba 2020. Edición 2021.



C. Los residuos de la industria forestal.

En el proceso de transformación de la madera en rollo de las especies forestales (bolos), en productos maderables comerciales (madera aserrada), una fracción importante queda como residuo de esta industria en los aserraderos.

En este proceso se obtiene como residuos:

- el aserrín, como producto directo del aserrado de la madera,
- las costaneras, que es la madera sobrante al convertir la forma cilíndrica del bolo en un cubo para posibilitar su aserrado uniforme. Incluye la corteza del tronco debido a la ausencia de descortezadoras.
- Las varillas, que se producen al aserrar la madera para obtener del ancho y grosor solicitado.
- Las puntas, que es el residuo resultante del corte transversal de la madera aserrada para estandarizar su largo

3.1.3. Biomasa del Sector Agrícola.

Existen varias producciones agrícolas a las cuales se le asocian residuos de biomasa. Este es el caso de la producción de arroz, coco, café, cacao, henequén, frijoles, etc.

En este informe se valoran solamente los residuos del procesamiento industrial del arroz. Estos son:

- Las impurezas, que acompañan al arroz procedente del campo y que se separan durante el proceso de secado.
- Las cáscara de arroz, que es obtenida en el proceso de molinado con el propósito de separarla de los granos secos

De ellos, solo se considera el potencial energético de la cáscara de arroz.

El depósito al aire libre que se realiza actualmente de la cáscara de arroz, constituye un problema ambiental local. Entre los posibles riesgos ambientales se encuentra, la ocurrencia de incendios provocados por la autoignición de este material, su dispersión atmosférica por fuertes vientos y afectaciones al suelo en que se depositan.

3.2. Metodología

La metodología empleada parte de calcular el potencial energético de cada una de las biomásas abordadas en este informe. Por las características del mismo, se utilizan valores representativos en cada caso en análisis, que permiten realizar una estimación adecuada de las variables calculadas. El potencial energético calculado se expone en toneladas equivalentes de petróleo (tep) para facilitar el análisis.

3.2.1. Biomasa del Sector de la Agroindustria Cañera.

El cálculo primario de las cantidades disponibles de este recurso se realizó a partir de la información aportada por AZCUBA, sobre el promedio de caña molida en cada fábrica de azúcar en el periodo 2009 – 2019.

a. Residuos agrícolas cañeros (RAC).

El potencial energético de los residuos agrícolas cañeros, se calcula sobre la base de la cantidad del mismo, se estima resulta disponible para ser utilizado como combustible.

Se considera que la cantidad de RAC asociada a la caña en pie es el 25% de su peso. De esta cantidad, se asume que durante la cosecha de la caña el 50% queda en el campo y la otra parte se transporta a los centros de limpieza. De los RAC quedados en el campo se recoge el 50% y en los centros de limpieza, se separa el 66% del RAC acompañante a la caña cortada.

b. Bagazo.

Se asume que el bagazo que se obtiene en la molienda representa el 24% de la caña de azúcar molida. Cuando la fábrica de azúcar opera en condiciones de suministro estable de caña, se estima que al final de la etapa de molienda queda disponible el 10% del bagazo producido. Sin embargo, teniendo en cuenta las condiciones actuales de operación, AZCUBA ha reportado un 5% de bagazo disponible.

Parte de este bagazo disponible es utilizado para la producción de tableros y como combustible en la producción de azúcar refino. La cifra final de bagazo disponible para ser utilizable como combustible fuera de zafra fue reportada por AZCUBA a partir del balance de producción y consumo. Su potencial energético se calcula a partir de cifras representativas de su humedad y poder calórico. Tabla 3.1.



Tabla 3.1. Propiedades de interés de la biomasa cañera.

Biomasa	Humedad	Poder Calórico	Equivalencia
	%	kJ/kg	tep/ton
Bagazo	50%	7,675.00	0,184
RAC	40%	10,500.00	0,251

3.2.2. Biomasa del Sector Forestal

3.2.2.1. Biomasa Forestal

3.2.2.1.1. Leña

Para la determinación del potencial energético de este recurso, se dispone de la información sobre la producción actual de leña y el potencial que se pudiera alcanzar a partir de la biomasa existente en las áreas forestales productivas a nivel de empresa forestal integral.

Estas cantidades se reportan en unidades de volumen (m³), y para poder estimar su potencial energético se requiere conocer su densidad, humedad y poder calorífico. Sin embargo, la diversidad de especies y sistemas productivos, obligan a utilizar valores medios de estas variables para realizar las estimaciones requeridas. Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Propiedades e índices de interés de la leña.

Humedad	Densidad sólida	Poder Calórico	Valor Energético	Índice de generación de electricidad
%	kg/m ³	MJ/ton	tep/ton	kWh/kg
25	740	12200	0.29	0.62

El índice de generación de electricidad que se utiliza corresponde con el uso de la tecnología de gasificación de biomasa.

Estos mismos indicadores se utilizan para el resto de las biomásas y residuos de origen forestal.

3.2.2.1.2. Plantaciones energéticas

La estimación del potencial de producción de una plantación energética se realiza a partir de dos parámetros básicos: el turno de tala final y el incremento medio anual de biomasa en la plantación.

El turno de tala final está relacionado con el tiempo que demora el árbol en incrementar su contenido de lignina en la madera (lignificación), para que esté listo para ser utilizado como leña. Depende entre otros factores de la rapidez de crecimiento de cada especie forestal, por lo que se usan las llamadas especies de rápido crecimiento. En este estudio se utiliza un turno de tala final de seis años.

El incremento medio anual de biomasa informa sobre el incremento anual de la cantidad de biomasa por área de superficie. Depende del ritmo de incremento anual del volumen de biomasa de cada especie forestal y de la densidad de árboles por unidad de área de cada plantación. En este reporte se utiliza la cifra de 20 ton/ha. año.

3.2.2.2. Residuos forestales

Los residuos forestales son los residuos de biomasa que habitualmente quedan en el bosque luego de realizar actividades de manejo del bosque con fines productivos o de mejora.

- a. Residuos de tala. Estos residuos están asociados al proceso de corta y aprovechamiento de la madera en el bosque, y están constituidos por las partes del árbol y las especies que no tienen importancia comercial. Los residuos de tala la conforman, las rabizas de los árboles, las ramas más pequeñas, el follaje verde y las especies que conforman el sotobosque. Estos residuos de tala representan entre el 12 y 15 % del volumen maderable de las coníferas². Asumiremos este valor hasta poder determinar el % de las latifolias.
- b. Residuos de los tratamientos silviculturales. Son los residuos asociados a los tratamientos que se realizan al bosque con el objetivo de adecuar su densidad, acorde a los requerimientos de la especie según su etapa de desarrollo, la extracción de árboles deformados, enfermos, etc. Estos tratamientos aportan madera comercial, así como biomasa en dependencia del tipo de tratamiento y el estado de desarrollo del bosque. Esta biomasa representa entre el 12 y 15 % del volumen de las coníferas.

² Vidal, A.; J. Rodríguez; J. Y. Benítez y W. Toirac. 2011. Compendio de tablas para la determinación de la biomasa de copa de especies forestales. 5to. Congreso Forestal de Cuba Abril/2011 [en línea] Disponible en: http://bva.fao.cu/pub_doc/FORESTALES/Revista Espec. 2011



Se toma este valor como referencia general hasta poder definir el % que representa en las latifolias.

3.2.2.3. Residuos de la Industria Forestal

Estos son los residuos que se obtienen durante el proceso de conversión de la madera en bolo que llega a los aserraderos para su conversión en madera aserrada. Tabla 3.3.

- a. **Corteza.** La corteza es un residuo que se produce cuando se descortezan las trozas para el aserrado o el fuste para la producción de postes de servicio público, y el volumen que se obtiene depende del diámetro de la troza, así como de la especie que se está procesando. La misma representa entre el 15 y el 25 % del volumen total del árbol medido con corteza. (Según Tabla de surtidos de Grá). En Cuba este proceso se realiza muy puntualmente por lo que no será tenido en cuenta en los cálculos de forma aislada. En la mayoría de los aserraderos cubanos sale como parte de la costanera.
- b. **Aserrín.** Este es un residuo generado en los aserraderos y carpinterías, que generalmente representan entre el 10 y el 15 % de la materia prima utilizada. Para su cálculo se parte de estimar el volumen de madera inicial del proceso y tomar el % de generación de Aserrín indicado y así tendremos el volumen generado en el proceso. Este volumen de Aserrín está determinado por el grueso de las hojas que se utilicen para el aserrado y de los tipos de surtidos que se producen. (Según Departamento de Industria de la Dirección de Ingeniería del Grupo Agroforestal).
- c. **Costeros o Costanera.** Este es un residuo del proceso de aserrado y se produce para lograr las cuatro caras aserradas de la troza, representa entre el 25 y el 30 % de volumen total de la troza aserrada. Este residuo depende del diámetro de la troza y a medida que los diámetros sean mayores este % va disminuyendo. (Según Departamento de Industria de la Dirección de Ingeniería del Grupo Agroforestal).
- d. **Varillas.** Este es un residuo que está asociado al proceso de canteado de la madera y representa entre el 3 y el 5 % del volumen de la troza. (Según Departamento de Industria de la Dirección de Ingeniería del Grupo Agroforestal).
- e. **Despunte.** Este residuo se produce generalmente en el proceso de retestado de la madera, cuando hacemos uniforme la longitud de los surtidos obtenidos en el proceso de aserrado, y este depende de la precisión con que se haya realizado el troceado

del bolo y de la calidad del proceso de aserrado. Representa entre el 0.3 y 0.5 % del volumen de la pieza retestada. (Según Departamento de Industria de la Dirección de Ingeniería del Grupo Agroforestal)

Tabla 3.3. Índices de producción de residuos de la Industria Forestal.

	Aserrín	Costanera ³	Varillas	Despunte
Índice (m ³ /m ³ de madera en bolo aserrada)	12.5%	27.5%	4,0%	0,4%

3.2.3. Biomasa del Sector Agrícola

En este reporte solo se recoge, por su valor e interés energético, la biomasa residual producida durante el secado y molinado del grano como parte del procesamiento industrial del arroz.

En la primera etapa se realiza el secado del grano de arroz cáscara húmedo recibido desde el campo. El residuo obtenido en este proceso, que se realiza utilizando diésel como combustible, se conoce como impurezas. Las cantidades de este residuo se consideran entre el 10 – 12% del producto que entra al secado. Tabla 3.4

Durante la etapa de molinado se separa la cáscara del grano seco por medios mecánicos. Se considera que la cantidad de cáscara que se obtiene es el 22% del arroz que entra al molino.

Tabla 3.4. Propiedades e índices de la cáscara de arroz como combustible.

Humedad	Poder calórico	Valor Energético	Índice de generación de electricidad
%	MJ/ton	tep/ton	kWh/kg
13	14220	0.35	0.59

Un resumen de los índices utilizados para el cálculo de las cantidades de residuos se expone en la tabla 3.5.

³ Incluye a la corteza

Tabla 3.5. Índices para el cálculo de la cantidad de residuos.

Subsector	Fuente	norma	utilizado	base calculo
residuos forestales	Tratamientos silviculturales	12 - 15 %	13%	Volumen de madera en área a tratar
	De la Tala	13 - 15 %	14%	Volumen maderable del árbol
	Despunte	0,3 - 0,5 %	0,4%	del volumen aserrado
residuos aserradero	Varillas	3 - 5 %	4%	del volumen la troza
	Costanera	25 - 30%	27.50%	del volumen la troza
	Aserrín	10 - 15%	12.50%	Del volumen la madera aserrada
	Corteza	10 - 15%	12.50%	del volumen del árbol medido con corteza
residuos industria arroz	impurezas	10- 12%	11%	Del peso del arroz cáscara húmedo
		22%	22%	Del peso del arroz cáscara seco

3.3. Potencial de la biomasa sólida

El análisis del potencial de biomasa sólida para energía, se realiza diferenciando aquellas fuentes que desde el punto de vista técnico económico pueden ser utilizadas en el corto mediano plazo y aquellas que por razones de disponibilidad o complejidad en su aprovechamiento son consideradas de mediano – largo plazo.

3.3.1. Biomasa del Sector de la Agroindustria Cañera

El bagazo es la fuente de energía mayoritaria utilizada en la producción de azúcar crudo y cubre parcialmente las demandas de combustible de la producción de azúcar refino durante zafra. En total en la Industria azucarera se consumen anualmente como combustible 912.643 tep de bagazo. Del total de bagazo obtenido queda disponible para su uso como combustible 18.837 tep. Tabla 3.6.

La cantidad de RAC disponible para su transformación en biocombustible sólido, calculado según la metodología antes descrita, asciende a un equivalente de 849.868 tep. De esta manera, el potencial total de biomasa para combustible de la biomasa cañera es de 1.781.347 tep, del cual se aprovecha actualmente el 51%. Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Potencial energético de la biomasa sólida del sector azucarero (tep)

Provincia	Bagazo utilizado como combustible	Bagazo sobrante	Rac disponible	Biomasa cañera disponible. Total	Biomasa cañeta. Total
Pinar del Rio	0	0	0	0	0
Artemisa	40.580	299	37.788	38.087	78.667
Habana	0	0	0	0	0
Mayabeque	43.499	1.812	40.507	42.320	85.819
Matanzas	78.526	1.369	73.124	74.493	153.019
Villa Clara	79.825	2.532	74.335	76.867	156.692
Cienfuegos	123.083	0	114.617	114.617	237.699
Sancti Spíritus	56.144	2.339	52.283	54.622	110.766
Ciego de Ávila	105.985	867	98.695	99.562	205.547
Camagüey	88.191	2.325	82.125	84.449	172.640
Las Tunas	92.837	882	86.452	87.334	180.171
Holguín	56.868	1.479	52.956	54.435	111.303
Granma	86.828	3.618	80.855	84.473	171.301
Stgo de Cuba	47.211	770	43.964	44.734	91.945
Guantánamo	13.066	544	12.167	12.712	25.778
Isla de la Juventud	0	0	0	0	0
Total	912.643	18.837	849.868	868.704	1.781.347

El potencial energético de la biomasa cañera disponible para su uso como combustible se distribuye en 13 de las 15 provincias del país. Hay siete provincias que acumulan el 58% de este potencial. Estas son: Villa Clara, Ciego de Ávila, Las Tunas, Holguín, Camagüey, Cienfuegos y Matanzas. Figura 3.2.

Estas cifras están basadas en la actividad azucarera del periodo 2009 – 2019. Un incremento de la producción azucarera daría lugar a un aumento de este potencial.

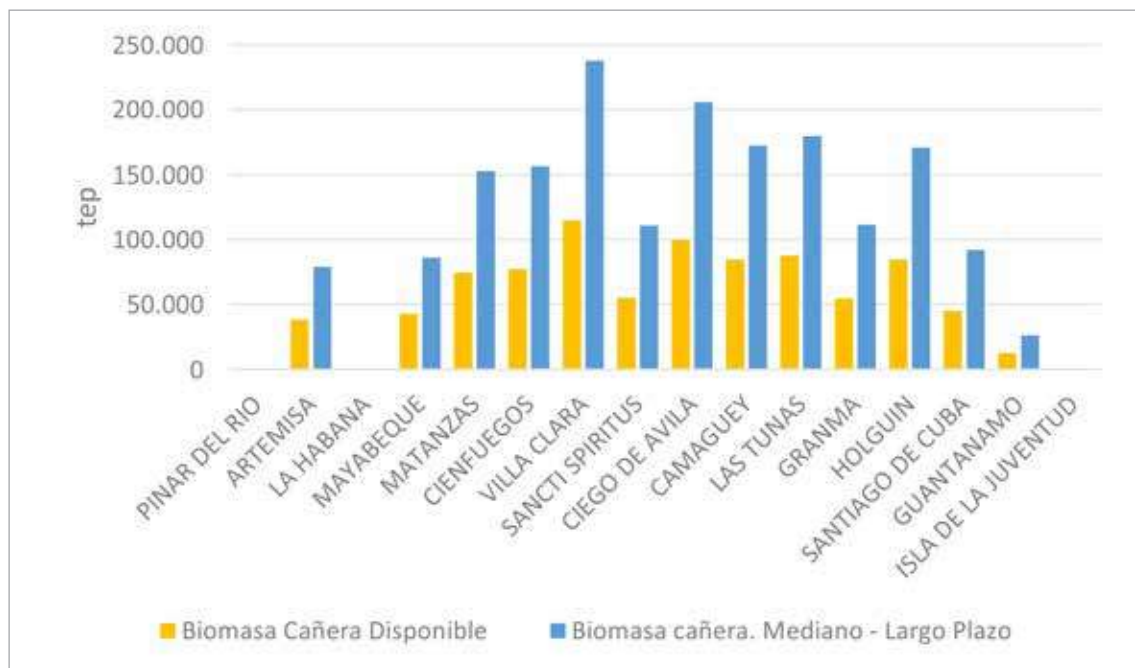


Figura 3.2 Potencial energético de la biomasa cañera.

3.3.2. Biomasa del Sector Forestal.

3.3.2.1. Leña.

En la actualidad el equivalente energético de la leña que se produce por el GAF anualmente es de 44049 tep. Se reporta el potencial de incrementar su producción hasta los 59243 tep, que representa un incremento del 34%. Tabla 3.7.

Hay cinco provincias que predominan en la producción de esta biomasa. Las provincias de Santiago de Cuba, Villa Clara, Las Tunas, Granma y Holguín acumulan el 71% del potencial de producción de leña. Figura 3.3. En el caso de la Isla de la Juventud los datos no están disponibles al no estar actualizado el ordenamiento forestal por no existir una empresa forestal.

Tabla 3.7. Potencial energético de la biomasa sólida del sector azucarero (tep)

Provincia	Actual	Potencial
	tep	tep
Pinar del Rio	2.771	3.011
Artemisa	875	950
Habana	0	0
Mayabeque	966	1.050
Matanzas	192	235
Villa Clara	367	502
Cienfuegos	8.200	10.724
Sancti Spíritus	2.955	3.242
Ciego de Ávila	1.999	2.719
Camagüey	787	1.023
Las Tunas	5.673	7.639
Holguín	3.341	3.816
Granma	3.277	4.085
Stgo de Cuba	10.876	17.947
Guantánamo	1.815	2.300
Isla de la Juventud	0	0
Total	44.094	59.243

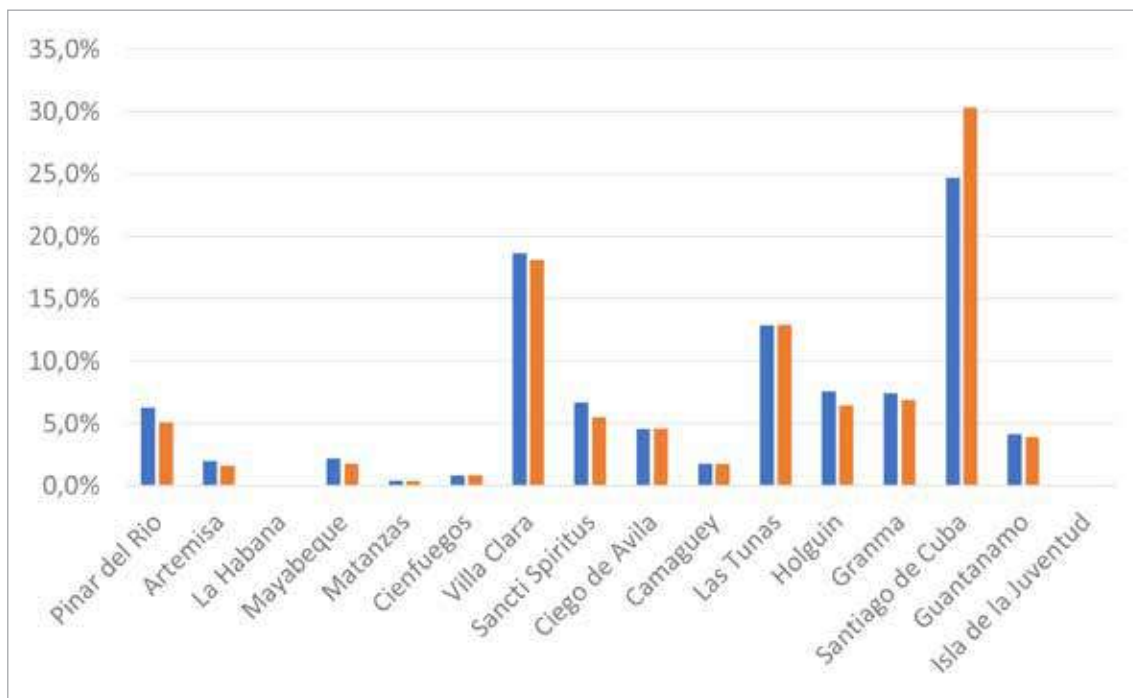


Figura 3.3 Participación por provincia en la producción potencial de leña

3.3.2.2. Plantaciones energéticas.

Las plantaciones energéticas existentes en el país ocupan un área de 33803 ha, a las que se estima un potencial de producción de biomasa para combustible con un equivalente energético en el orden de las 197.395 tep/año. El 88% se acumula en cinco provincias: Camagüey, Las Tunas, Cienfuegos, Granma, y Holguín.

El GAF ha identificado un total de 66231 ha de suelos para el fomento de nuevas plantaciones energéticas. Tabla 3.8. El potencial energético de estas nuevas áreas asciende a 386.612 tep. En estas nuevas plantaciones el 86% del potencial energético se concentra en Camagüey, Las Tunas, Cienfuegos, Ciego de Ávila y Sancti Spiritus. Figura 3.4.

Tabla 3.8. Potencial energético de plantaciones energéticas

Provincia	Actuales	Fomento	Total
	tep	tep	tep
Pinar del Río	4.234	3.247	7.481
Artemisa	88	292	379
Habana	0	0	0
Mayabeque	0	4.191	4.191
Matanzas	1.097	21.153	22.251
Villa Clara	13.240	34.557	47.797
Cienfuegos	10.219	12.107	22.326
Sancti Spíritus	1.160	32.718	33.878
Ciego de Ávila	1.136	52.018	53.154
Camagüey	81.516	145.933	227.449
Las Tunas	44.724	68.880	113.605
Holguín	16.118	9.246	25.364
Granma	19.369	1.453	20.823
Stgo de Cuba	3.794	263	4.057
Guantánamo	623	555	1.178
Isla de la Juventud	0	0	0
Total	197.320	386.612	583.932

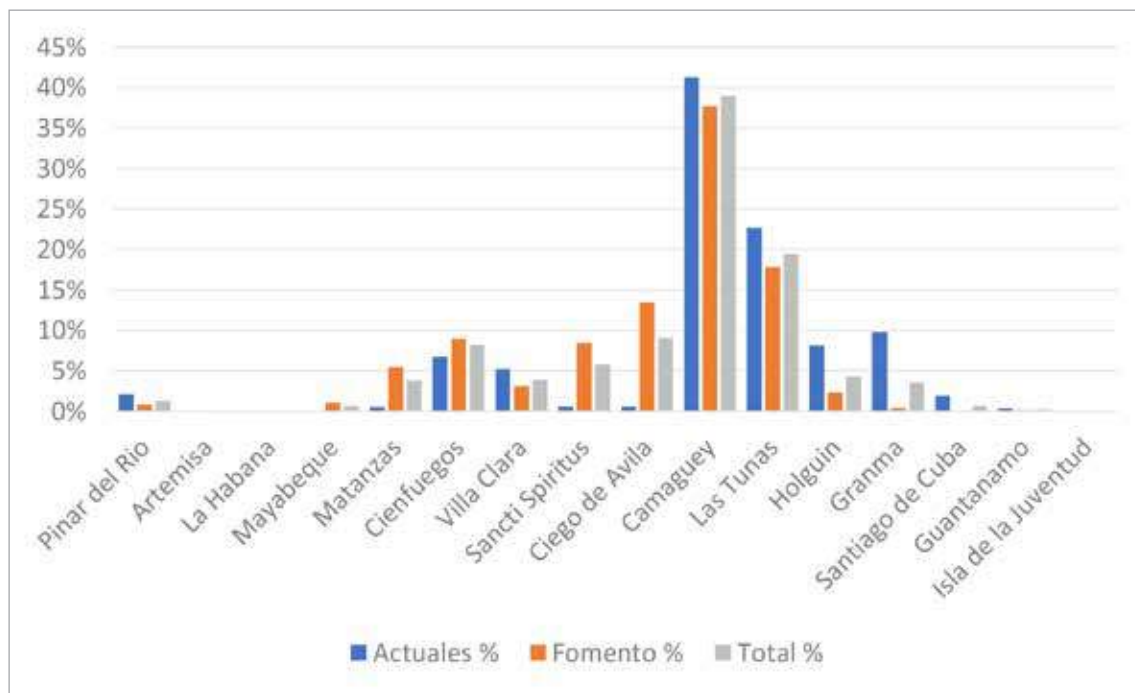


Figura 3.4 Participación por provincias en el potencial de las plantaciones energéticas

3.3.2.2. Residuos forestales

En el caso de los residuos del manejo de las plantaciones forestales estos se estiman en 5.698 tep. El 86% de este potencial está en tres provincias: Pinar del Río, Matanzas y Ciego de Ávila.

3.3.2.4. Residuos de la industria forestal

Los residuos forestales industriales que se producen anualmente tienen un potencial energético equivalente a 7480 tep. Tabla 3.9. Hay cuatro provincias: Pinar del Río, Villa Clara, Holguín y Santiago de Cuba que acumula el 70% de este potencial energético.

Tabla 3.9. Potencial Energético de los Residuos de la Industria Forestal

Provincia	tep	tep
Pinar del Río	3.336	44,6%
Artemisa	210	2,8%
Habana	0	0,0%
Mayabeque	84	1,1%
Matanzas	454	6,1%
Villa Clara	188	2,5%
Cienfuegos	511	6,8%
Sancti Spíritus	166	2,2%
Ciego de Ávila	196	2,6%
Camagüey	183	2,5%
Las Tunas	158	2,1%
Holguín	694	9,3%
Granma	196	2,6%
Stgo de Cuba	711	9,5%
Guantánamo	393	5,3%
Isla de la Juventud	0	0,0%
Total	7.480	100,0%

3.3.3. Residuos del Sector Agrícola

El principal residuo agroindustrial además de los relacionados con la biomasa cañera y la biomasa forestal es la cáscara de arroz. Su potencial energético ha sido evaluado en 32.029 tep.

El 84% de este potencial se acumula en 4 provincias: Granma, Sancti Spíritus, Camagüey y Matanzas.

3.3.4. Potencial energético prospectivo de la biomasa sólida

El análisis del potencial energético de la biomasa, desde el punto de vista de su contribución al cambio de la matriz energética del país, se realiza en dos espacios temporales. El periodo de corto – mediano plazo, es caracterizado por que existe la biomasa en cuestión, está disponible y es factible su explotación desde el punto técnico económico en ese plazo.

En el mediano – largo plazo, se añade al potencial de corto mediano plazo, aquellas biomásas que requieren ser fomentadas o que se requieren crear condiciones técnico – económicas o financieras para su explotación comercial. Este análisis tiene como limitación, que se realiza sin estimar cambios en los volúmenes de producción de estas biomásas, lo cual es de esperar que ocurra por diferentes razones. Por este motivo el mismo solo puede ser utilizado como referencia.

En el corto mediano plazo es factible la utilización de 1.183.458 tep. Este potencial está determinado por el bagazo, los residuos de aserradero, el potencial de producción leña, y las plantaciones energéticas existentes. De este potencial ya es utilizado el 78%. Esto significa que sin considerar las reservas de aumento de eficiencia energética en el uso del bagazo como combustible en la industria azucarera y de la leña, hay disponibles al menos 255.665 tep. Tabla 3.10.

La fracción de combustible renovable que hoy se utiliza del total de combustible consumido en el país asciende a un 12%⁴, pudiendo llegar a un 15% si se utilizara plenamente el potencial de biomasa de corto mediano plazo.

En el mediano – largo plazo al potencial anterior, se le añade el correspondiente a los RAC, los residuos del manejo de plantaciones forestales y las nuevas plantaciones energéticas, resultado del fomento de las áreas identificadas con este fin, alcanzando un valor de 2.427.344 tep. Este potencial representa, de acuerdo a los consumos actuales, el 31% del consumo total de combustible y el 91% del combustible que se destina a usos no relacionados con la generación de electricidad. Tabla 3.10.

El crecimiento estimado del potencial energético de la biomasa sólida, al pasar del corto – mediano plazo, al mediano largo plazo es de 2.05 veces. A este crecimiento contribuye la inclusión del potencial del RAC y de las plantaciones energéticas a fomentar. Como resultado aumenta la participación de la biomasa forestal en el potencial energético de la biomasa sólida, pasando de un 19 % a un 25%.

⁴ Se considera que se consume en el país un total de 7809990 tep, que se calcula de la suma de la biomasa combustible utilizada y de los combustibles derivados del petróleo y del gas natural consumidos en el país. elaborados de los datos de las tablas 10.10 y 10.16 y 10.17 del Anuario estadístico de Cuba del 2020.

Tabla 3.10. Potencial Energético de las fuentes de biomasa sólida

Fuente de biomasa	Plazo	
	Corto - Mediano	Mediano - largo
	Valor (tep)	Valor (tep)
Biomasa Cañera total	931.480	1.781.347
Biomasa Cañera Disponible	18.837	868.704
Bagazo utilizado como combustible	912.643	912.643
Bagazo sobrante	18.837	18.837
RAC disponible		849.868
Leña	15.150	15.150
Leña utilizada como combustible	15.150	15.150
Residuos Forestales	7.480	14.887
Residuos de aserradero	7.480	7.480
Residuos del manejo forestal		7.407
Plantaciones Energéticas	197.320	583.932
Actuales	197.320	197.320
Por fomentar		386.612
Otros residuos agroindustriales		
Cáscara de arroz	32.029	32.029
Total	1.183.458	2.427.344

El potencial energético de la biomasa sólida se acumula en seis provincias estas son Cienfuegos, Villa Clara, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas y Holguín. En el escenario de corto mediano plazo acumulan el 65% del total y en el mediano – largo plazo el 67%. Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Potencial energético perspectivo de la biomasa sólida (tep)

Provincia	Corto - Mediano Plazo	Mediano largo plazo
Pinar del Río	9.753	16.520
Artemisa	42.176	80.273
Habana	0	0
Mayabeque	45.479	90.177
Matanzas	86.804	181.823
Villa Clara	97.686	206.588
Cienfuegos	136.875	264.270
Sancti Spíritus	67.334	152.334
Ciego de Ávila	108.903	260.371
Camagüey	177.950	406.150
Las Tunas	140.569	295.901
Holguín	107.733	198.383
Granma	87.526	142.065
Stgo de Cuba	59.557	104.309
Guantánamo	15.112	28.179
Isla de la Juventud	0	0
Total	1.183.458	2.427.344

La participación de la biomasa cañera y del sector forestal varía de manera importante de provincia a provincia. Figura 3.5 y figura 3.6. Se destacan las provincias de Pinar del Río, Camagüey y Las Tunas en las que la participación de la biomasa del sector forestal es superior al 40%.

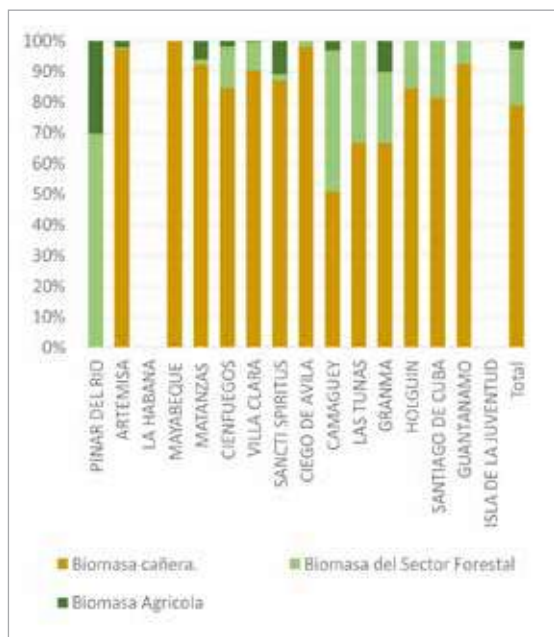


Figura 3.5 Potencial energético de la biomasa sólida a corto - mediano plazo

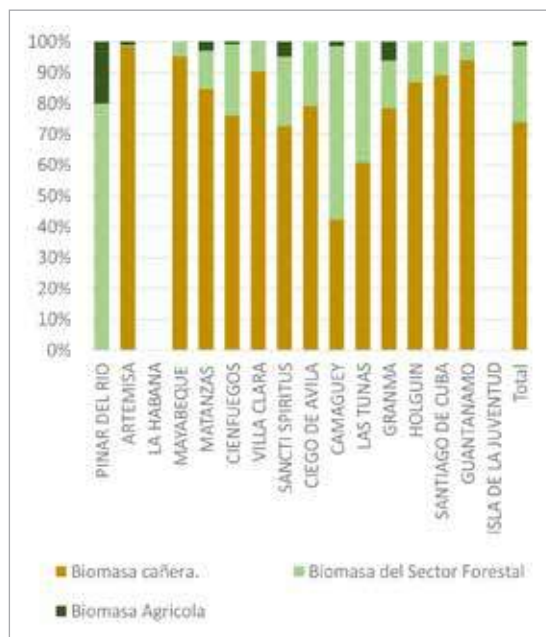


Figura 3.6 Potencial energético de la biomasa sólida a mediano - largo plazo

3.4. Sustitución de portadores energéticos por el uso de la biomasa sólida

El análisis del potencial de sustitución de portadores energético se realiza de manera específica para cada demanda de fuentes de biomasa.

El criterio que se sigue sobre el destino de las diferentes fuentes de biomasa es el siguiente:

a. Biomasa Cañera

La principal fuente de biomasa sólida como combustible en la industria azucarera es el bagazo. En este reporte el bagazo no se considera como un combustible disponible, ya que el mismo está incorporado al balance de combustible del programa de bioléctricas del sector,

La otra fuente de biocombustible sólido en la industria azucarera son los RAC que tiene un nivel de utilización muy bajo a pesar de su alto potencial. En este estudio se considera como la fuente de energía para la sustitución del uso del fuel oil en la producción de azúcar refinado y destilerías de alcohol.

b. Residuos de aserradero

Estos residuos están ya disponibles, constituyen un problema ambiental y estarían destinados a la generación de electricidad con el objetivo de lograr el autoabastecimiento de las entidades del GAF. Los posibles excedentes, de acuerdo a la estrategia de aprovechamiento que se implemente, se dedicarían a la producción de biocombustibles sólidos para la economía local en forma de briquetas, astillas y pellets de madera.

c. Residuos del manejo forestal

Estos residuos se producen de manera sistemática a medida que se realizan las diferentes intervenciones de manejo en las áreas forestales. Su destino es la producción de biocombustibles sólidos para ser utilizados en la economía local en forma de briquetas, astillas y pellets de madera.

d. Leña y plantaciones energéticas actuales

Estas dos fuentes de biomasa, se consideran en el balance oferta – demanda para la sustitución de combustible convencional en hornos y calderas de la Industria Alimentaria y la actividad agrícola. Los excedentes de este balance quedarían a disposición del suministro de combustible al programa de bioeléctricas.

e. Fomento de plantaciones energéticas

Esta fuente de biomasa está destinada a suplir la demanda del programa de bioeléctricas.

f. Cáscara de arroz

El uso de la cáscara de arroz como combustible tiene como propósito el autoabastecimiento energético de la industria del arroz de electricidad y combustible para el secado.

3.4.1. Sustitución de portadores energéticos en la industria de derivados de la caña de azúcar con biomasa

La industria azucarera tiene como principales consumos de portadores energéticos que pueden ser sustituidos con biomasa sólida la electricidad y el fuel oíl utilizado en las calderas.

Esta industria tiene un consumo de fuel oíl equivalente a 35229 tep en las calderas de las plantas de refinación de azúcar crudo, 34026 tep en las de destilación de alcohol y 3205 tep en la producción de levadura para un total de 72470 tep.

La utilización de RAC es una opción adecuada, desde el punto de vista técnico económico, para la sustitución de este consumo de fuel oíl. EL análisis muestra que es posible sustituir el 100% de este combustible convencional en toda la industria, excepto en la provincia de la Habana, utilizando solo el 8% del total de RAC que se calcula como disponible con fines energéticos anualmente. Esto significa una sustitución del 98% del total de fuel oíl consumido.

La provincia que mayor uso haría del RAC disponible sería la provincia de Villa Clara donde se requiere el uso del 16% de esta biomasa. Figura 3.7.

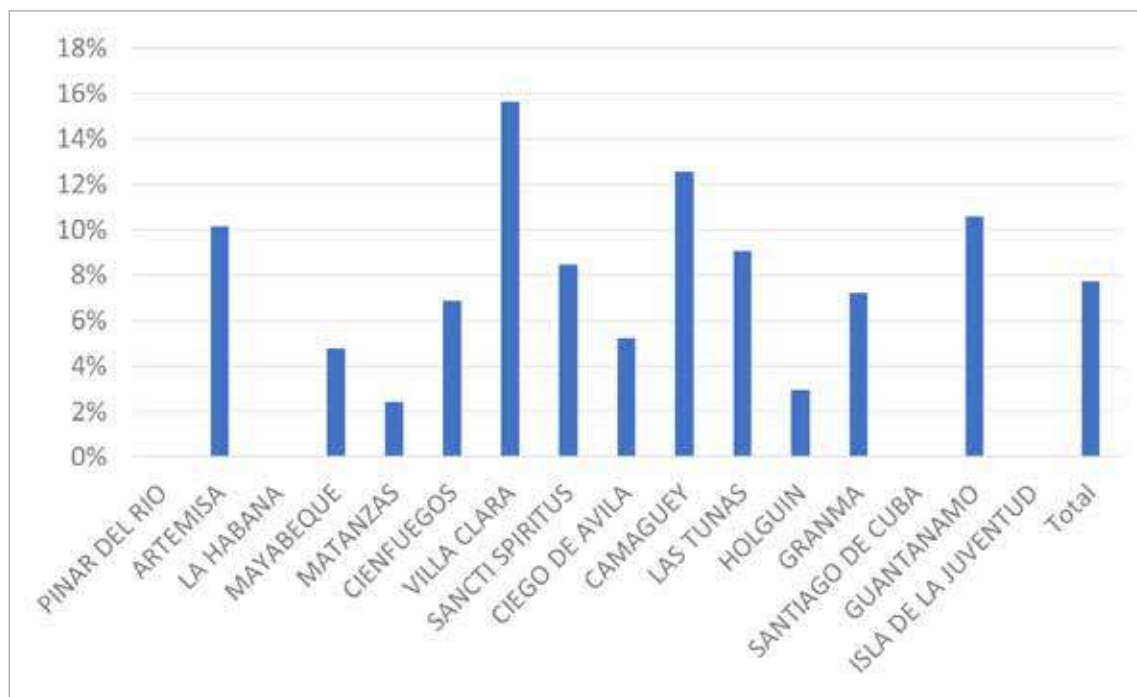


Figura 3.7 Utilización del RAC disponible en la sustitución del uso del fuel oíl en AZCUBA

3.4.2. Sustitución de combustibles fósiles en hornos y calderas de la industria alimentaria y la producción agrícola

Este epígrafe está dedicado al balance de biomasa para la sustitución del combustible fósil que se utiliza en hornos y calderas en los grupos empresariales: TABACUBA, GEGAN y LABIOFAM del MINAG y CORALSA, Agroalimentario, Alimentario y Pesca del MINAL. La demanda de biomasa para satisfacer este consumo asciende a un total de 107027 tep del cual el 78% corresponde a las OSDEs del MINAL. En el caso del MINAG, las demandas más significativas son las de TABACUBA y LABIOFAM. Figura 3.8.

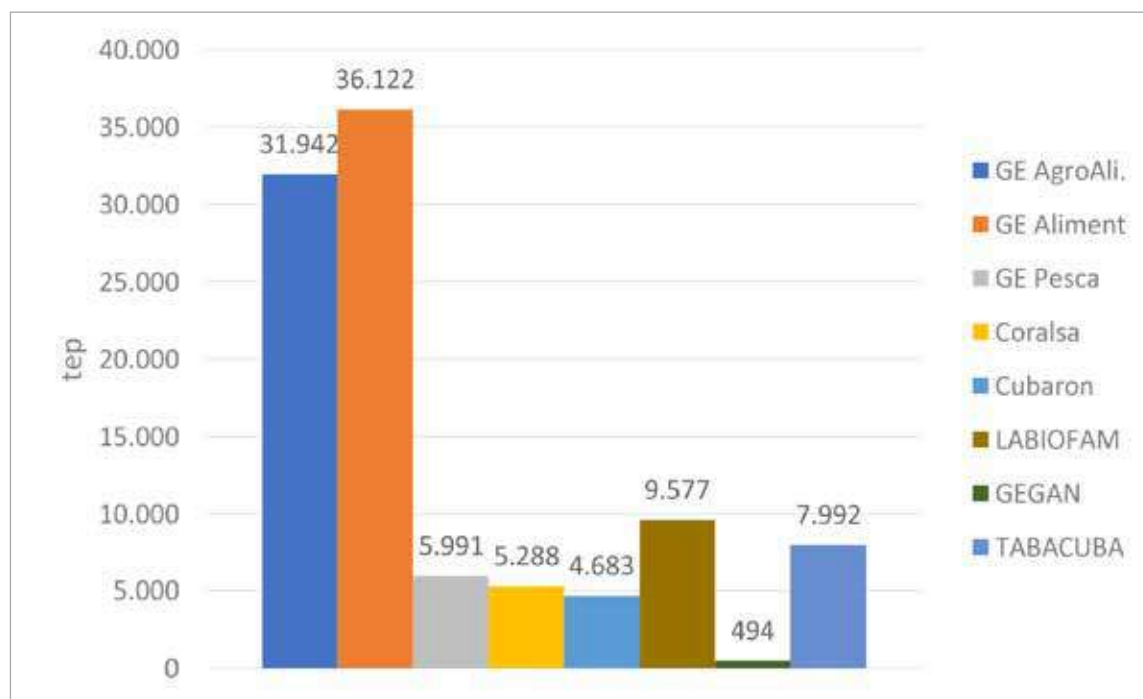


Figura 3.8 Demanda de biomasa para la sustitución de combustible convencional en hornos y calderas en el MINAL y el MINAG

La distribución de esta demanda por provincia muestra que el 55% de la misma se acumula en cinco provincias: Santiago de Cuba, Cienfuegos, Pinar del Río, Villa Clara y Sancti Spíritus. Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Demanda de biomasa forestal (m³/año)

Provincia	GE Agro-Alimentario	GE Alimentario	GE Pesca	Coralsa	Cubaron	LABIOFAM	GEGAN	TABACUBA	Total
Pinar Del Rio	13.179	13.026	2.235	9.052	0	0	0	12.289	49.781
Artemisa	4.347	7.196	17	0	0	16	989	7.717	20.281
La Habana	6.318	7.335	4.304	915	0	4.796	0	5.135	28.803
Mayabeque	3.228	3.652	0	0	21.491	0	0	1.385	29.756
Matanzas	4.560	924	165	0	98	6.093	195	584	12.621
Cienfuegos	13.855	247	6.143	102	0	33.319	564	1.433	55.664
Villa Clara	19.267	23.931	4.436	0	46	0	0	1.359	49.038
Sancti Spiritus	17.058	21.984	9	0	0	83	0	1.460	40.594
Ciego De Avila	7.482	9.376	2.916	0	0	0	0	986	20.759
Camagüey	9.510	17.601	388	0	0	0	184	213	27.896
Las Tunas	1.603	241	217	0	0	0	0	346	2.407
Granma	15.001	8.440	1.462	0	0	0	67	601	25.570
Holguín	5.673	3.968	463	14.415	0	32	289	2.617	27.457
Santiago De Cuba	18.213	46.869	283	0	46	0	0	735	66.146
Guantanamo	7.370	2.448	3.124	0	0	0	0	0	12.942
Isla de La Juventud	1.229	7	1.576	0	0	0	0	144	2.956
Total	147.893	167.245	27.738	24.485	21.681	44.340	2.287	37.004	472.673

La demanda de biomasa por provincia de cada grupo empresarial es diferente. Así CUBARON se concentra en Mayabeque, LABIOFAM en Cienfuegos, el Grupo Alimentario en Santiago de Cuba, Villa Clara y Sancti Spiritus y el Agroalimentario tiene una demanda más distribuida en el país. Figura 3.9. En el caso de CORALSA, la demanda se concentra en Holguín y Pinar del Rio, el GE Pesca en Cienfuegos, Villa Clara y la Habana y TABACUBA en Pinar del Rio, Artemisa y la Habana. Figura 3.10.

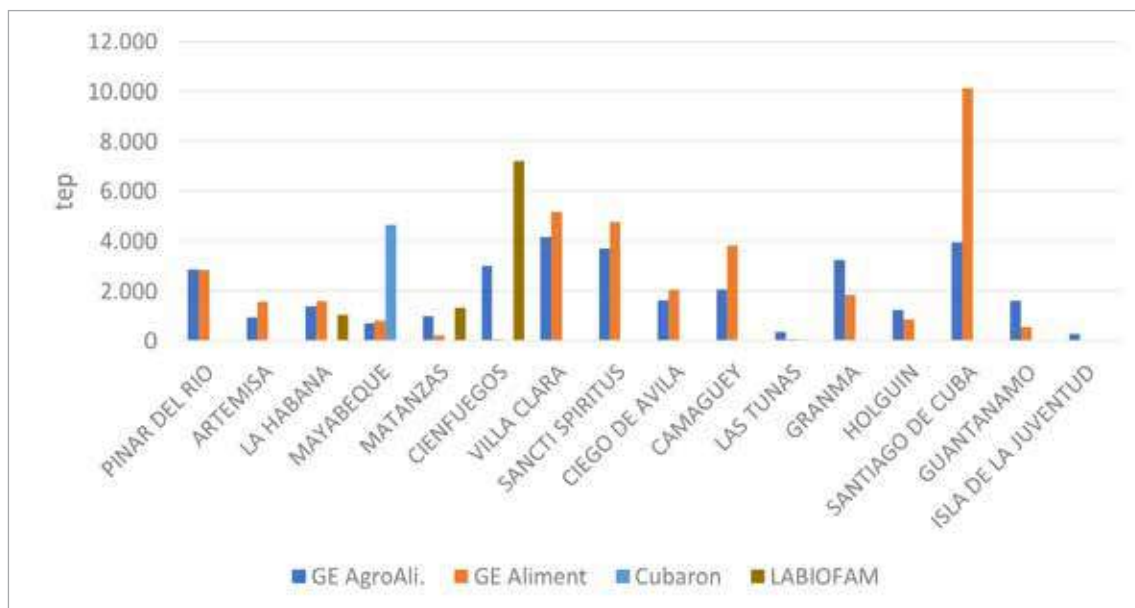


Figura 3.9 Distribución de la demanda de biomasa para combustible en hornos y calderas. Parte 1.

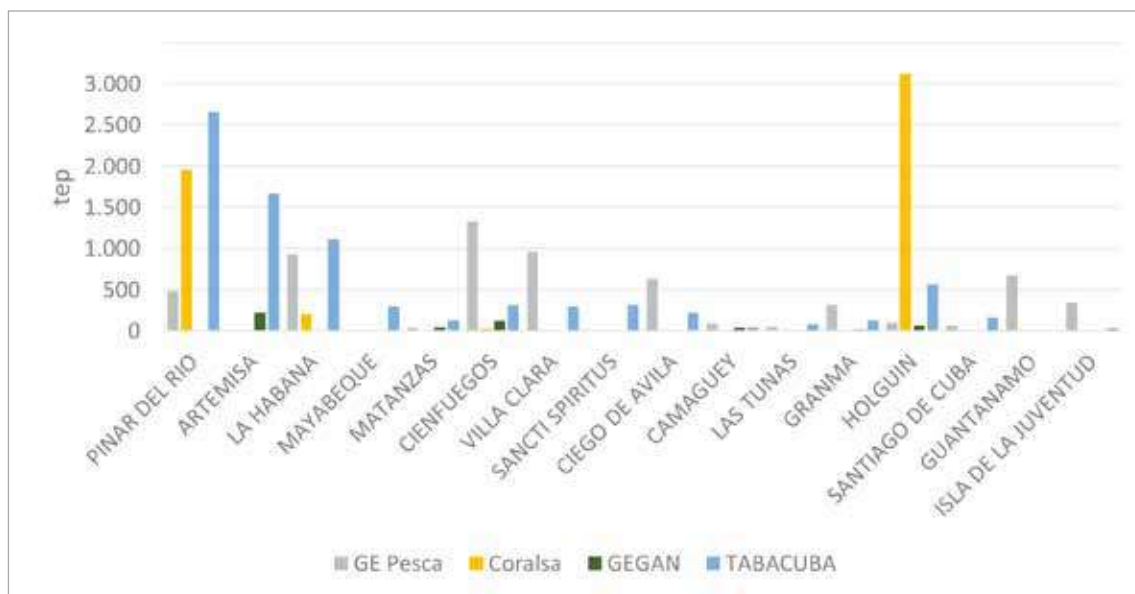


Figura 3.10 Distribución de la demanda de biomasa para combustible en hornos y calderas. Parte 2.

La demanda de biomasa identificada para sustituir el uso de combustible fósil en hornos y calderas (102088 tep), no es posible satisfacer solo con la producción potencial de leña (59.243 tep), por lo que la estrategia es planificar primero cubrir esta demanda con la leña y en los territorios donde no es suficiente acudir a la explotación de las plantaciones energéticas existentes. Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Demanda de biomasa forestal (m³/año) Oferta - Demanda de biomasa para sustituir combustible en hornos y calderas de los OSDEs del MINAL y el MINAG. Por provincia.

Provincia	Demanda (tep)	Oferta (tep)			Cubrimiento de la demanda			Utilización de potencial de las PEA	Déficit de biomasa (m ³)
		Leña	PEA ⁵	biomasa forestal	Leña	PEA	Total		
Pinar del Río	10.752	3.011	4.234	7.246	28%	39%	67%	100%	16.234
Artemisa	4.380	950	88	1.038	22%	2%	24%	100%	15.475
La Habana	6.221	0	0	0	0%	0%	0%	0%	28.803
Mayabeque	6.427	1.050	0	1.050	16%	0%	16%	0%	24.895
Matanzas	2.726	235	1.097	1.333	9%	40%	49%	100%	6.451
Cienfuegos	12.022	502	13.240	13.741	4%	96%	100%	87%	0
Villa Clara	10.591	10.724	10.219	20.943	100%	0%	100%	0%	0
Sancti Spíritus	8.767	3.242	1.160	4.402	37%	13%	50%	100%	20.213
Ciego De Avila	4.484	2.719	1.136	3.855	61%	25%	86%	100%	2.912
Camagüey	6.025	1.023	81.516	82.539	17%	83%	100%	6%	0
Las Tunas	520	7.639	44.724	52.364	100%	0%	100%	0%	0
Granma	5.523	4.085	19.369	23.454	74%	26%	100%	7%	0
Holguín	5.930	3.816	16.118	19.934	64%	36%	100%	13%	0
Santiago De Cuba	14.286	17.947	3.794	21.741	100%	0%	100%	0%	0
Guantanamo	2.795	2.300	623	2.924	82%	18%	100%	79%	0
Isla de La Juventud	638	0	0	0	0%	0%	0%	0%	2.956
Total	102.088	59.243	197.320	256.563	47%	28%	75%	27%	117.939

Las posibilidades de satisfacer esta demanda con la oferta de leña solo existen en tres provincias: Villa Clara, Las Tunas y Villa Clara. Al incorporar a la oferta de biomasa forestal a las plantaciones energéticas actuales, quedan sin satisfacer el total de la demanda en las provincias de Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Matanzas, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila. La satisfacción de la demanda con la oferta por provincia da como resultado que esta se satisface a nivel del país en un 75% del cual el 47% se satisface con leña

⁵ PEA: Plantaciones Energéticas Actuales.

y el resto con las plantaciones energéticas actuales, lo cual requiere el aprovechamiento del 27% del potencial nacional de estas plantaciones. Figura 3.11.

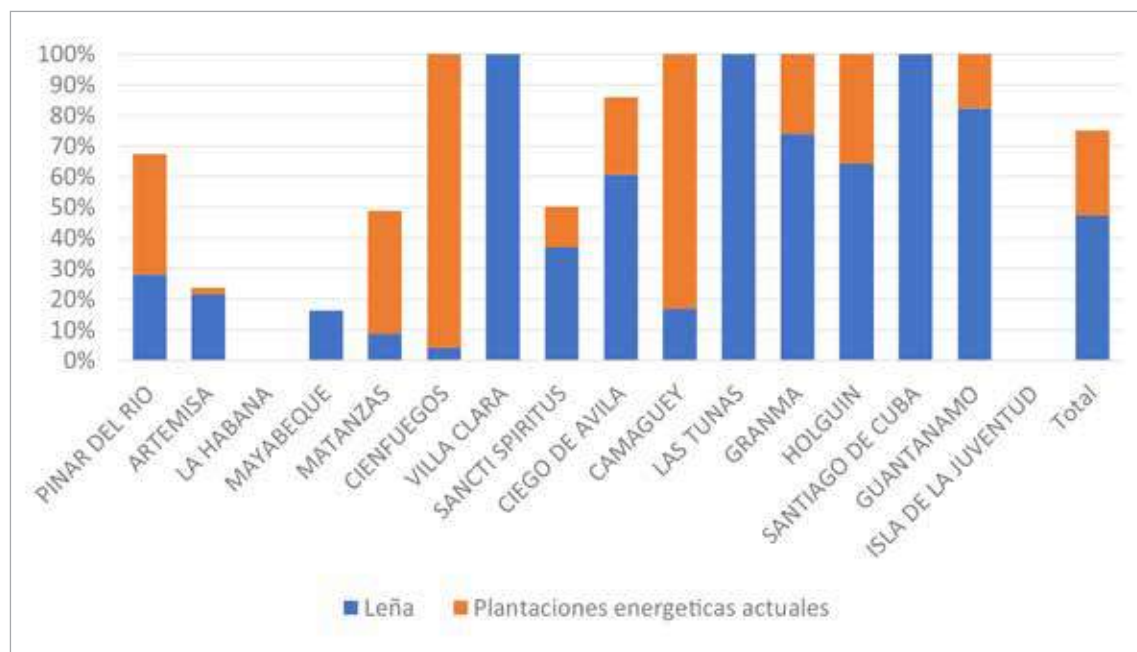


Figura 3.11 Participación por provincia de la leña y las plantaciones energéticas actuales en la satisfacción de la demanda de biomasa para hornos y calderas.

Estructurar la oferta / demanda por regiones: Occidente (Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque y Matanzas), Centro (Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey y Las Tunas) y Oriente (Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo) permite un balance mucho más positivo. Tabla 3.14

Tabla 3.14. Oferta - Demanda de biomasa para sustituir combustible en hornos y calderas de los OSDEs del MINAL y el MINAG. Por regiones.

Región	Demanda (tep)	Oferta (tep)			Cubrimiento de la demanda			Utilización de potencial de las PEA	Déficit de biomasa (m ³)
		Leña	PEA	biomasa forestal	Leña	PEA	Total		
Occidente	30.506	5.247	5.419	10.666	17%	18%	35%	100%	91.858
Centro	41.890	18.209	107.271	125.479	43%	57%	100%	22%	0
Oriente	29.693	35.788	84.629	120.417	100%	0%	100%	0%	0
Total	102.088	59.243	197.320	256.563	52%	29%	81%	25%	91.858

En este caso se alcanza un cubrimiento de la demanda total de un 81%, del cual el 52% es con el potencial de leña y el resto con el de las plantaciones energéticas actuales, cuyo potencial se aprovecha en un 25%. Se mantiene un déficit en la región Occidente, donde la demanda es posible cubrir solo en un 35%. Esta situación pudiera cambiar si se incluyera el potencial de producción de leña de las áreas protegidas resultante de sus planes de manejo. Sin embargo, estas áreas no tienen elaborado un inventario forestal, por lo que estas cifras no están determinadas con precisión. El potencial de producción de biomasa producto del manejo de las áreas forestales de la Ciénaga del Zapata permitiría cubrir, al menos parcialmente, este déficit de biomasa en la región Occidental. En el balance oferta demanda que se realiza en el Capítulo IV de este reporte se considera un enfoque de mercado nacional y se cubre el 100% de esta demanda. Figura 3.12.

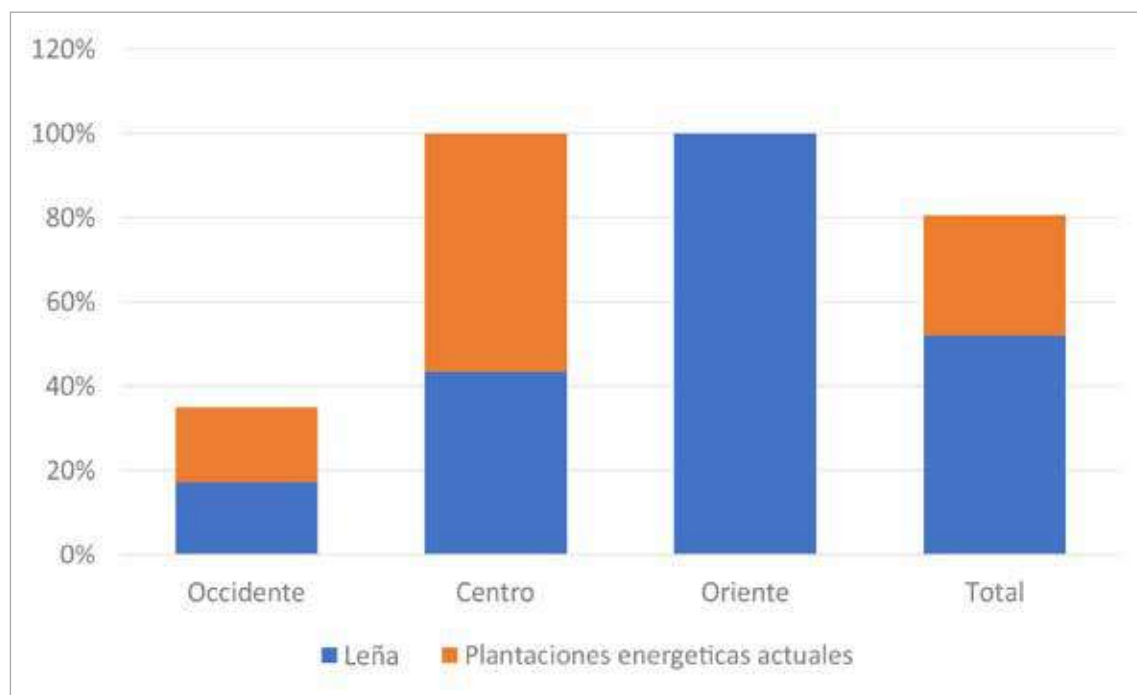


Figura 3.12 Participación por regiones de la leña y las plantaciones energéticas actuales en la satisfacción de la demanda de biomasa para hornos y calderas.

3.4.3. Programa de plantas bioeléctricas

El principal programa de generación de electricidad de la industria azucarera es el de las plantas bioeléctricas⁶. La proyección de este programa utilizada en el presente reporte es establecer 17 plantas bioeléctricas en 10 provincias del país, con una potencia total instalada de 622 MW de potencia.

La demanda de combustible para estas bioeléctricas asciende a 800,145 tep de biomasa forestal y a 677,056 tep de bagazo.

En la planificación del suministro de biomasa forestal para satisfacer esta demanda, se contempla el potencial de producción resultante del fomento de las plantaciones energéticas, más el excedente del potencial de leña y plantaciones energéticas actuales, que se produzca luego de satisfacer la demanda de hornos y calderas. El cubrimiento por provincia

⁶ Bioeléctrica: Planta de Generación de Electricidad que se anexa a una fábrica de azúcar de la cual recibe bagazo como combustible y le suministra durante la zafra azucarera el vapor y la electricidad requerida para el proceso productivo de azúcar crudo. Fuera de zafra toda la electricidad generada se entrega al SEN y se introduce como combustible la biomasa forestal.

de la demanda del programa de bioeléctricas con estas fuentes de biomasa es de un 21% y con el potencial del fomento de plantaciones energéticas un 47% para un total del 68%. El balance de oferta de RAC - demanda de biomasa demuestra que con esta fuente es posible cubrir un 30% adicional. Tabla 3.15.

De esta manera se alcanza un 98%, siendo Matanzas la única provincia donde no se logra el 100% de cubrimiento. Con este fin se utiliza el 92% de los excedentes de leña y plantaciones energéticas actuales, el 64% del potencial del fomento de plantaciones energéticas y el 29% del RAC disponible.

Tabla 3.15. Cubrimiento de la demanda del programa de bioeléctricas. Por Provincias.

Provincias	Demanda de biomasa tep	Utilizada			Cubrimiento de la demanda			Aprovechamiento del potencial			
		Leña y PEA tep	FPE ⁷	RAC	Leña y PEA %	FPE	RAC	Total %	Leña y PEA %	FPE	RAC
			RAC	tep		%	%			%	%
Pinar del Río	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Artemisa	32.185	0	379	31.806	0%	1%	99%	100%	0%	100%	84%
La Habana	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mayabeque	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Matanzas	111.908	0	22.251	73.124	0%	20%	65%	85%	0%	100%	100%
Cienfuegos	85.873	1.719	47.797	36.357	2%	56%	42%	100%	100%	100%	49%
Villa Clara	89.879	10.352	22.326	57.201	12%	25%	64%	100%	100%	100%	50%
Sancti Spíritus	35.438	0	33.878	1.560	0%	96%	4%	100%	0%	100%	3%
Ciego De Avila	58.629	0	53.154	5.475	0%	91%	9%	100%	0%	100%	6%
Camagüey	169.617	76.514	93.104	0	45%	55%	0%	100%	100%	41%	0%
Las Tunas	128.587	51.844	76.743	0	40%	60%	0%	100%	100%	68%	0%
Granma	50.505	17.932	20.823	11.751	36%	41%	23%	100%	100%	100%	22%
Holguín	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Santiago De Cuba	37.524	7.455	4.057	26.012	20%	11%	69%	100%	100%	100%	59%
Guantanamo	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Isla de La Juventud	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total	800.145	165.815	374.511	243.287	21%	47%	30%	98%	92%	64%	29%

⁷ Fomento de Plantaciones Energéticas

La contribución de cada una de estas fuentes de biomasa es diferente en cada provincia donde se prevén actividades del programa de bioeléctricas. Así la producción de biomasa asociada al fomento de plantaciones energéticas es predominante a nivel nacional y en las provincias de Cienfuegos, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Las Tunas y Granma. En el caso del RAC este es decisivo en las provincias de Artemisa, Matanzas y Santiago de Cuba. Los excedentes del potencial de leña y de las plantaciones energéticas actuales, son importantes en Camagüey, Las Tunas y Granma. Figura 3.13.

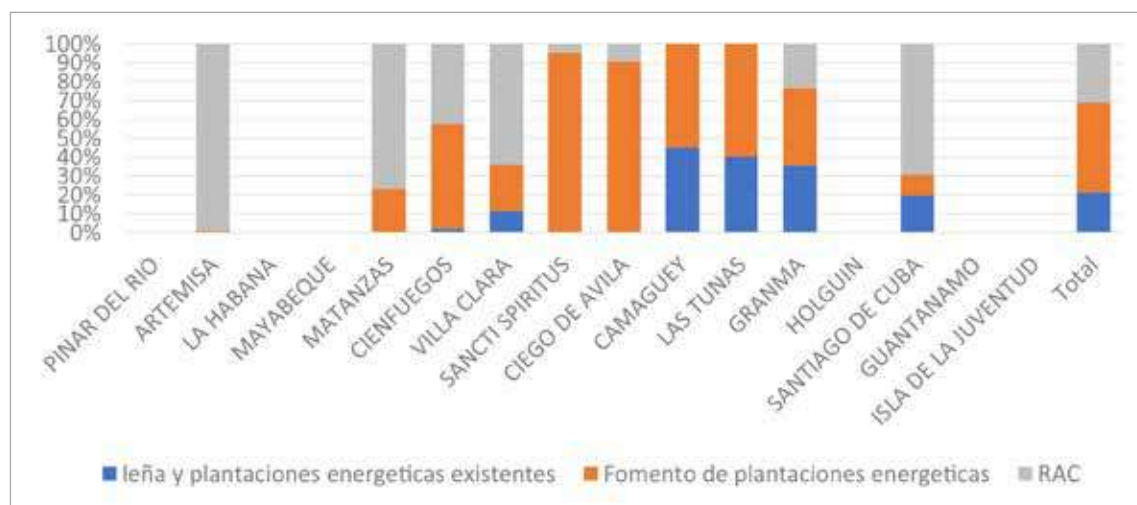


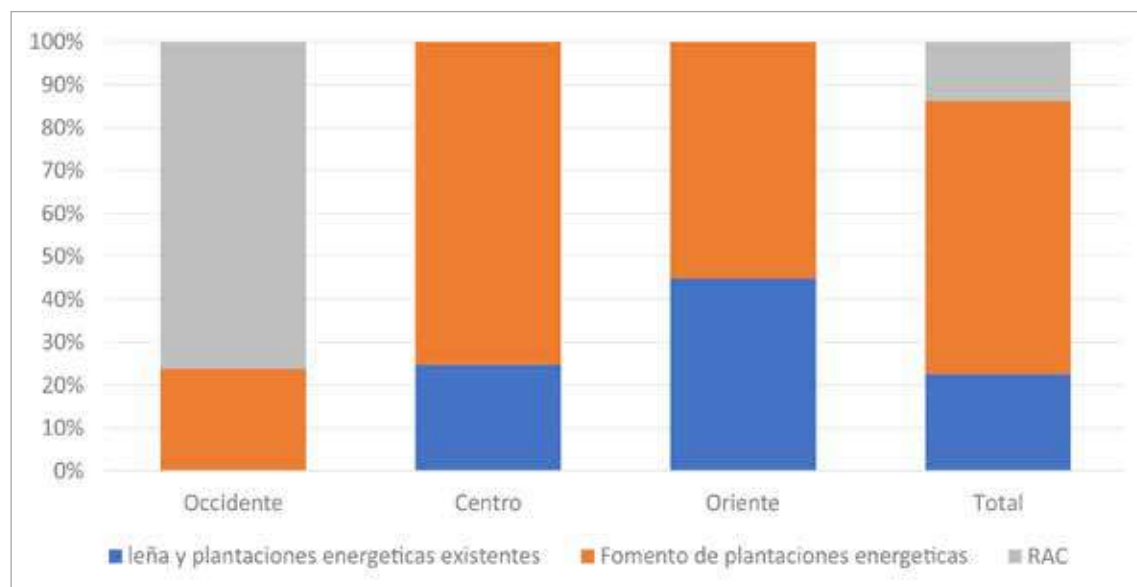
Figura 3.13 Contribución de las fuentes de biomasa al programa de bioeléctricas. Por provincia.

El balance oferta demanda regional para cubrir las necesidades de otras biomásas, diferentes al bagazo, por el programa de bioeléctricas, logra alcanzar un cubrimiento del 100% de esta demanda. Tabla 3.16. En este caso se eleva el aprovechamiento del potencial de los excedentes de leña y plantaciones energéticas existentes y del fomento de plantaciones energéticas hasta un 100% y un 87% respectivamente. El uso de RAC se limita a la región occidental, donde se utiliza el 73% del disponible, que equivale al 13% del total nacional.

Tabla 3.16. Cubrimiento de la demanda del programa de bioeléctricas. Por regiones.

Regiones	Demanda de biomasa tep	Utilizada			Cubrimiento de la demanda			Aprovechamiento del potencial			
		Leña y PEA	FPE	RAC	Leña y PEA	FPE	RAC	Total	Leña y PEA	FPE	RAC
		tep	RAC	tep	%	%	%	%	%	%	%
Occidente	144.093	0	34.302	109.791	0%	24%	76%	100%	0%	100%	73%
Centro	568.023	140.428	427.595	0	25%	75%	0%	100%	100%	86%	0%
Oriente	88.029	39.519	48.510	0	45%	55%	0%	100%	100%	94%	0%
Total	800.145	179.947	510.407	109.791	22%	64%	14%	100%	100%	87%	13%

Por regiones el cubrimiento de la demanda se caracteriza por ser predominante el RAC en la región occidental y el fomento de plantaciones energéticas en las dos restantes, con una contribución importante de los excedentes de leña y de las plantaciones energéticas actuales en la región oriental. Figura 3.14.


Figura 3.14 Contribución de las fuentes de biomasa al programa de bioeléctricas. Por región.

3.4.4. Industria del arroz

La industria del procesamiento del arroz tiene dos procesos tecnológicos fundamentales: el secado del grano que se recibe húmedo del campo, que tiene como propósito la separación de impurezas y la reducción de la humedad. El otro proceso es el molinado que está destinado a separar la cáscara del grano y dejarlo listo para el consumo. En ambos procesos se utiliza la electricidad como portador energético, y además en el secado del grano se incorpora el combustible diésel, que se utiliza en quemadores para la producción del calor necesario.

La demanda de portadores energéticos depende de los volúmenes de producción a procesar. Debido a las variaciones de los volúmenes de arroz procesado anualmente durante los últimos años, se toman como datos representativos los del año 2017.

En este año el consumo de portadores energéticos de la industria fue de 5218 tep de diésel para el secado y 20155 MWh. A la vez se generaron 362389 ton de cáscara de arroz equivalentes a 31 900 tep. La estimación de la capacidad de sustitución de los portadores energéticos convencionales usando como fuente de energía la cáscara de arroz se realiza considerando que con este fin se utiliza la tecnología de gasificación de biomasa. En ese caso resulta posible sustituir el 100% del diésel consumido en el secado y generar 2 veces el consumo total de electricidad de esta actividad. Tabla 3.17

Tabla 3.17. Potencial de sustitución de portadores energéticos en la industria del arroz

Provincia	diésel	Electricidad		auto abastecimiento
	secado tep	consumo MWh/año	entrega a la red MWh/año	
Pinar del Río	658	2.770	4.324	256%
Artemisa	103	345	270	178%
Habana	0	0	0	0%
Mayabeque	195	653	511	178%
Matanzas	398	1.334	1.044	178%
Villa Clara	340	1.140	892	178%
Cienfuegos	212	593	15	103%
Sancti Spíritus	884	2.964	2.320	178%
Ciego de Ávila	130	477	527	210%
Camagüey	961	3.385	3.252	196%
Las Tunas	7	11	0	0%
Holguín	19	64	50	178%
Granma	1.286	6.330	6.046	196%
Stgo de Cuba	0	0	0	0%
Guantánamo	0	0	0	0%
Isla de la Juventud	26	88	69	178%
Total	5.218	20.155	20.096	200%

En todas las provincias en que se procesa industrialmente el arroz, es posible lograr el autoabastecimiento de combustible diésel para el secado del arroz y en electricidad. Hay cuatro provincias que llevan el peso del consumo de portadores energéticos en la industria: Pinar del Río, Sancti Spíritus, Camagüey y Granma. Las mismas consumen el 73% del diésel y el 76% de la electricidad. Después de autoabastecerse de electricidad, tienen el potencial de entregar al SEN el 79% de todo el excedente que pudiera generar la industria. Figura 3.15.

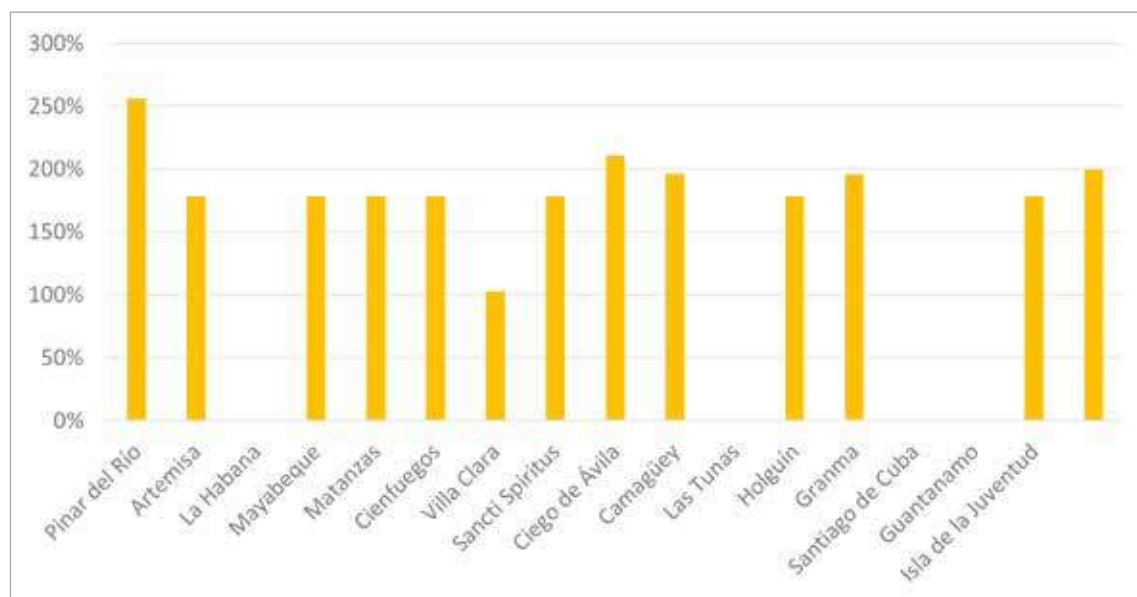


Figura 3.15 Potencial de autoabastecimiento eléctrico de la industria del arroz.

3.4.5. Industria Forestal

En este epígrafe se considera el potencial de autoabastecimiento eléctrico del GAF utilizando los residuos de aserradero que tienen un potencial energético ascendente a 7480 tep.

Los residuos de la industria forestal deben ser destinados en primera instancia al autoabastecimiento eléctrico y las cantidades de residuos sobrantes, destinarla a la producción de biocombustibles sólidos en forma de briquetas y astillas, para la sustitución de combustibles convencionales como parte del desarrollo local.

El análisis del autoabastecimiento eléctrico se realiza a nivel provincial en tres niveles: el de las entidades que producen estos residuos, el de las empresas forestales y el de las empresas del GAF en el territorio. Se realiza en dos escenarios.

El primero, que requiere un nivel de inversión inferior, considera el uso de los residuos para el autoabastecimiento eléctrico de los productores de residuos y de las empresas forestales a las que pertenecen. En este caso queda un excedente de residuos que puede

ser utilizado, luego de transformado como biocombustibles, en la sustitución portadores energéticos en la economía local. El valor energético de estos excedentes asciende a 6702 tep si se autoabastecen de electricidad solo los productores de residuos y a 4888 tep si se trata de autoabastecer a las empresas forestales. Estas cantidades representan el 90% y 65% del potencial energético de estos residuos (Tabla 3.18). Su importancia se pone en evidencia si se comparan con las 1014 tep de diésel que reportan que consume anualmente la Cadena Cubana del Pan.

Tabla 3.18. Balance del uso del potencial de corto mediano plazo de los residuos forestales

Provincia	Potencial Energética	Biomasa disponible después de autoabastecerse de electricidad al 100%	
		Productores de residuo	Empresas Forestales
	Tep	tep	tep
Pinar del Río	3.336	2.996	2.770
Artemisa	210	192	137
Habana	0	0	0
Mayabeque	84	76	17
Matanzas	454	409	355
Villa Clara	188	165	106
Cienfuegos	511	476	257
Sancti Spiritus	166	145	107
Ciego de Ávila	196	161	52
Camagüey	183	163	21
Las Tunas	158	132	88
Holguín	196	114	74
Granma	694	660	438
Stgo de Cuba	711	647	342
Guantánamo	393	366	124
Isla de la Juventud	0	0	0
Total	7.480	6.702	4.888

Esta disponibilidad de biomasa se concentra en las provincias de Pinar del Río y en las de Matanzas, Villa Clara, Holguín y Santiago de Cuba, que en su conjunto acumulan el 77% de la biomasa disponible luego de auto abastecerse de electricidad los aserraderos y el 85% luego de hacerlo las empresas forestales. Figura 3.16.

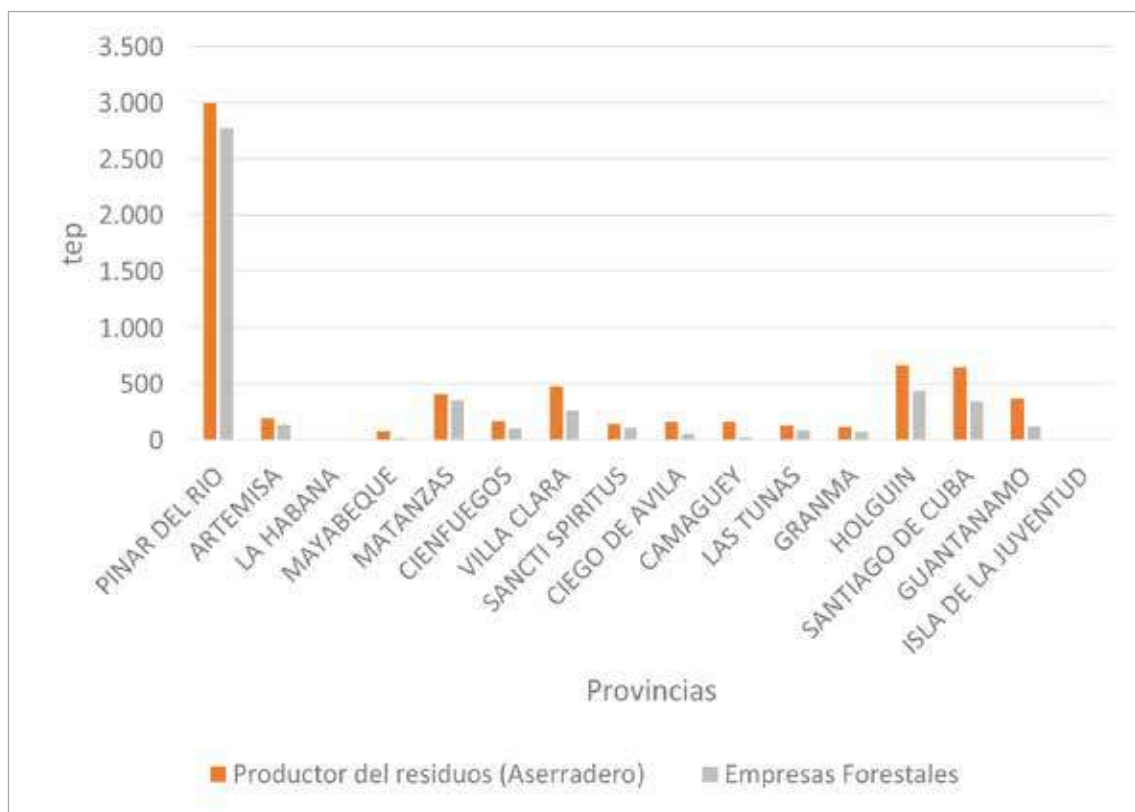


Figura 3.16 Disponibilidad de residuos de aserraderos para biocombustible.

En el segundo escenario analizado, el 100% de los residuos es destinado a la generación de electricidad. En este caso en todas las provincias los productores de residuos y las empresas de residuos logran un autoabastecimiento superior al 100%. A nivel del GAF en su conjunto, aunque este puede autoabastecerse en un 123 %, hay cinco provincias que no llegan al 100%. Estas son: Cienfuegos, Sancti Spíritus, Camagüey, Santiago de Cuba y Guantánamo. Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Balance del uso del potencial de corto mediano plazo de los residuos forestales. Escenario 100% electricidad

Provincia	Potencial Eléctrico MWh/ año	Consumo de electricidad			Autoabastecimiento		
		Productores de residuo	Empresas forestales	GAF	Productores de residuo	Empresas Forestales	GAF
		MWh/ año	MWh/ año	MWh/ año	MWh/ año	%	%
Pinar del Río	7.087	927	1.203	1.297	764%	589%	547%
Artemisa	446	38	156	257	1178%	287%	174%
La Habana	0	0	0	827	0%	0%	0%
Mayabeque	178	17	142	174	1043%	125%	103%
Matanzas	965	114	210	896	844%	459%	108%
Cienfuegos	399	113	173	622	353%	230%	64%
Villa Clara	1.086	75	541	622	1444%	201%	175%
Sancti Spíritus	353	45	126	780	787%	281%	45%
Ciego de Avila	416	110	305	338	379%	136%	123%
Camagüey	389	44	345	392	893%	113%	99%
Las Tunas	336	66	150	184	510%	224%	183%
Granma	416	190	258	2.013	219%	161%	21%
Holguín	1.474	212	545	719	694%	271%	205%
Santiago de Cuba	1.509	201	783	2.194	750%	193%	69%
Guantanamo	835	189	572	1.571	443%	146%	53%
Isla de La Juventud	0	0	0	0	0%	0%	0%
Total	15.890	2.341	5.508	12.885	679%	289%	123%

Las provincias con mayores niveles de autoabastecimiento de sus empresas forestales (valores superiores al 250%) son Pinar del Río, Artemisa, Matanzas, Sancti Spiritus y Holguín. A nivel de la actividad del grupo empresarial en su conjunto las provincias con niveles de autoabastecimiento superiores al 150% son: Pinar del Río, Artemisa, Villa Clara, Las Tunas y Holguín. Figura 3.17.

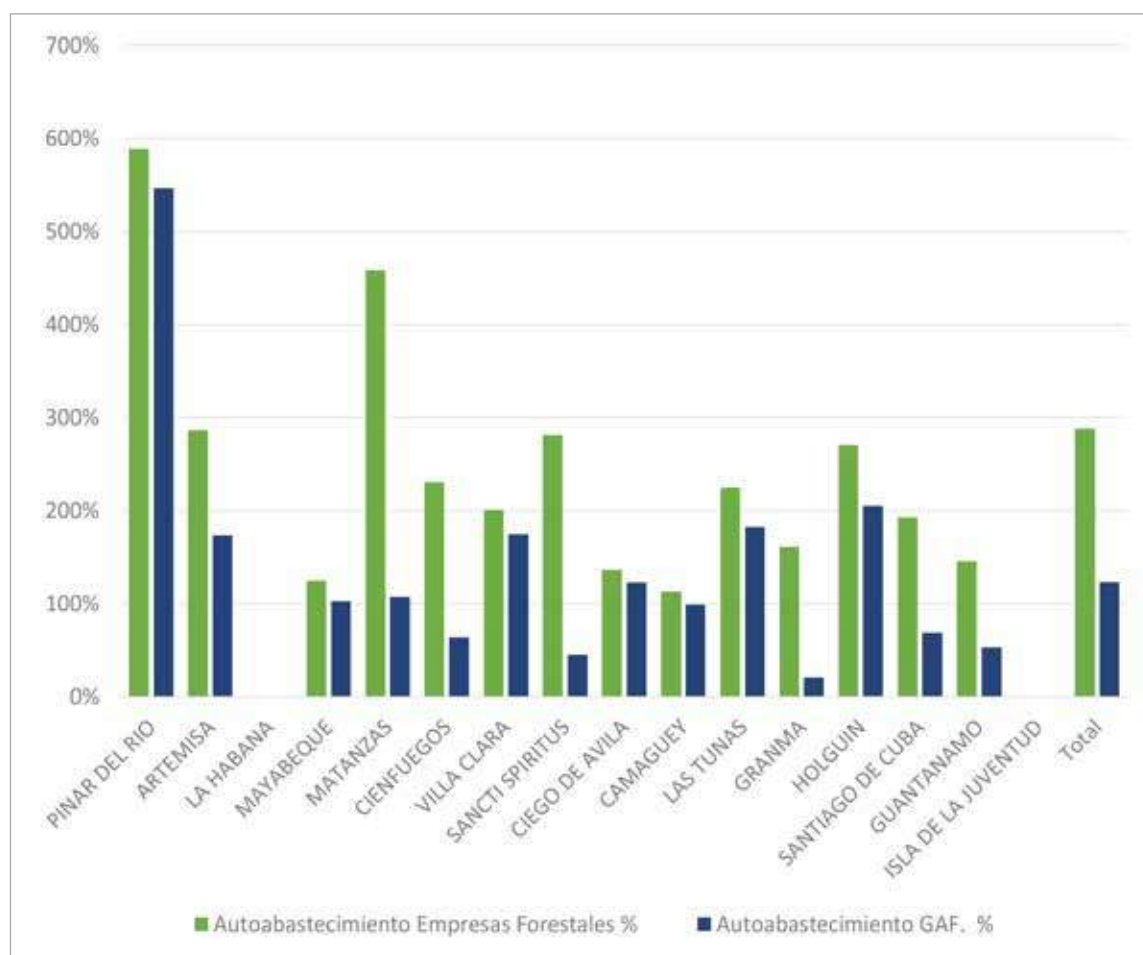
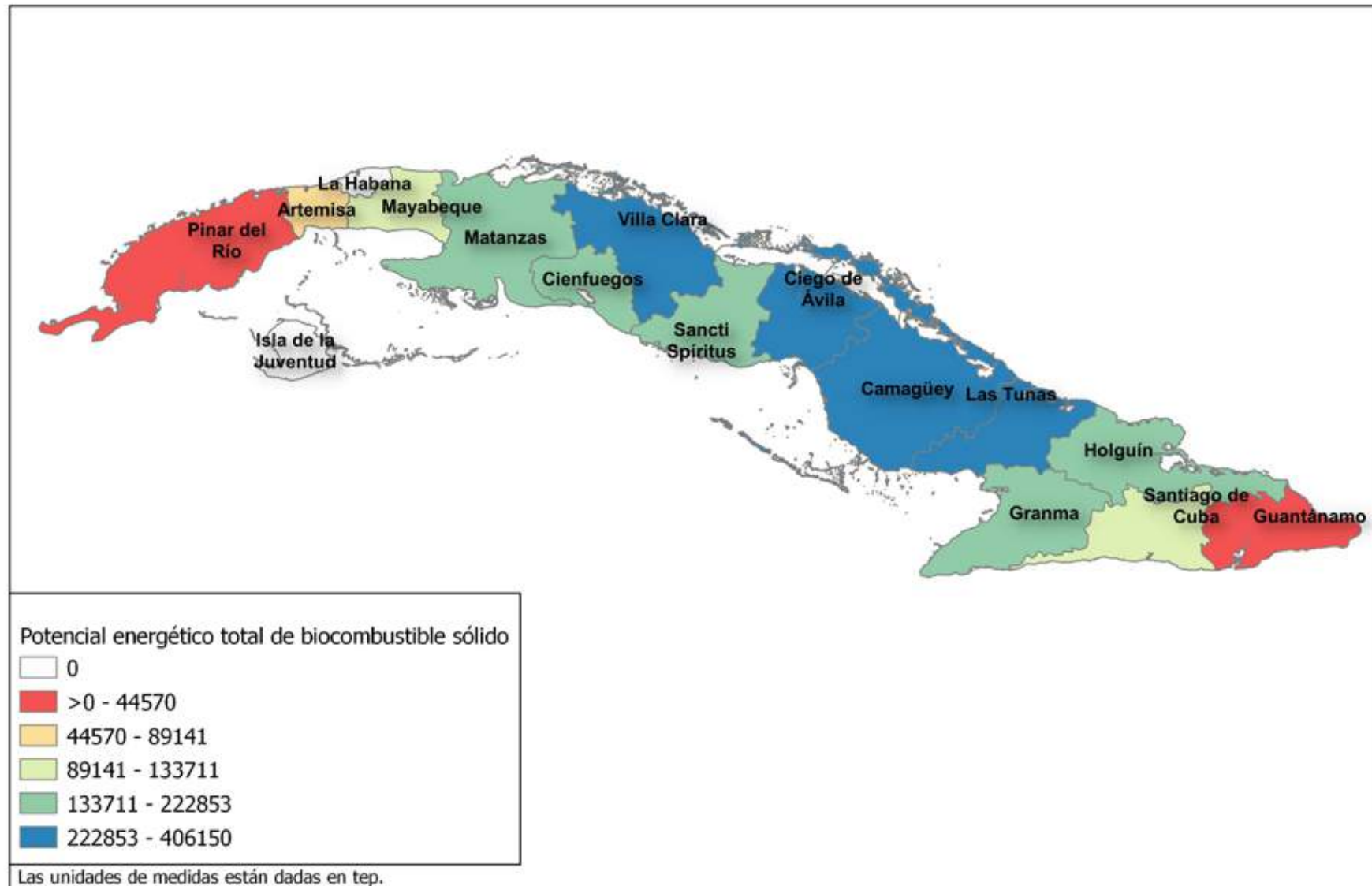
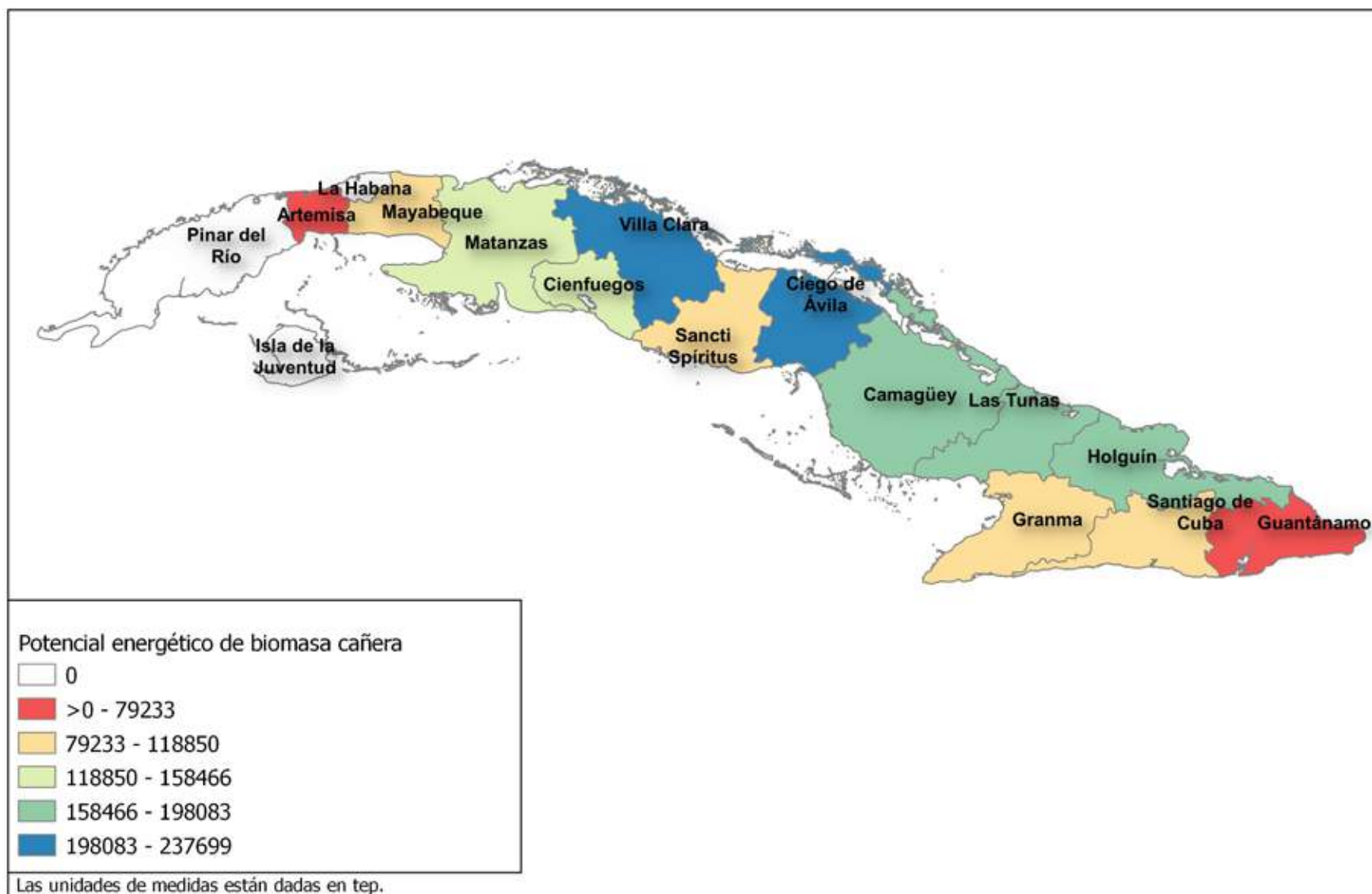


Figura 3.17 Autoabastecimiento eléctrico del sector forestal con residuos de aserradero.

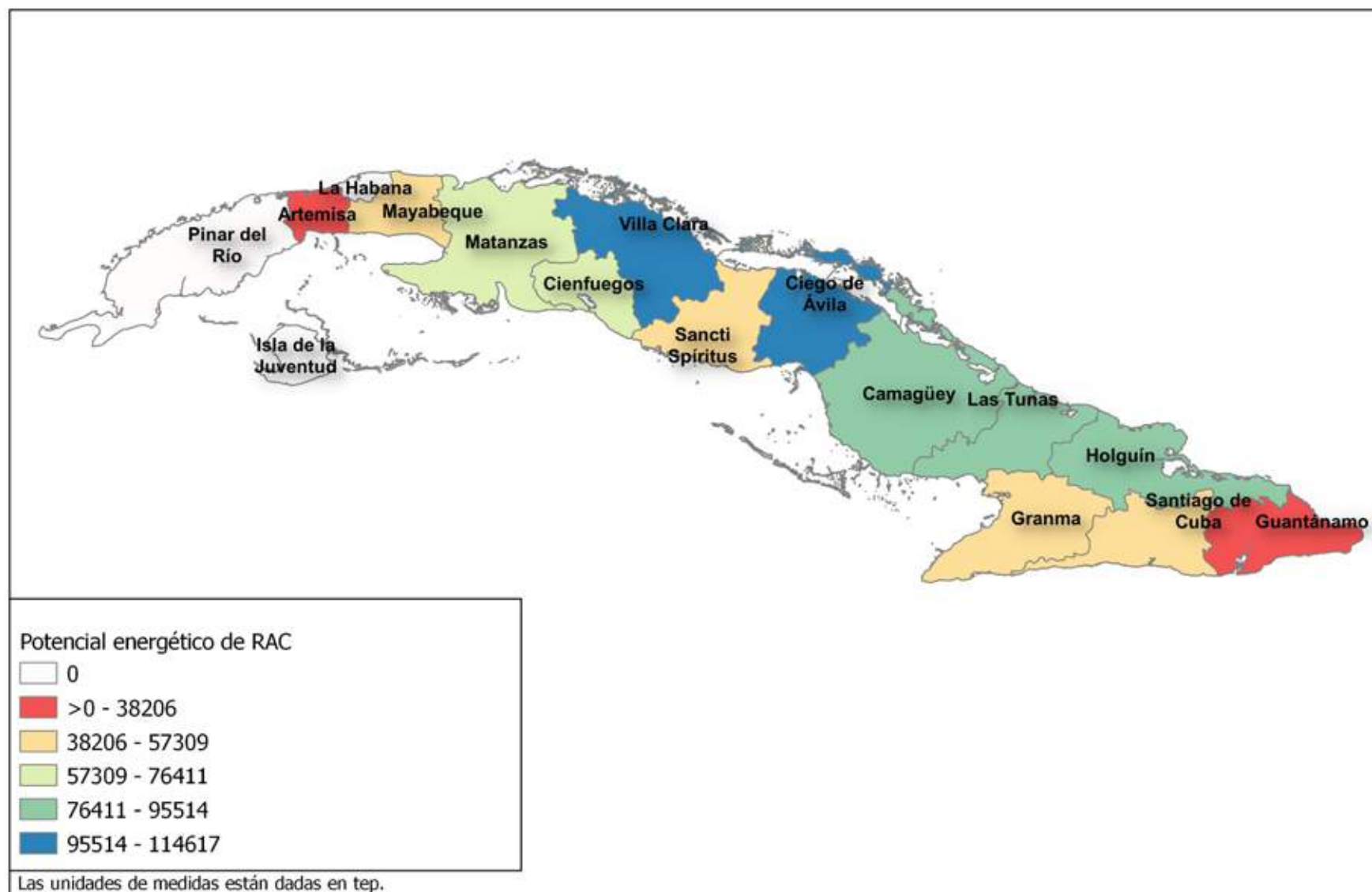
3.5. Mapas



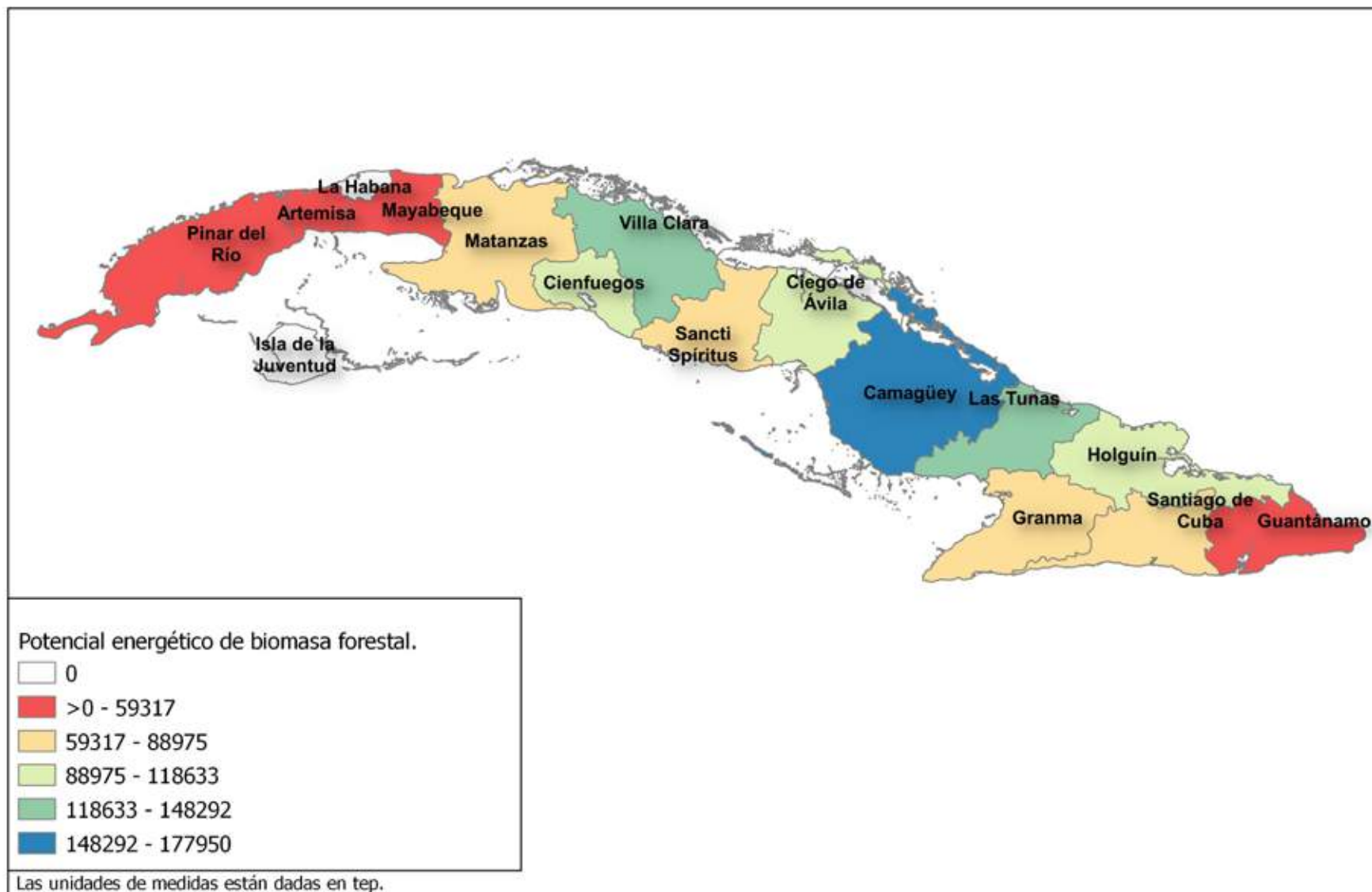
Mapa 3.5.1 Potencial energético total de biocombustible sólido



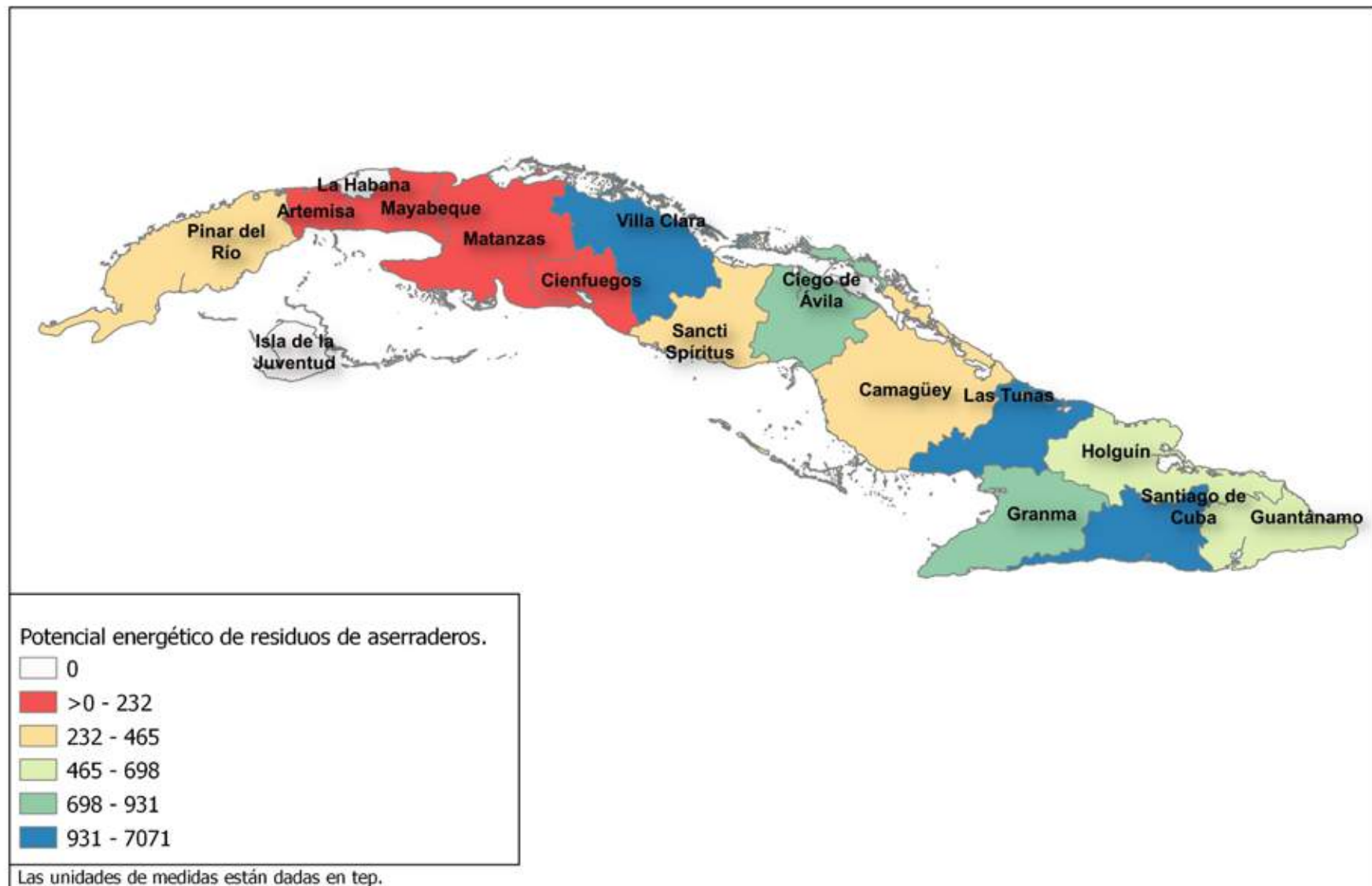
Mapa 3.5.2 Potencial energético de biomasa cañera



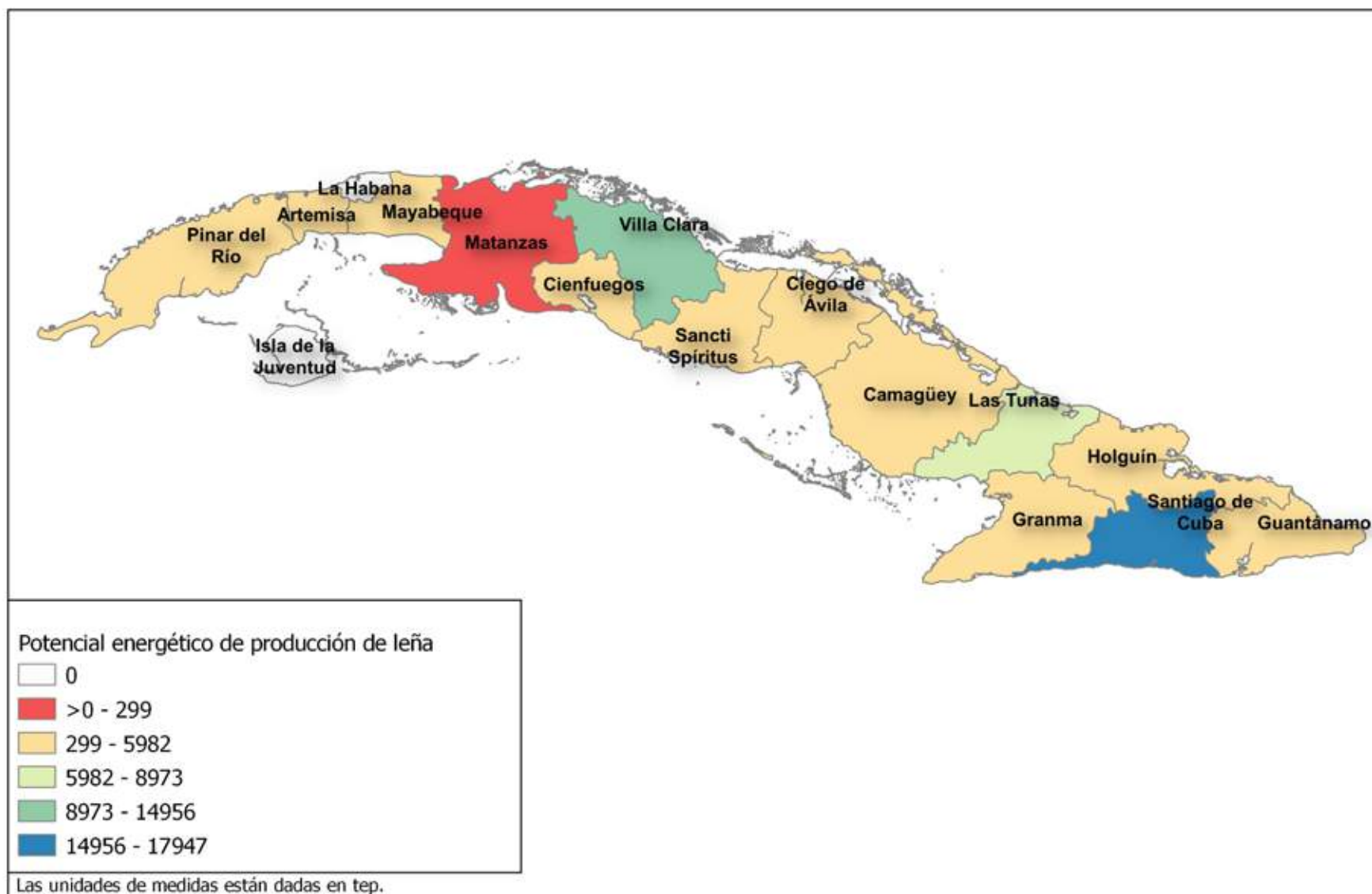
Mapa 3.5.3 Potencial energético de RAC



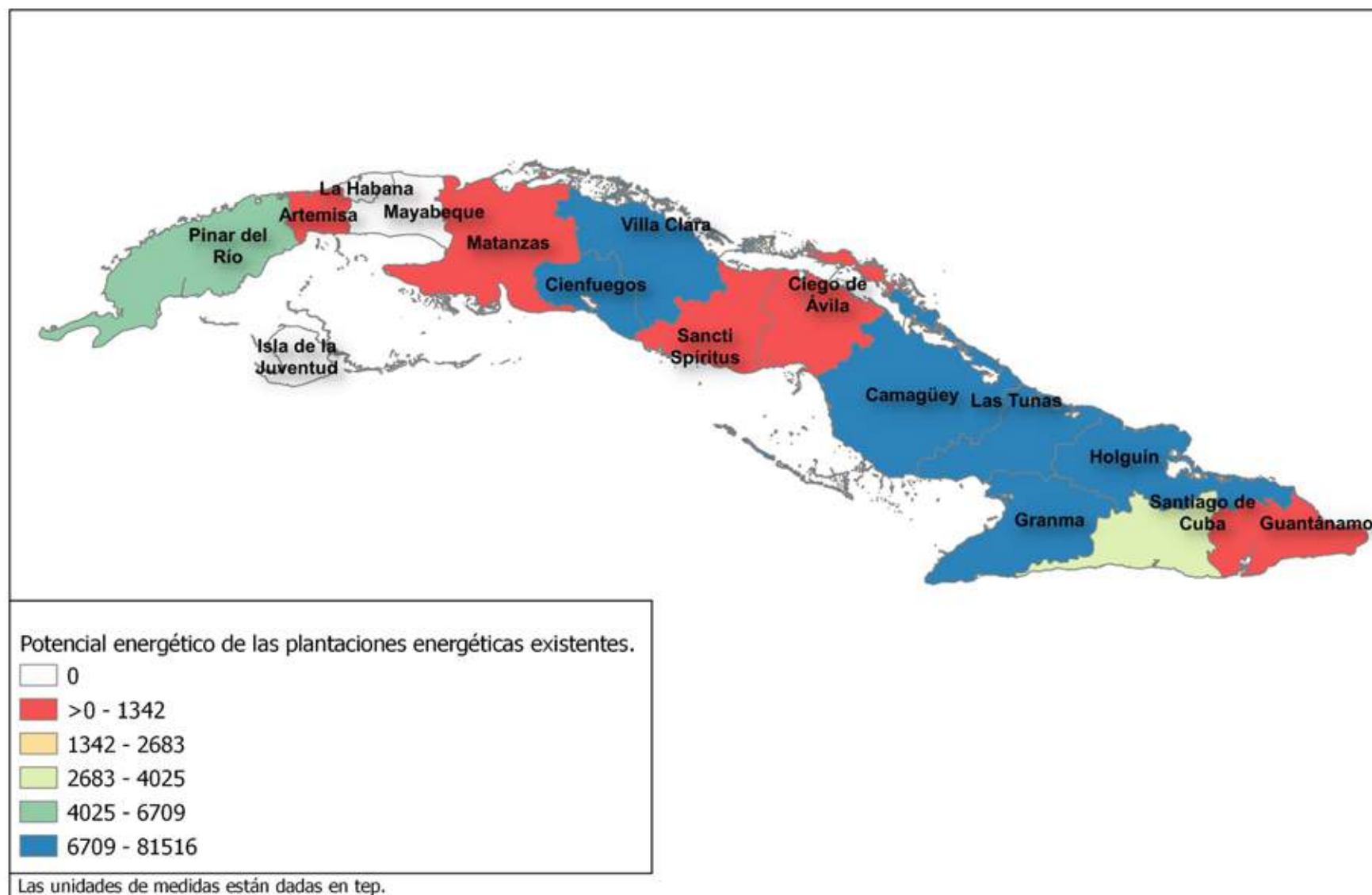
Mapa 3.5.4 Potencial energético de biomasa forestal



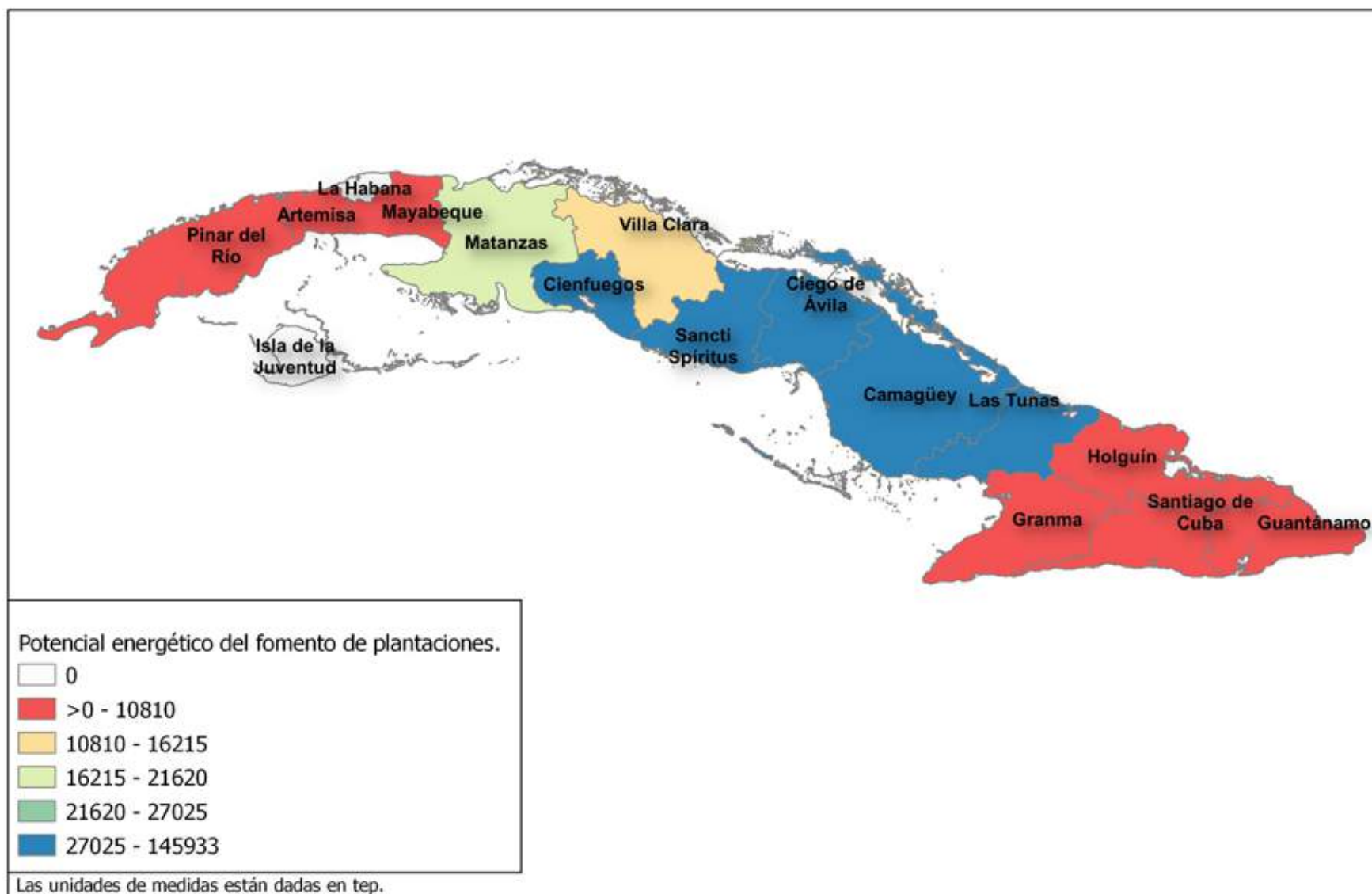
Mapa 3.5.5 Potencial energético de residuos de aserraderos



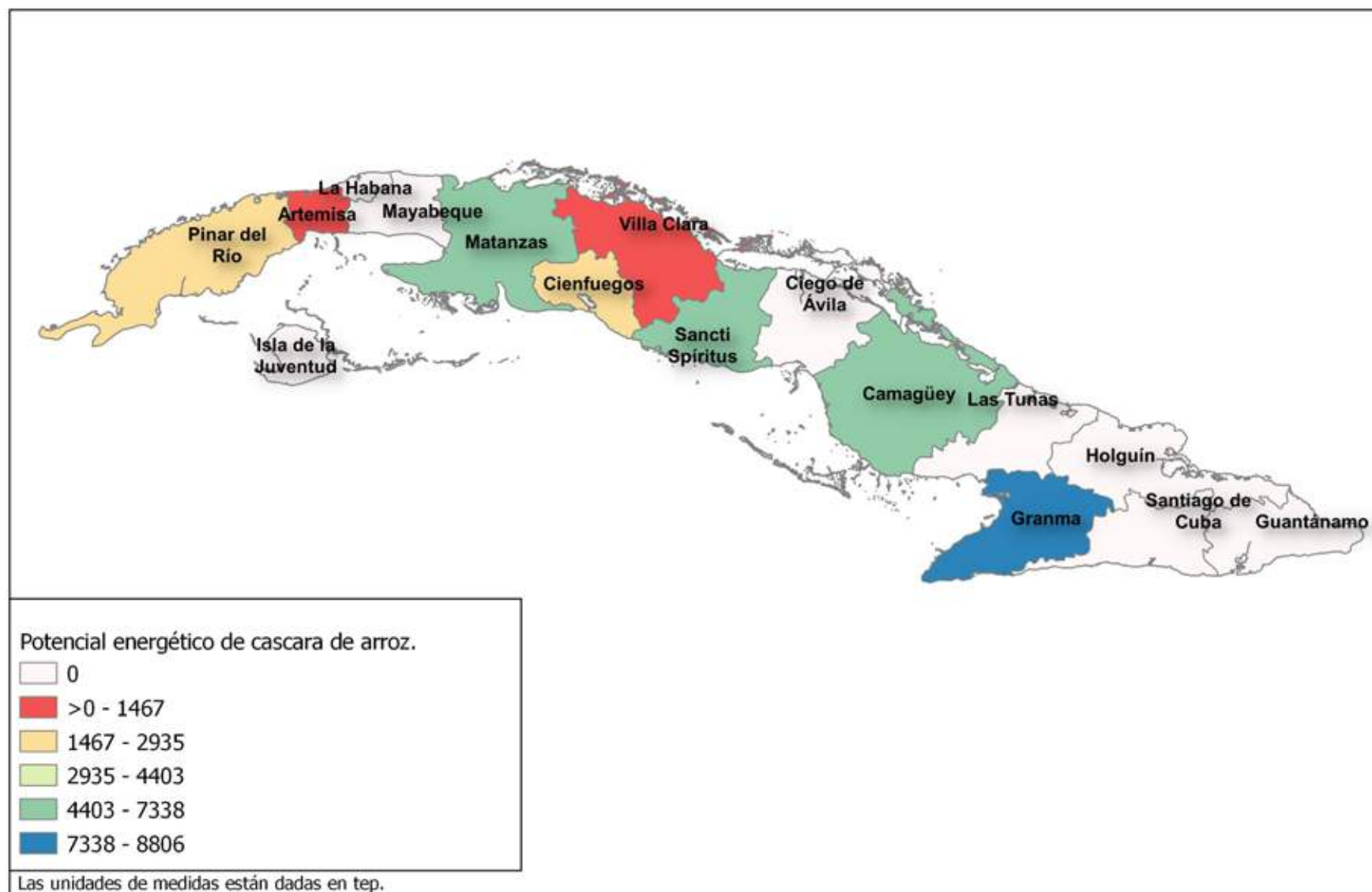
Mapa 3.5.6 Potencial energético de producción de leña



Mapa 3.5.7 Potencial energético de las plantaciones energéticas existentes



Mapa 3.5.8 Potencial energético del fomento de plantaciones



Mapa 3.5.9 Potencial energético de cáscara de arroz

Conclusiones

- La biomasa cañera es la principal fuente de biomasa para energía, representando el 73% del total. De ella el RAC, con un potencial disponible de 849868 tep, constituye el 48%.
- El potencial de la biomasa forestal asciende a 613969 tep, incluyendo el potencial asociado al fomento de 66231 ha de plantaciones energéticas, que aportarían el 62% del potencial total forestal.
- Las principales incertidumbres en estos resultados están relacionadas con el valor de los índices utilizados para calcular la fracción disponible para el uso como biocombustible del RAC total. Igualmente, las cifras reportadas del potencial de producción de leña, que son conservadoras, y las de la cantidad de biomasa existente en las plantaciones energéticas actuales que se basan en estimaciones.
- Los impactos potenciales más relevantes a obtener por el aprovechamiento de los recursos energéticos evaluados son:
 - Posibilidad de lograr un autoabastecimiento eléctrico del 123% del GAF utilizando los residuos de aserradero.
 - Potencial de sustitución de 72000 ton de fuel utilizadas en la producción de azúcar refino y de alcohol en la industria azucarera.
 - La sustitución del 100 % del diésel utilizado en el secado del arroz y de la electricidad consumida por esta industria.

- Sustituir el 100% del combustible utilizado en hornos y calderas en los tres sectores productivos considerados en este reporte.

En el caso del suministro de biomasa forestal como combustible al programa de bioeléctrica se estima que es posible cubrir el 70% de esta demanda aplicando un enfoque de mercados regionales.

CAPÍTULO 4. Impacto potencial de la bioenergía en la sustitución de portadores energéticos no renovables.

4.1. Introducción

En este capítulo se evalúa el impacto de la posible implementación de las potencialidades de generación de electricidad y sustitución combustibles fósiles identificadas previamente a partir del uso del biogás, el biodiésel y la biomasa forestal como portadores energéticos.

Esta evaluación se realiza por OSDE y provincia. Se muestra además, el potencial de reducción de emisiones de GEI resultante de la implementación de las oportunidades identificadas.

4.2. Impacto potencial del aprovechamiento de la bioenergía por sector productivo

4.2.1. Agroindustria azucarera

El principal portador energético que se utiliza en la industria azucarera es el bagazo, que constituye su principal fuente de energía en la producción de azúcar crudo. A partir de la cogeneración de calor y de electricidad con este combustible, se genera todo el vapor requerido para la producción de azúcar crudo y además electricidad. El vapor para la producción de azúcar refinado y los derivados se realiza con el uso del fuel oil y una parte del bagazo sobrante de la producción de azúcar crudo. Además, se consume diésel en la maquinaria agrícola y electricidad del SEN en la actividad agrícola cañera y agropecuaria.

Tabla 4.1

Tabla 4.1 Consumo de portadores energéticos en AZCUBA

Generación		Electricidad			Combustible			Total	
		Consumo		Hornos y calderas		Maquinaria agrícola			
		bruto	neto del SEN	Bagazo	fuel	Total	Diésel		
MWh/ año	tep/ año	MWh/ año	MWh/ año	tep/ año	tep/ año	tep/ año	tep/ año	Tep/ año	
670.440	57.741	731.391	60.951	5.249	912.643	72.470	985.113	39.464	1.029.826

La estructura de consumo de energía por portadores energéticos y uso final, muestra una agroindustria en la que el consumo de combustible en hornos y calderas tiene el peso predominante con más del 95% total. En este análisis solo se considera la electricidad neta consumida del SEN, pues el resto es generada con el propio bagazo utilizado como combustible. Hoy el grupo empresarial en su conjunto se autoabastece con fuentes renovables de energía en un 89% de su consumo total. En particular de electricidad en un 92% y de combustible para hornos y calderas en un 93%. Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Análisis del consumo de portadores energéticos

Estructura del consumo			Autoabastecimiento con renovable			
Electricidad	Hornos y calderas	Maquinaria agrícola	Electricidad	Hornos y calderas	Maquinaria agrícola	Total
%	%	%	%	%	%	%
0,5%	95,7%	3,8%	92%	93%	0	89%

El análisis realizado en los capítulos anteriores, demostró la potencialidad de incrementar la generación de electricidad del grupo empresarial utilizando con este fin el biogás producido como resultado del tratamiento anaerobio de los residuos orgánicos contaminantes de la actividad agropecuaria y de la producción de derivados, en particular de las destilerías de alcohol. Esta acción llevaría el autoabastecimiento eléctrico del grupo empresarial a un 126%, convirtiéndolo en un generador neto de electricidad.

La sustitución con el RAC disponible del fuel oil utilizado en las calderas de las refinerías de azúcar crudo y de la industria de derivados es totalmente factible. Las tecnologías para el empaquetamiento del RAC en pacas o cilindros, es comercial y utilizada internacionalmente. Se alcanza potencialmente una sustitución del 99% de este portador energético.

En su conjunto el abastecimiento energético del sector alcanzaría el 101%. Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Potencial de sustitución de portadores energéticos. AZCUBA

Electricidad			Combustible				Total
total	con biogás	con biomasa	Hornos y calderas		Maquinaria agrícola		
			total	con biogás	con biomasa	con biodiésel	
%	%	%	%	%	%	%	%
126%	34%	92%	99%	0%	99%	20%	101%

4.2.2. Industria alimentaria

La actividad productiva de la industria alimentaria está estructurada en cinco grupos empresariales, cada uno con una especialización productiva que define su estructura de consumo de portadores energéticos y la disponibilidad de residuales orgánicos que pueden ser utilizados para la producción de biogás.

El principal consumo de energía en este sector está asociado al consumo de combustible en hornos y calderas, que asciende a un 69% del total. De los cinco grupos empresariales, en tres de ellos este consumo representa más del 60% del consumo total y en los dos restantes es más del 40%. Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Consumo de portadores energéticos Industria alimentaria

Grupo empresarial	Consumos portadores				Estructura consumo portadores			
	Electricidad	combustible			Total	Electricidad	combustible	
		hornos y calderas	maquinaria agrícola				hornos y calderas	maquinaria agrícola
MWh/ año	tep/ año	tep/ año	tep/ año	tep/ año	%	%	%	
GE Alimentario	112.151	9.659	36.674	0	46.333	21%	79%	330%
GE Agro Alimentario	148.912	12.825	32.502	0	45.327	28%	72%	0%
GE Pesca	111.725	9.622	6.287	0	15.910	60%	40%	0%
CUBARON	17.262	1.487	1.142	0	2.629	57%	43%	0%
CORALSA	39.496	3.402	5.678	0	9.080	37%	63%	0%
Total	429.547	36.995	82.284	0	119.279	31%	69%	0%

El análisis realizado en los capítulos anteriores para este sector, se basó en destinar a la generación de electricidad la producción del biogás obtenido a partir del tratamiento anaerobio de los residuales orgánicos y utilizar la biomasa forestal como sustituto del combustible utilizado en los hornos y calderas. Para este último proceso hay un grupo de opciones disponibles: la sustitución de las calderas de vapor deterioradas por nuevas calderas de biomasa y en el caso de las que están en regular o buen estado técnico, la integración de las calderas a sistemas de gasificación de biomasa o la introducción de quemadores duales de biomasa en sustitución de los quemadores de combustible fósil.

El resultado obtenido muestra que el potencial de sustitución de la electricidad consumida en el grupo empresarial utilizando el potencial de biogás a partir del tratamiento anaerobio de los residuales es solo de un 6%. La excepción es el grupo CUBARON, que debido a las destilerías de alcohol está en condiciones de generar por esta vía hasta el 93% de la electricidad consumida. En el caso de la sustitución del combustible utilizado en hornos y calderas, se demostró la posibilidad de disponer la biomasa forestal suficiente para sustituir el 100% del mismo en el capítulo correspondiente de este reporte.

El total de sustitución del consumo de portadores energético de origen fósil en la Industria alimentaria llega a un 71%, sobresaliendo el caso de CUBARON con un 96%. Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Potencial de sustitución de portadores Industria Alimentaria**4.2.3. Sector Agrícola y forestal**

OSDE	Electricidad			Combustible				Total
	total	con biogás	con biomasa	hornos y calderas			maquinaria agrícola	
				total	con biogás	con biomasa	con biodiésel	
%	%	%	%	%	%	%	%	
GE Alimentario	1%	1%	0%	100%	0%	100%	0%	79%
GE Agroalimentario	5%	5%	0%	100%	0%	100%	0%	73%
GE Pesca	5%	5%	0%	100%	0%	100%	0%	46%
CUBARON	93%	93%	0%	100%	0%	100%	0%	96%
CORALSA	4%	4%	0%	100%	0%	100%	0%	64%
Total	6%	6%	0%	100%	0%	100%	0%	71%

Este sector se caracteriza por la diversidad de sus grupos empresariales en cuanto al consumo de portadores energéticos. Para el sector en su conjunto, el consumo de combustible en la maquinaria agrícola acumula el 64% del total, situación que es común con el grupo ganadero (GEGAN) y el agrícola (GAG). El consumo de energía en el grupo agroforestal (GAF) está determinado por la electricidad, mientras que LABIOFAM y TABACUBA por el consumo de combustible en hornos y calderas, aunque en este último grupo el consumo de combustible en la maquinaria agrícola también es significativo. Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Consumo de portadores energéticos Sector Agrícola y Forestal

Esta diversidad hace que el potencial de autoabastecimiento con bioenergía sea diferente

Grupo empresarial	consumos portadores				estructura consumo portadores			
	Electricidad		combustible		Total	combustible		
			hornos y calderas	maquinaria agrícola		Electricidad	hornos y calderas	maquinaria agrícola
	MWh/ año	tep/ año	tep/ año	tep/ año	tep/ año	%	%	%
GEGAN	65.414	5.634	494	18.700	24.828	23%	2%	75%
GAG	217.498	18.732	5.199	63.920	87.851	21%	6%	73%
GAF	49.573	4.269	0	1.318	5.588	76%	0%	24%
TABACUBA	9.894	852	5.595	4.930	11.377	7%	49%	43%
LABIOFAM	12.885	1.110	8.619	0	9.729	11%	89%	0%
Total	355.264	30.597	19.906	88.869	139.372	22%	14%	64%

en cada caso. En su conjunto este sector tiene el potencial de alcanzar un autoabastecimiento energético de un 57%. Hay tres grupos empresariales con un potencial superior al 85%. Se destaca el potencial de autoabastecimiento eléctrico con biogás en el GEGAN y el GAG. En el caso del GAF, el uso de los residuos de aserraderos tiene un potencial de generación de electricidad que le permite después de autoabastecerse entregar un excedente al SEN. En relación con la sustitución del uso de combustible fósil en hornos y calderas, a excepción del GAG que utilizaría la cáscara de arroz, el resto de los grupos empresariales estaría basado en el uso de biomasa forestal con este fin. Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Potencial de sustitución de portadores Sector Agrícola y Forestal

OSDE	Electricidad			Combustible				Total
	total	con biogás	con biomasa	hornos y calderas			maquinaria agrícola	
				total	con biogás	con biomasa	con	
							biodiésel	
%	%	%	%	%	%	%	%	
EGGAN	365%	365%	0%	100%	0%	100%	20%	100%
GAG	81%	63%	18%	100%	0%	100%	20%	38%
GAF	123%	0%	123%	0%	0%	0%	20%	99%
TABACUBA	0%	0%	0%	100%	0%	100%	20%	58%
LABIOFAM	0%	0%	0%	100%	0%	100%	20%	89%
Total	135%	118%	17%	100%	0%	100%	20%	57%

En resumen el potencial de sustitución de portadores energéticos con bioenergía en los tres sectores estudiados asciende a 735899 MWh/año y 242916 tep. Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Resumen del potencial de sustitución de portadores energéticos con fuente de bioenergía

Sector	Electricidad			Combustible	
	MWh/año	Hornos y calderas		Maquinaria agrícola	
		tep/año	tep/año	tep/año	tep/año
AZCUBA	228.031	71.983		7.893	
Industria Alimentaria	27.658	119.279			
Sector agrícola y forestal	480.210	19.906		23.856	
Total	735.899	211.167		31.748	

4.3. Impacto territorial de la sustitución de portadores energéticos con bioenergía

El análisis de la distribución por provincia del consumo de portadores energéticos en los tres sectores considerados, permite establecer prioridades para lograr avanzar en la sustitución de los mismos. Se identifican 6 provincias con un consumo anual de portadores

energéticos superior a las 30000 tep. Estas son: Villa Clara, Camagüey, Matanzas, Granma, Cienfuegos y Santiago de Cuba. Figura 4.1.

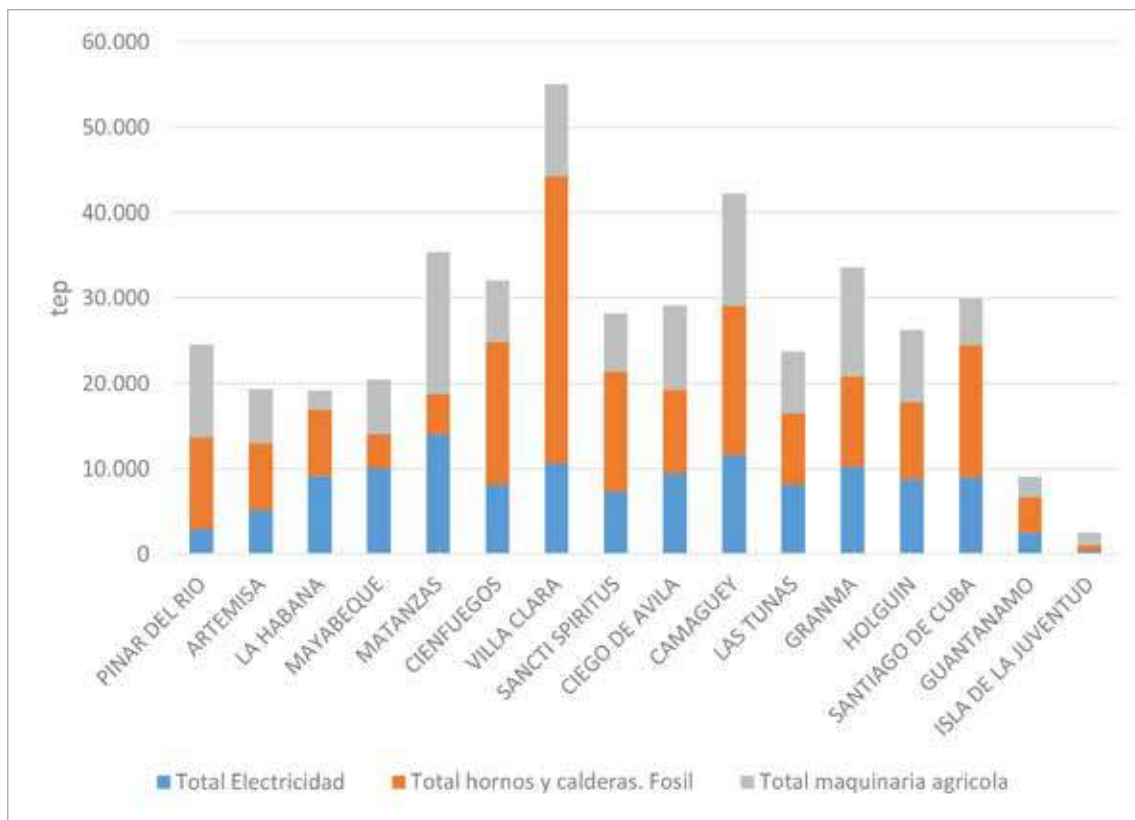


Figura 4.1 Consumo de portadores energéticos por provincia.

El consumo de electricidad es predominante en las provincias de la Habana y Mayabeque. El uso de combustibles en hornos y calderas representan el mayor consumo en 8 provincias: Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus, Camagüey, Las Tunas, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo. El combustible utilizado en la maquinaria agrícola es la mayor componente del consumo total de portadores energéticos en 4 provincias: Pinar del Río, Matanzas, Ciego de Ávila y Granma y en el Municipio Especial isla de la Juventud. Figura 4.2.

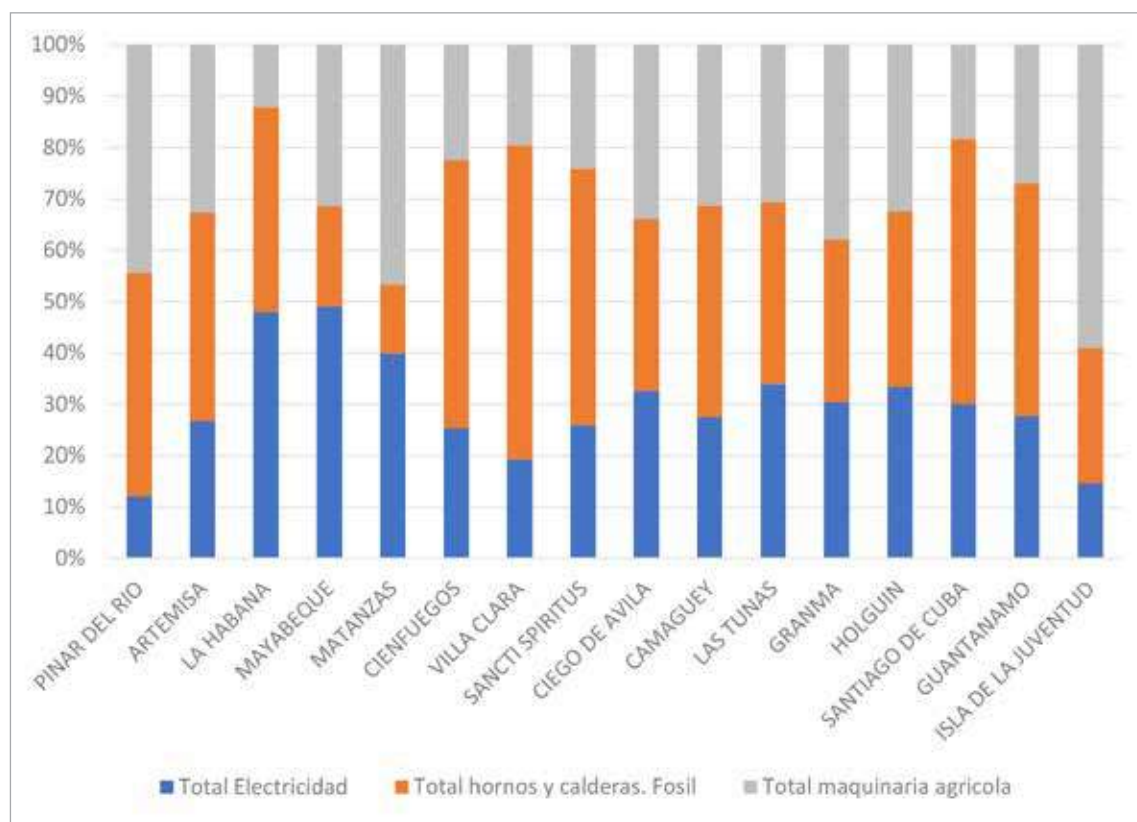


Figura 4.2 Estructura del consumo de portadores energéticos por provincia.

La contribución de los tres sectores estudiados al consumo de portadores energéticos por provincia se caracteriza por su variabilidad. El consumo de electricidad del sistema eléctrico nacional tiene como mayor consumidor a AZCUBA en 9 provincias: Artemisa, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Granma, Holguín y Guantánamo. El sector agrícola y forestal predomina en Mayabeque y Matanzas y el de la industria alimentaria en La Habana y Santiago de Cuba y en el Municipio Especial Isla de la Juventud. Figura 4.3.

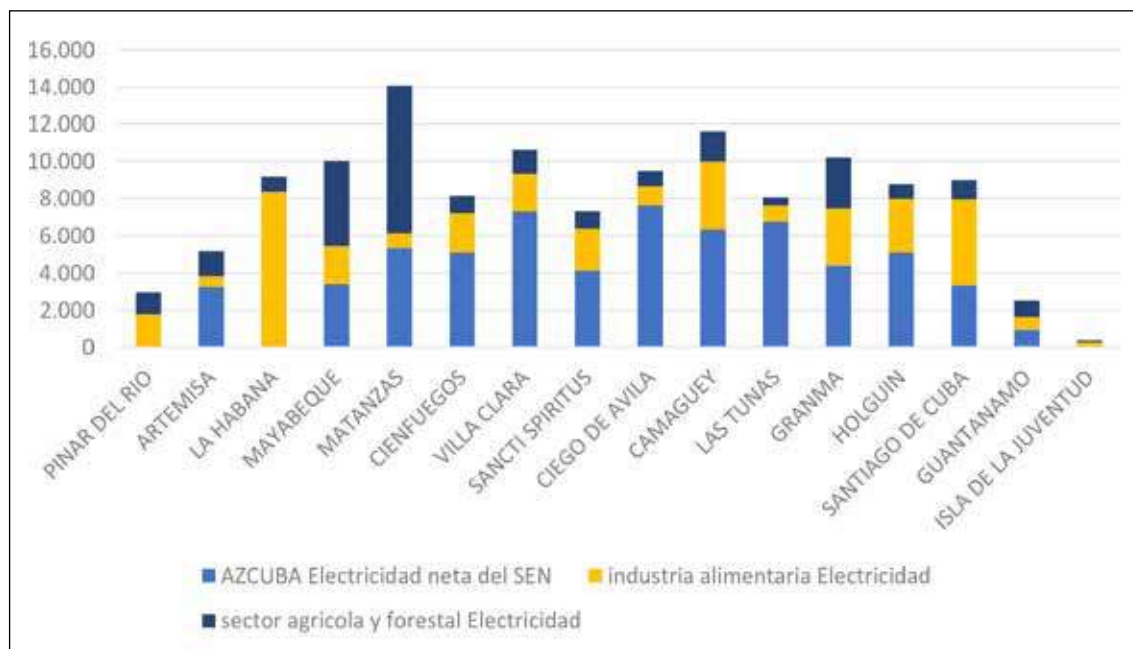


Figura 4.3 Estructura del consumo de electricidad del SEN por sector productivo y provincia.

La participación de AZCUBA en el consumo de combustible en hornos y calderas es determinante en las provincias de Matanzas, Villa Clara, Camagüey y Las Tunas. La industria alimentaria es el sector consumidor mayoritario en Pinar del Río, La Habana, Sancti Spíritus, Granma, Holguín, Santiago de Cuba, Guantánamo y el Municipio Especial Isla de la Juventud. El sector forestal y agrícola es el mayor consumidor en Cienfuegos. Figura 4.4.

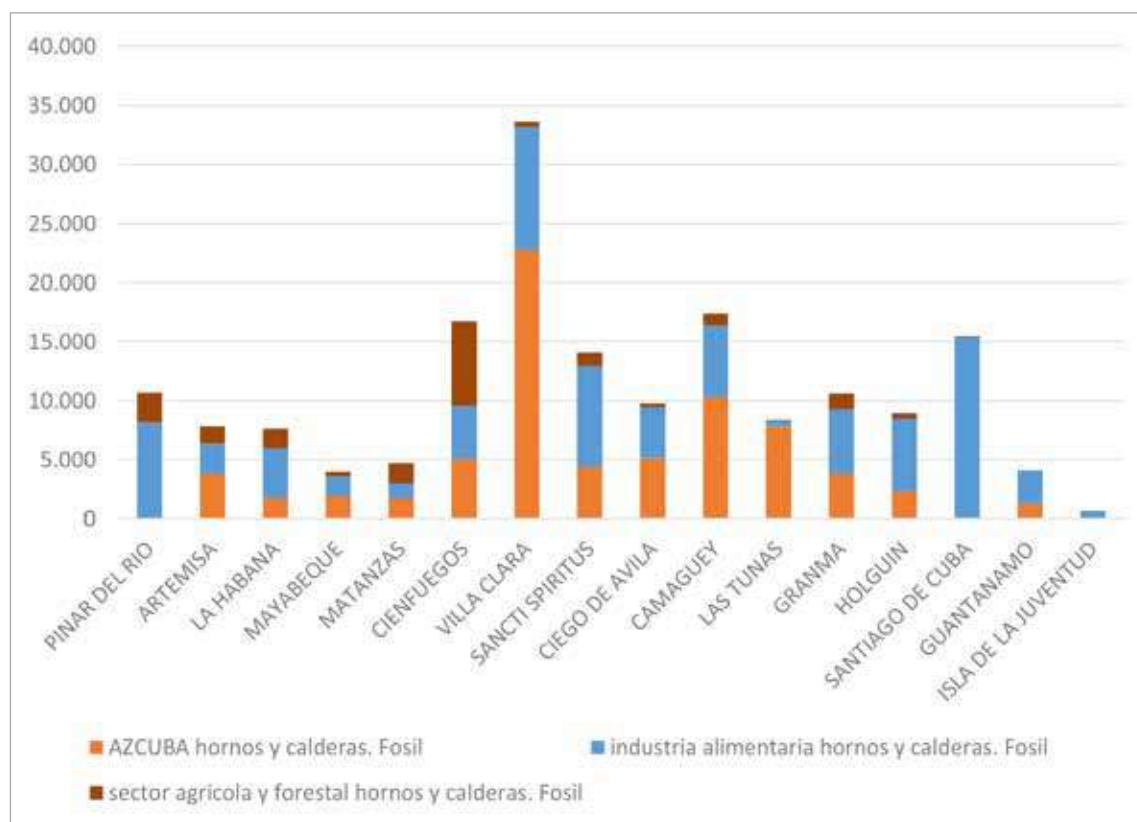


Figura 4.4 Estructura del consumo de combustible fósil en hornos y calderas por sector productivo y provincia.

La distribución territorial del consumo de combustible en la maquinaria agrícola se caracteriza por el predominio del sector agrícola y forestal, en todas las provincias excepto en Las Tunas. Figura 4.5.

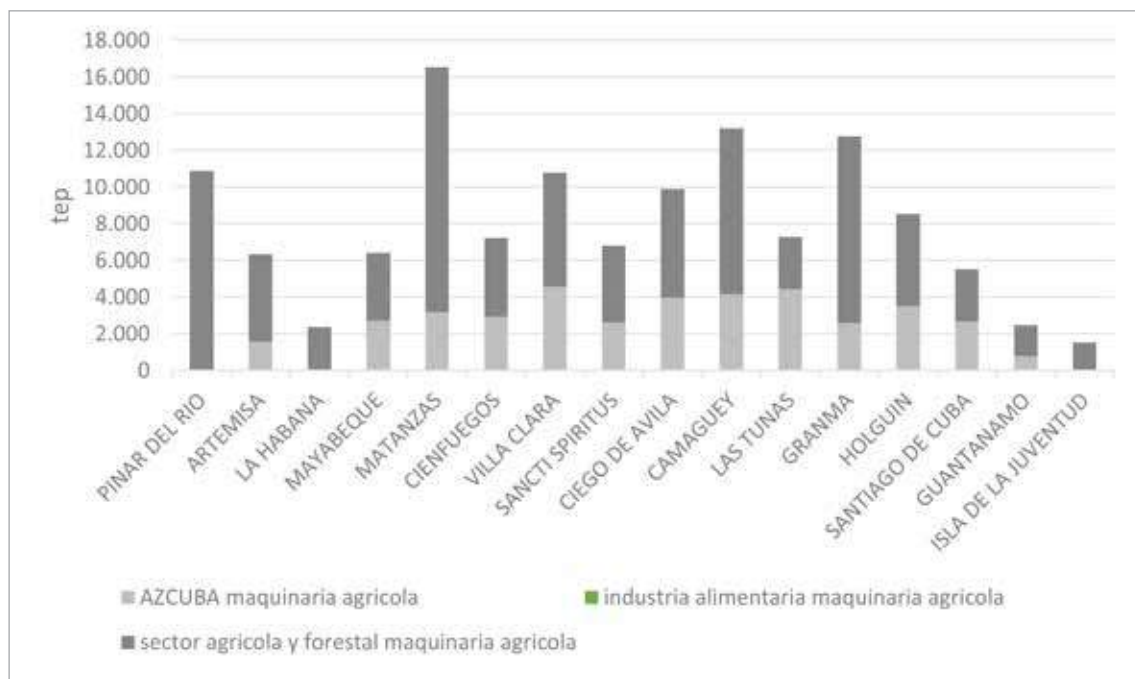


Figura 4.5 Estructura del consumo de combustible en maquinaria agrícola por sector productivo y provincia.

La disponibilidad de fuentes de bioenergía para sustituir total o parcialmente el uso de portadores energéticos de origen fósil, permite que a nivel nacional exista un potencial de abastecimiento energético con estas fuentes del 89% del consumo de energía de los tres sectores considerados. Se destacan por tener un potencial superior al 95% las provincias de Cienfuegos Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Las Tunas y Holguín. Figura 4.6.

El potencial de sustitución del combustible diésel en la maquinaria agrícola se limita a un 20%, el del combustible que se utiliza en hornos y calderas es del 100% prácticamente en todas las provincias, el de autoabastecimiento eléctrico difiere sensiblemente de provincia a provincia. Tienen el potencial de lograr más de un 100% de autoabastecimiento eléctrico por los tres sectores en su conjunto las provincias de Pinar del Río, Artemisa, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas y Holguín. Figura 4.7.

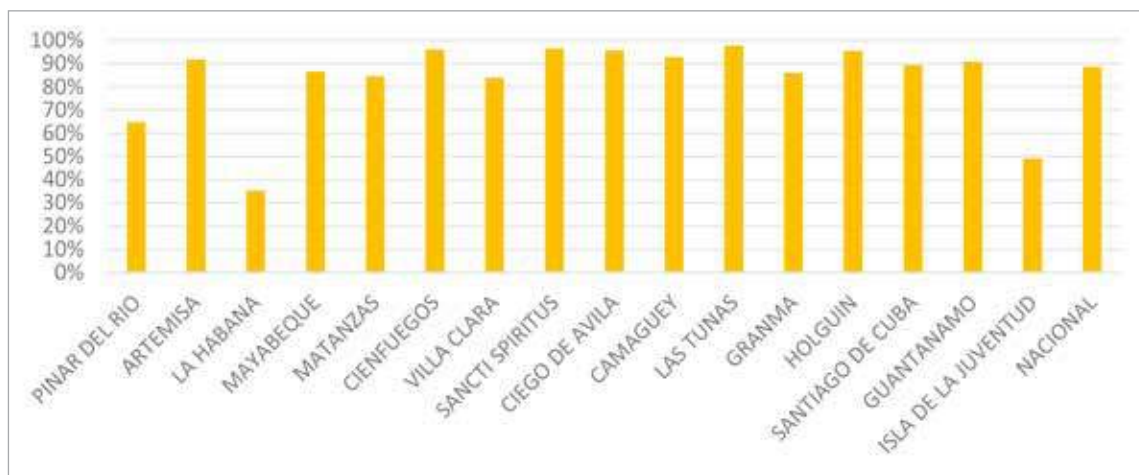


Figura 4.6 Estructura del consumo de combustible fósil en hornos y calderas por sector productivo y provincia.

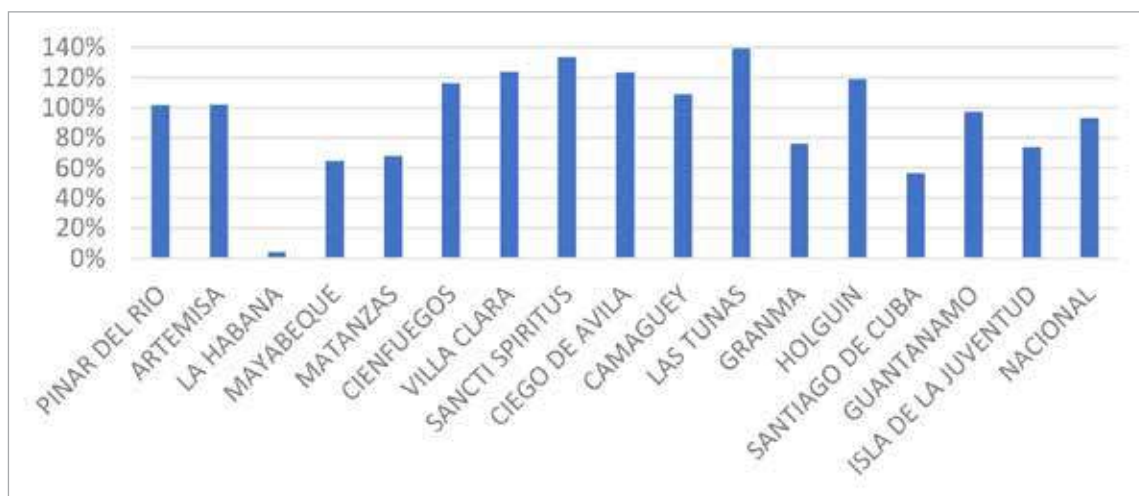


Figura 4.7 Potencial de autoabastecimiento eléctrico con fuentes de bioenergía

4.4. Contribución a la reducción de emisiones.

El uso energético de la biomasa tiene como particularidad que es neutro en la emisión de GEI. Esto es debido a que el carbono emitido a la atmosfera durante los procesos de combustión fue previamente extraído de la atmosfera por la planta para asegurar su crecimiento. Pero las emisiones de GEI asociadas al consumo de combustibles y electricidad de origen fósil durante las actividades de producción, transformación y transportación de la biomasa como combustible si se deben tener en cuenta.

Para este cálculo se utilizaron los factores de emisión por la combustión directa de los combustibles en fuentes móviles¹ y fijas² reportados por el IPCC tabla 4.9. El factor de emisión del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), se determinó utilizando los factores de emisión como fuentes fijas de los combustibles utilizados por el SEN y la participación de las mismas en la generación eléctrica en el país³.

Tabla 4.9 Índice de emisión de GEI

Actividad	Factor de emisión	
Sustitución de diésel por biodiésel en la maquinaria agrícola	3,37	kg CO ₂ eq/kg de diésel
Sustitución del diésel en hornos y calderas	3,37	kg CO ₂ eq/kg de diésel
Sustitución de fuel oil en calderas por biomasa sólida	3,55	kg CO ₂ eq/kg de fuel oil
Generación de electricidad para el SEN	0,91	kg CO ₂ eq/kWh

Utilizando los factores de emisión de la tabla 4.8 y los resultados del potencial de utilización de las fuentes de bioenergía en cada grupo empresarial se calcularon las emisiones evitadas de GEI para cada uno de ellos (tabla 4.9). El valor total de la reducción de emisiones es de 1.315.583 ton CO₂/año, correspondiendo el 49% a las emisiones evitadas por la generación de electricidad con bioenergía. Se desatacan por su potencial de reducir las emisiones de GEI por encima de las 100 000 ton CO₂/año los grupos empresariales AZCUBA, GE Alimentario, el GE Alimentario, el GEGAN y el GAG. (tabla 4.10)

¹ Fomento de Plantaciones Energéticas Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2 Energía. Capítulo 3. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf

² Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2 Energía. Capítulo 2. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf

³ Capítulo 10. Anuario Estadístico de Cuba 2016. ONEI. 2017.

Tabla 4.10 Reducción de emisiones por el aprovechamiento del potencial de bioenergía identificado. Por OSDE.

Sector productivo/ OSDE	Generación de electricidad con bioenergía	Sustitución combustible en hornos y calderas con biomasa sólida	Sustitución de diésel con biodiésel	Total
	ton CO ₂ /año	ton CO ₂ /año	ton CO ₂ /año	ton CO ₂ /año
AZCUBA	226.373	230.974	25.436	482.784
Sector Industria alimentaria	25.169	288.655	0	313.824
GE Alimentario	527	128.655	0	129.183
GE Agroalimentario	6.242	114.018	0	120.260
GE Pesca	2.468	22.056	0	24.524
CUBARON	14.600	4.007	0	18.606
CORALSA	1.332	19.919	0	21.251
Sector agrícola y forestal	391.863	69.832	57.280	518.975
GEGAN	216.987	1.733	12.053	230.773
GAG	160.416	18.237	41.200	219.853
GAF	14.460	0	850	15.310
TABACUBA	0	19.626	3.178	22.804
LABIOFAM	0	30.235	0	30.235
Total	643.405	589.461	82.717	1.315.583

La contribución de los usos finales de la bioenergía al potencial de reducción de las emisiones de GEI varía de sector a sector productivo. Así la generación de electricidad constituye la actividad de mayor contribución en el sector agrícola y forestal, la sustitución de combustibles fósiles en calderas predomina en la industria alimentaria y en AZCUBA tienen prácticamente el mismo peso mayoritario la sustitución de combustible en hornos y calderas y la generación de electricidad. Figura 4.8.

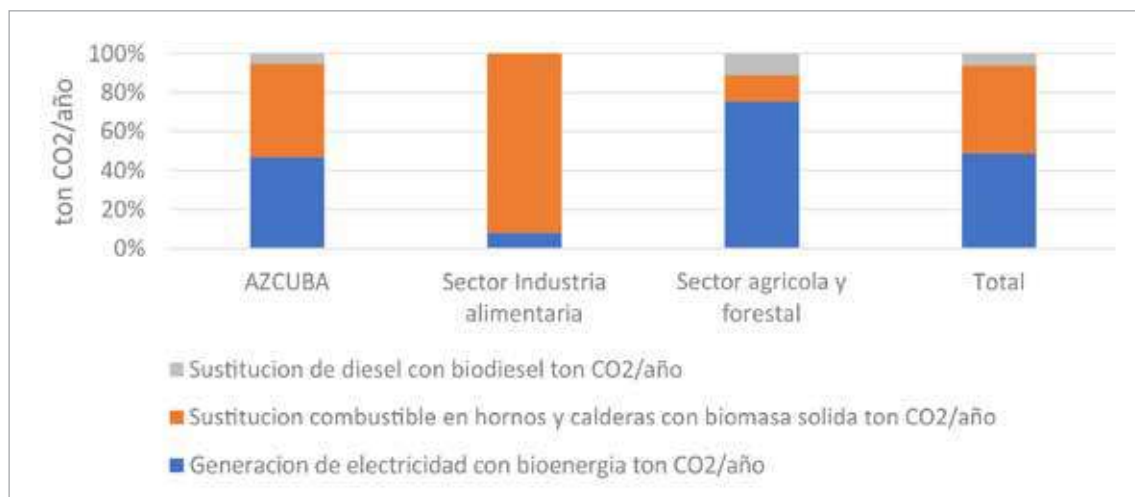


Figura 4.8 Estructura de la reducción de emisiones de GEI por uso final de la fuente de bioenergía y por Sector Productivo

La contribución del sector agrícola y forestal al potencial de reducción de emisiones de GEI, es del 40% y el de AZCUBA del 36%. La distribución del potencial de reducción de emisiones de GEI por provincia muestra que las provincias de Villa Clara, Camagüey, Sancti Spíritus y Cienfuegos acumulan el 40% del total, cada una con valores superiores a las 100000 ton CO₂/año. Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Reducción de emisiones por el aprovechamiento del potencial de bioenergía identificado. Por provincia.

Provincia	Generación de electricidad con bioenergía	Sustitución combustible en hornos y calderas con biomasa sólida	Sustitución de diésel en maquinaria agrícola con biodiésel	Total
	ton CO ₂ /año	ton CO ₂ /año	ton CO ₂ /año	ton CO ₂ /año
Pinar del Río	31.762	37.496	7.004	76.263
Artemisa	28.766	27.537	4.072	60.374
La Habana	4.221	20.606	1.513	26.341
Mayabeque	42.662	14.029	4.130	60.820
Matanzas	53.921	16.568	10.652	81.140
Cienfuegos	45.714	58.623	4.655	108.993
Villa Clara	60.398	100.953	6.938	168.290
Sancti Spiritus	60.831	49.391	4.388	114.610
Ciego de Ávila	44.457	34.209	6.367	85.033
Camagüey	70.140	61.000	8.508	139.648
Las Tunas	51.178	29.385	4.679	85.243
Granma	45.951	37.351	8.219	91.521
Holguín	58.366	31.394	5.492	95.253
Santiago de Cuba	23.974	54.132	3.548	81.655
Guantánamo	18.178	14.436	1.585	34.199
Isla de La Juventud	2.885	2.352	965	6.202
Nacional	643.405	589.461	82.717	1.315.583

Por el aporte de los usos finales de las fuentes de bioenergía al potencial de reducción de emisiones de GEI, es predominante la sustitución del uso de combustible fósil en hornos y calderas en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Cienfuegos, Villa Clara y Santiago de Cuba. En el resto de las provincias y el Municipio Especial Isla de la Juventud, es la generación de electricidad la actividad predominante. Figura 4.9.

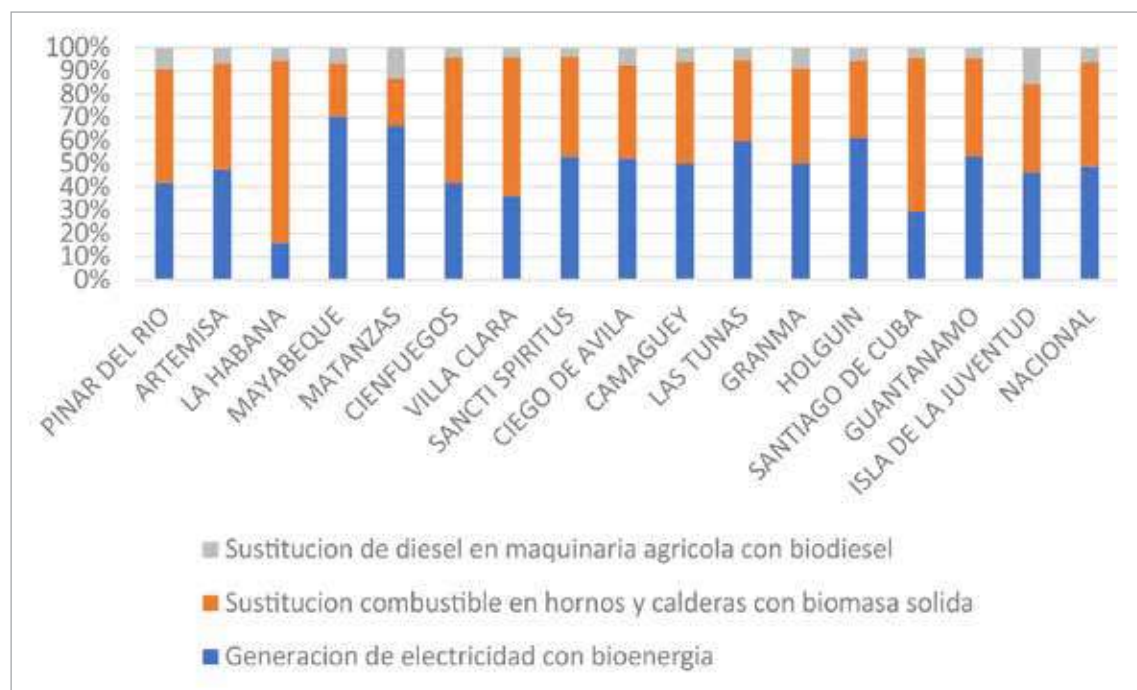
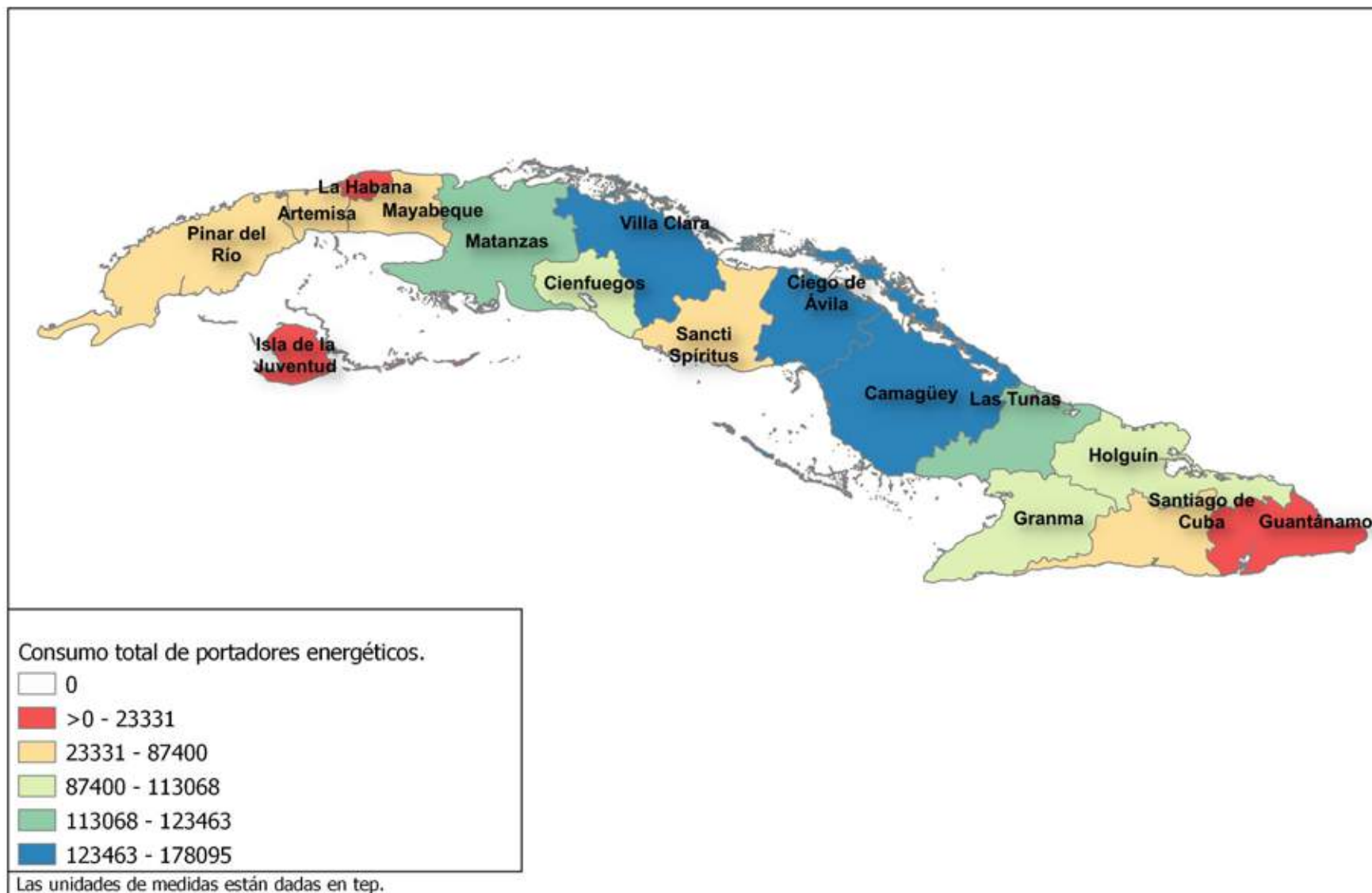
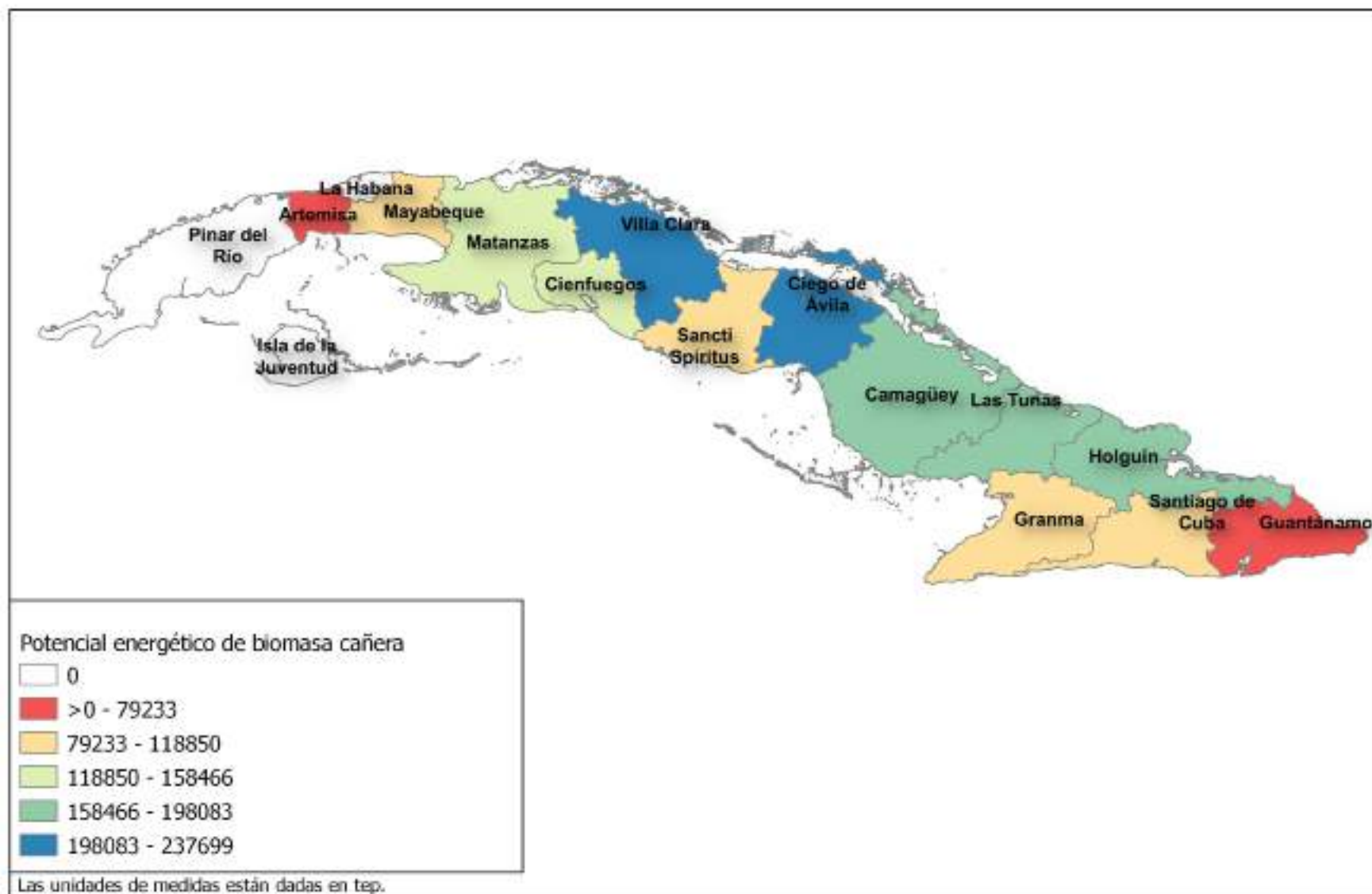


Figura 4.9 Estructura de la reducción de emisiones de GEI por uso final de la fuente de bioenergía y por Sector Productivo.

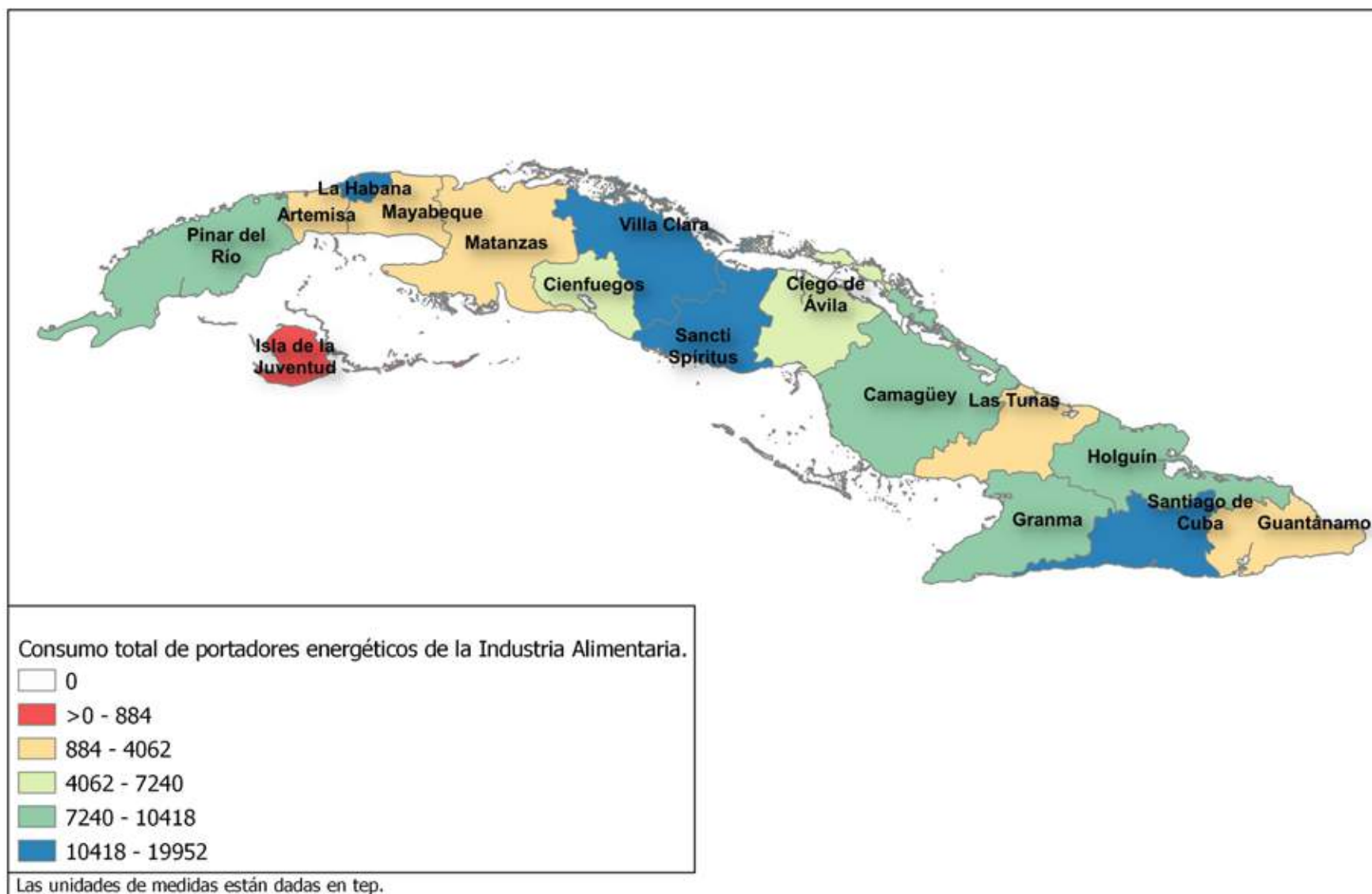
4.5. Mapas



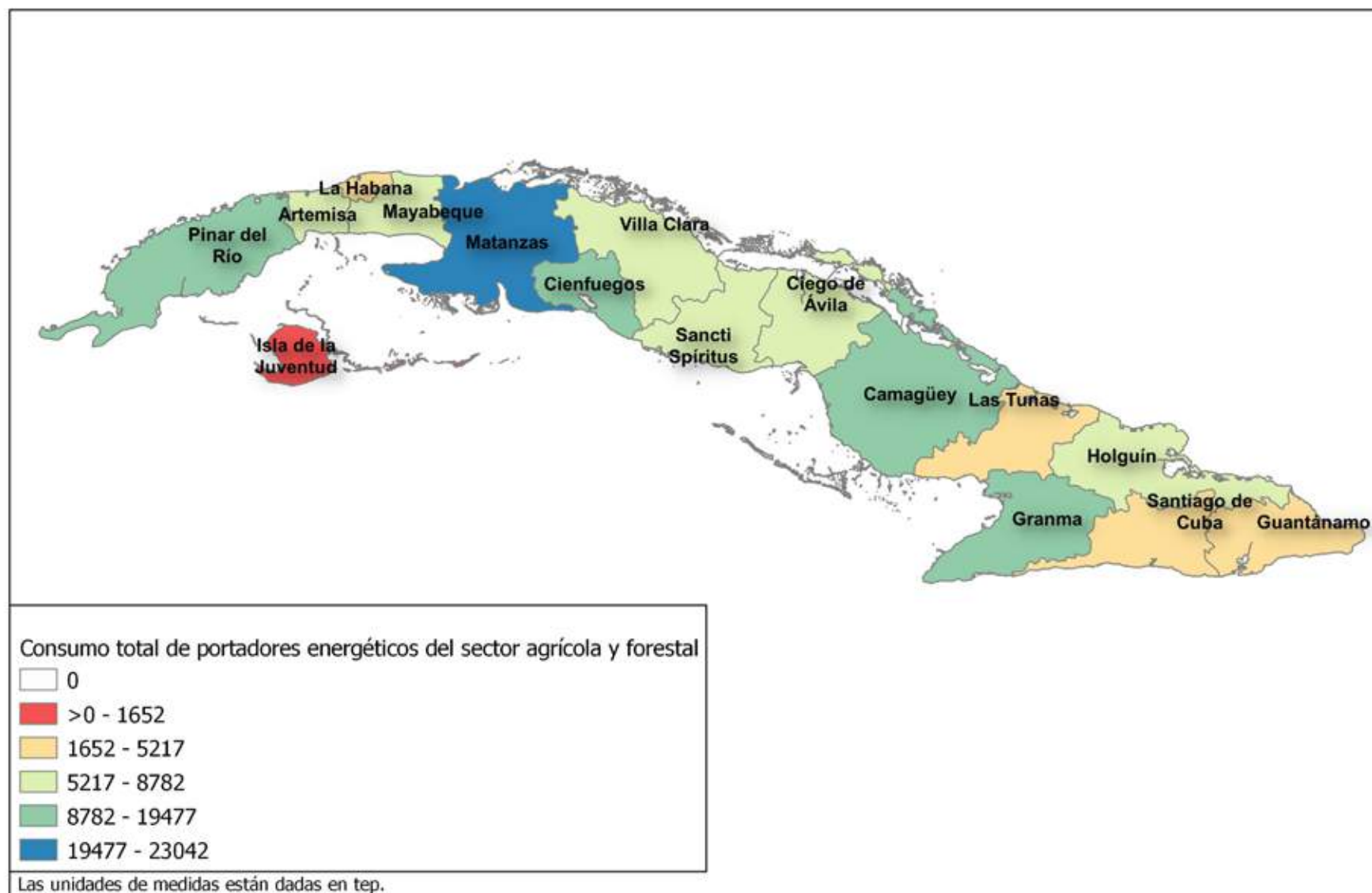
Mapa 4.5.1 Consumo total de portadores energéticos



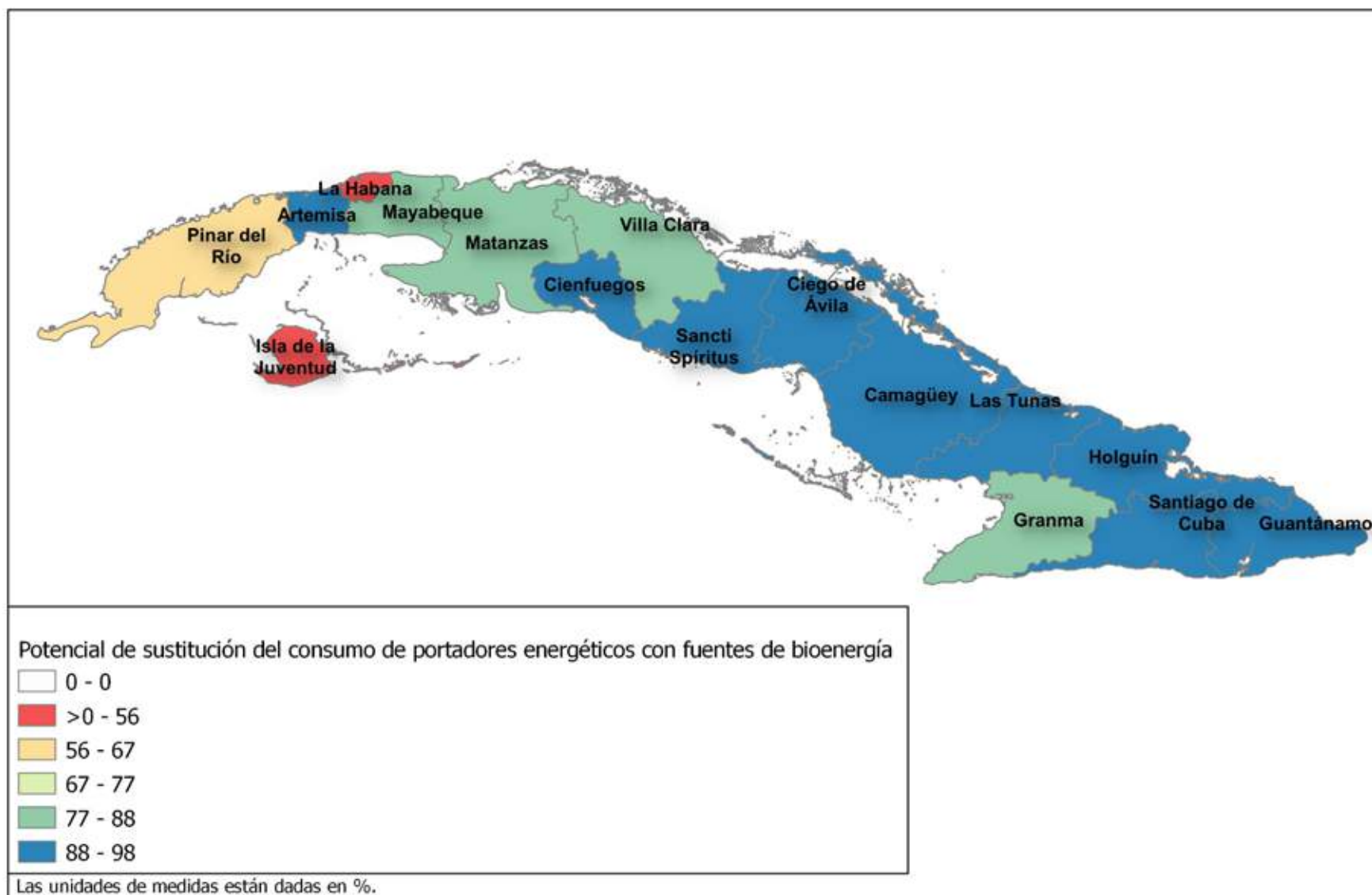
Mapa 4.5.2 Consumo total de portadores energéticos de AZCUBA



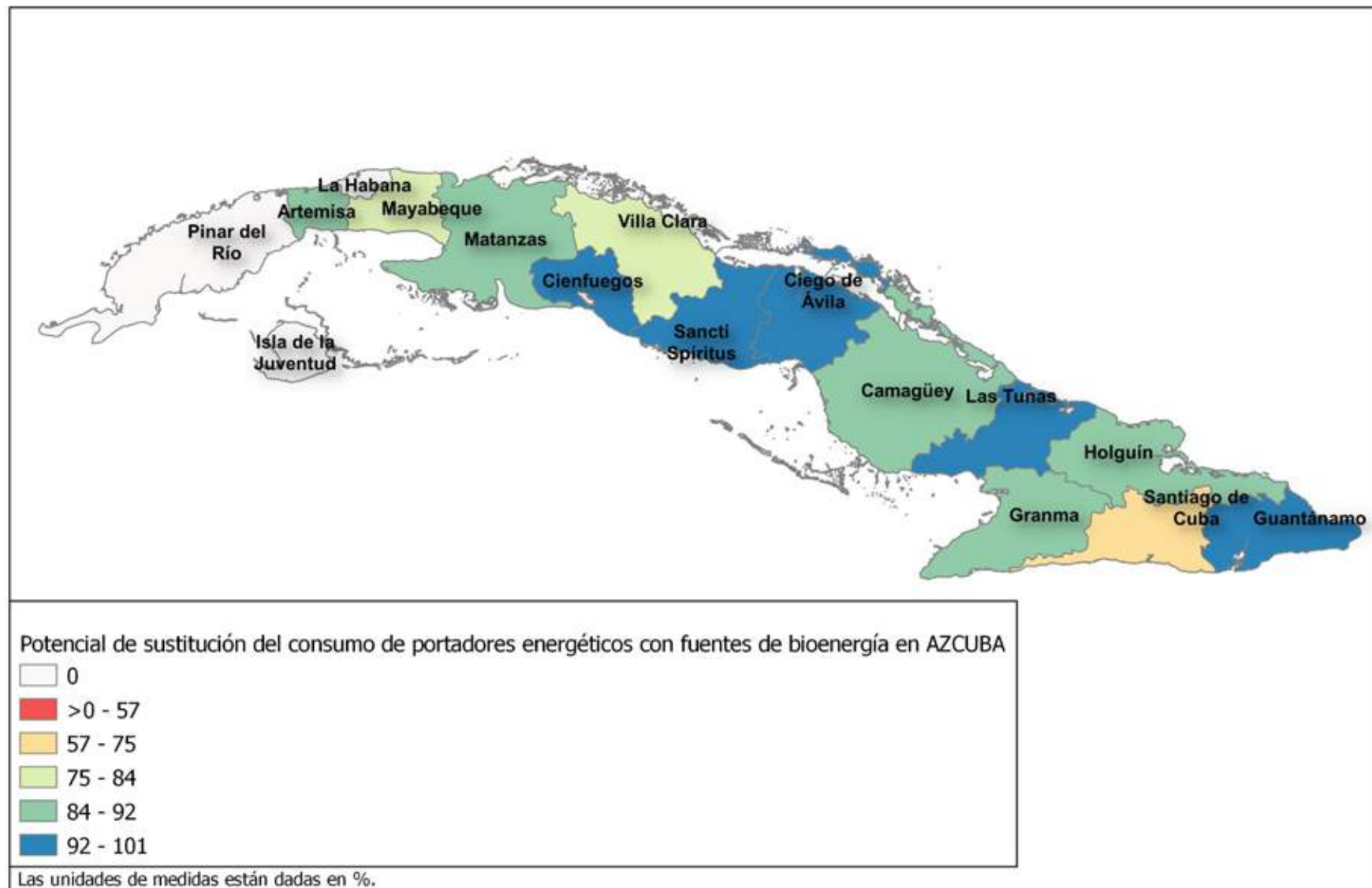
Mapa 4.5.3 Consumo total de portadores energéticos de la Industria Alimentaria



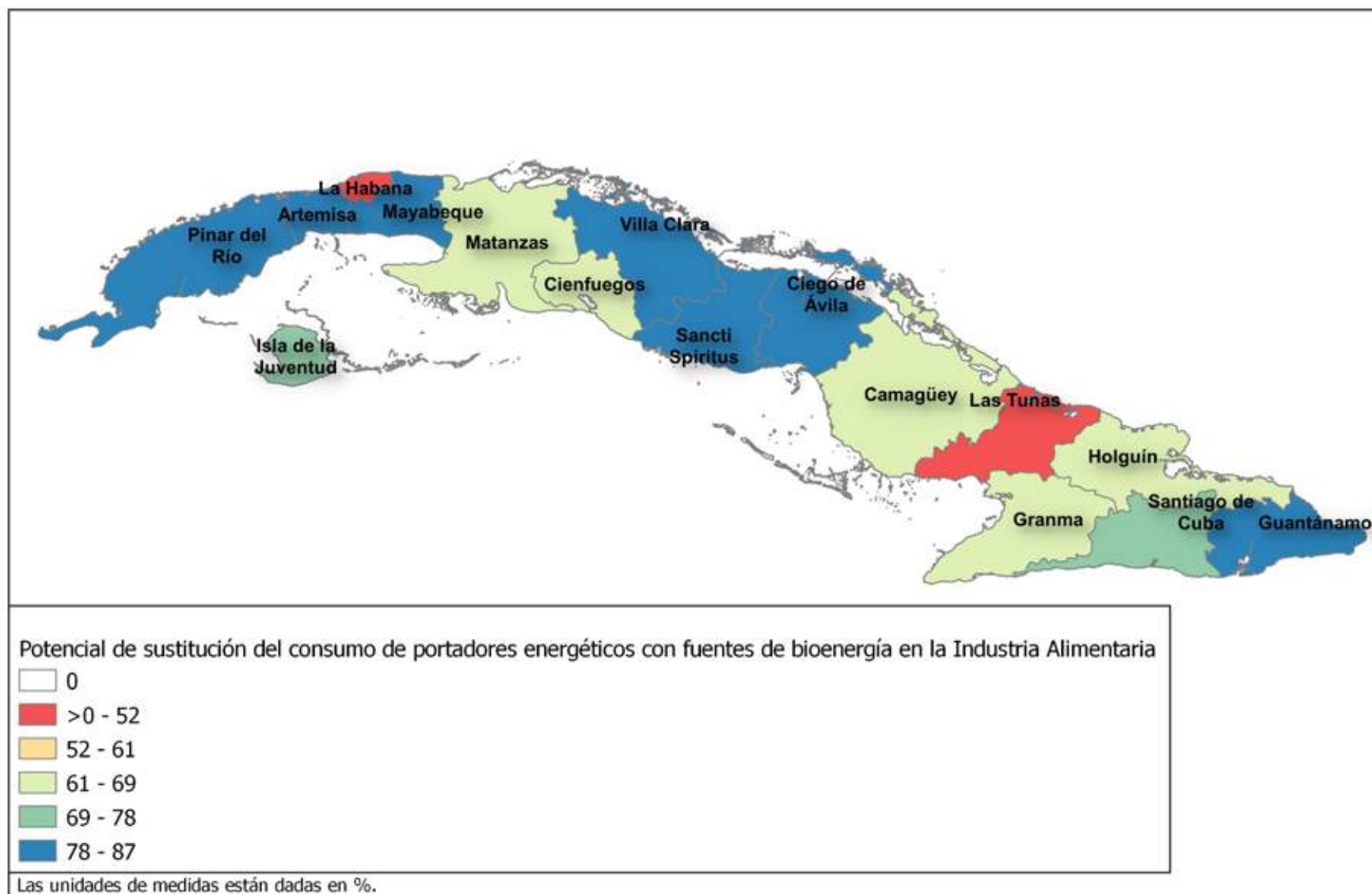
Mapa 4.5.4 Consumo total de portadores energéticos del Sector Agrícola y Forestal



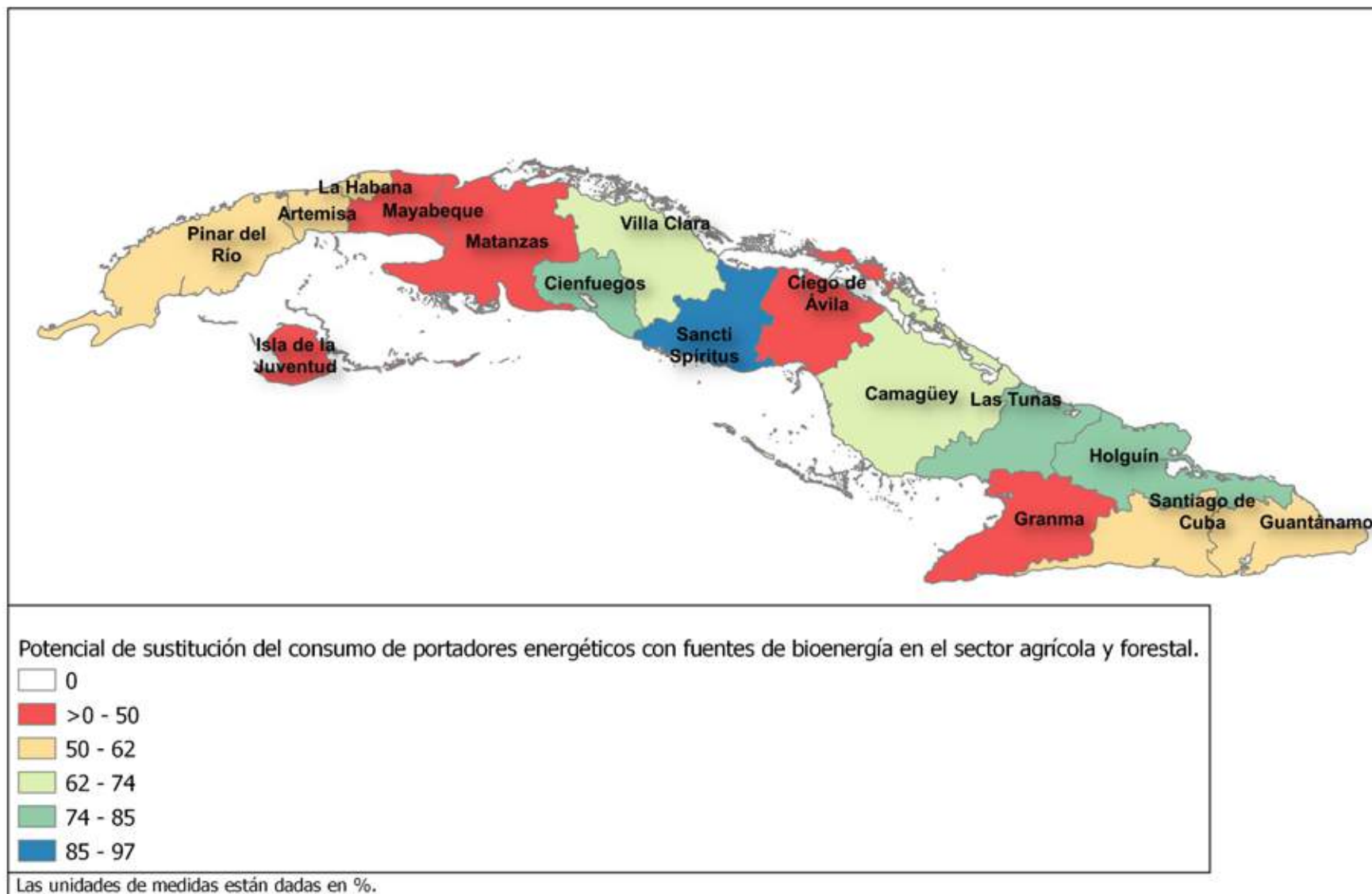
Mapa 4.5.5 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía



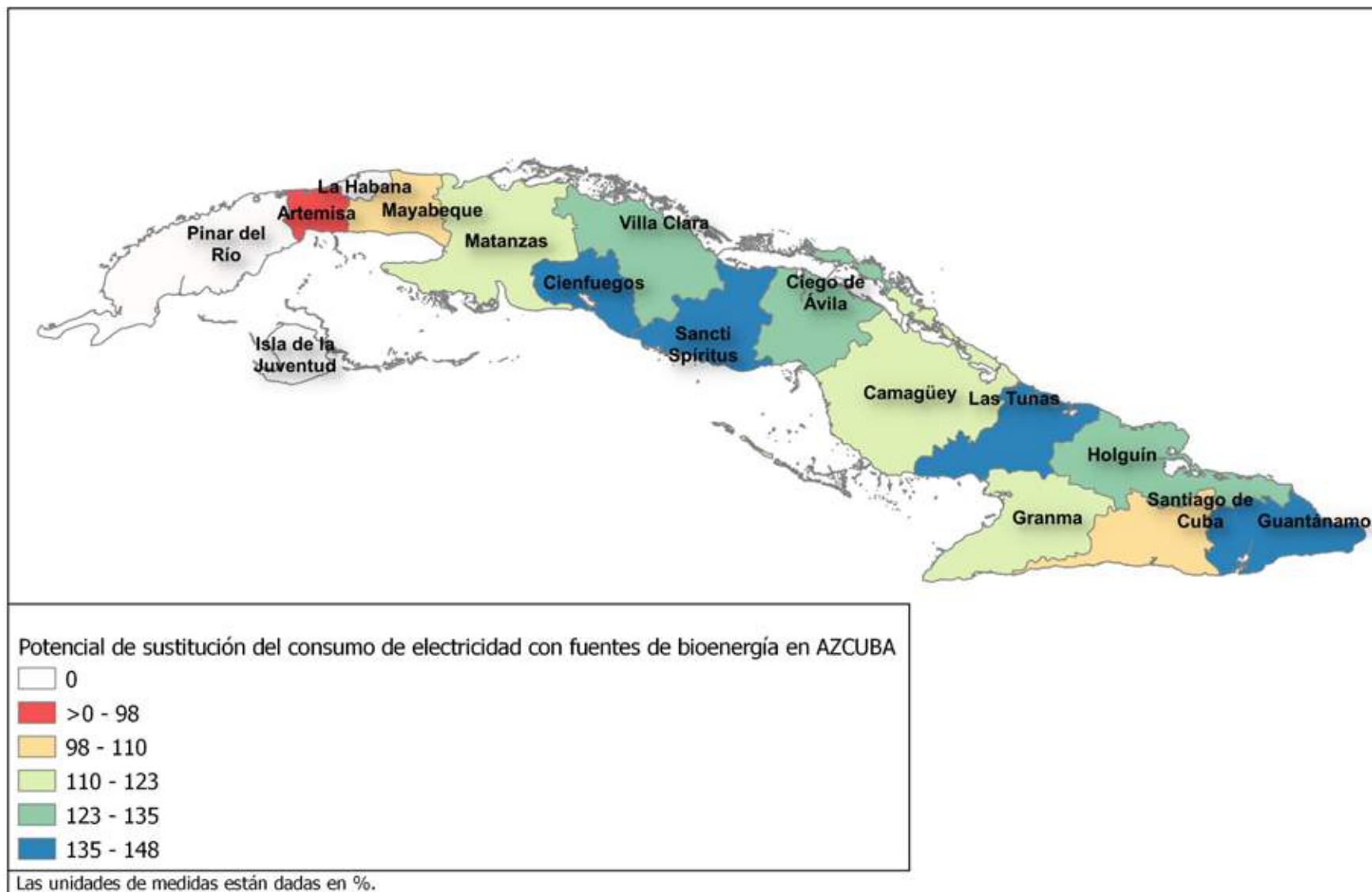
Mapa 4.5.6 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía en AZCUBA



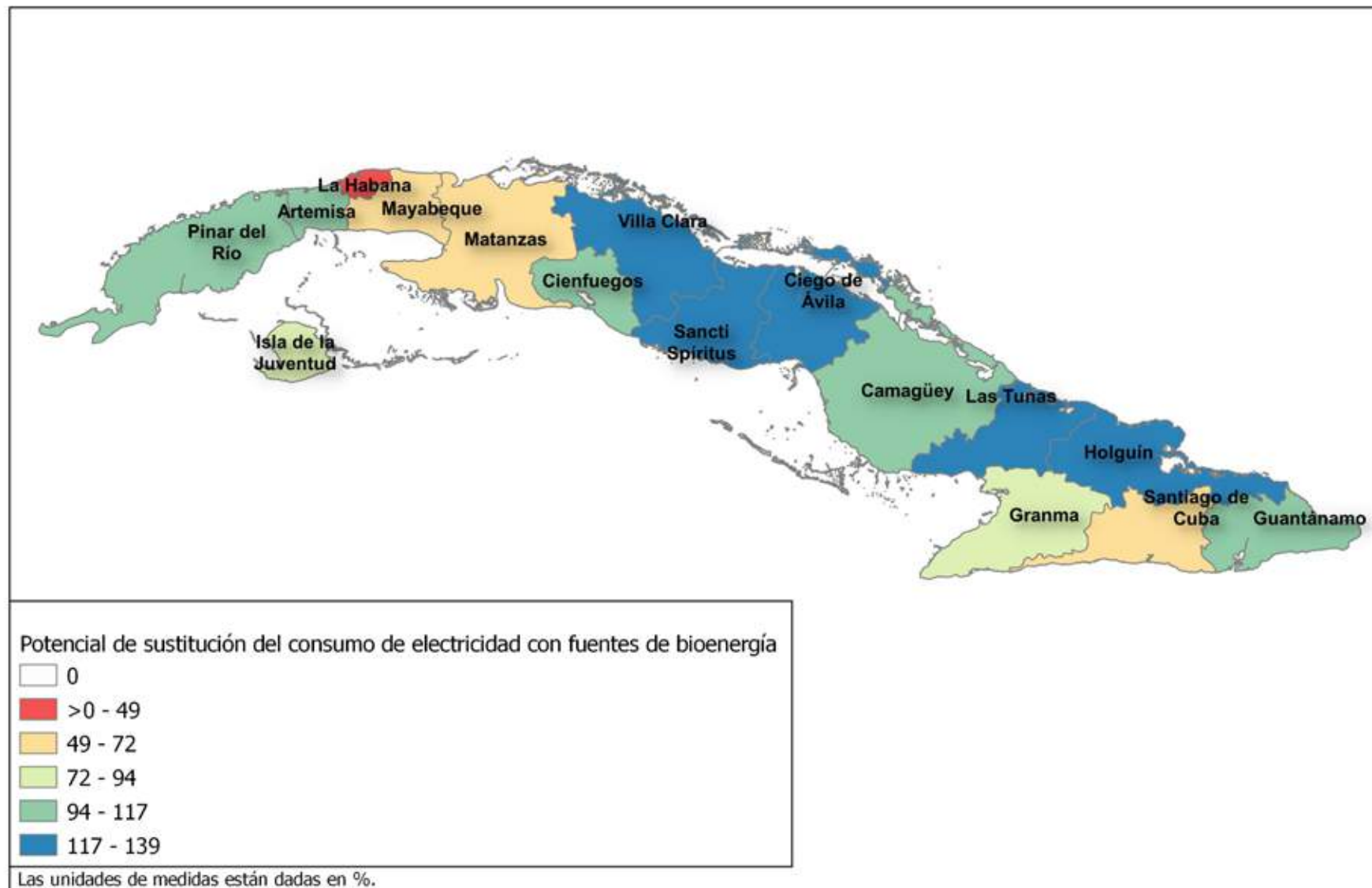
Mapa 4.5.7 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía en la Industria Alimentaria



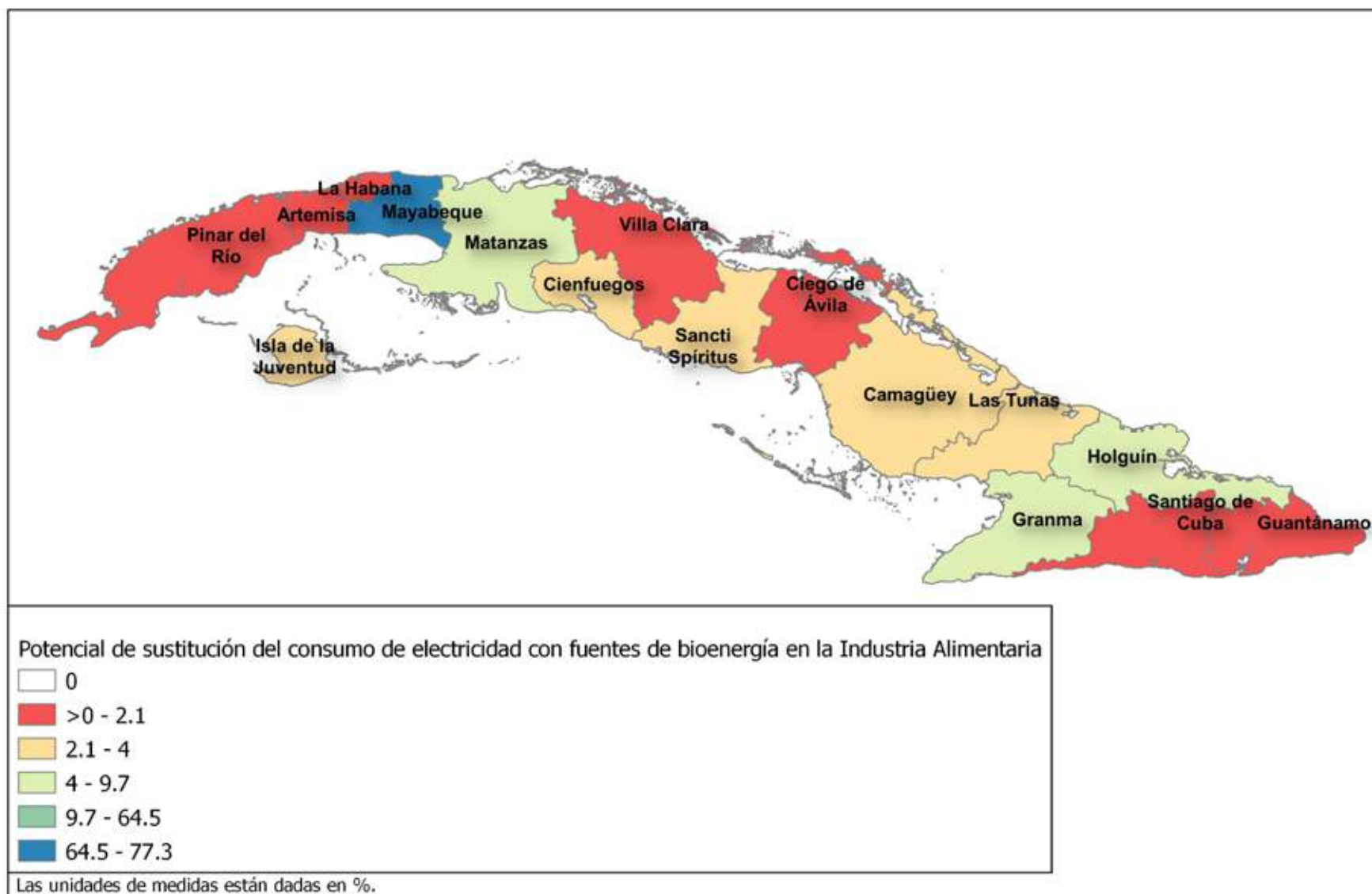
Mapa 4.5.8 Potencial de sustitución del consumo de portadores energéticos con fuentes de bioenergía en el Sector Agrícola y Forestal



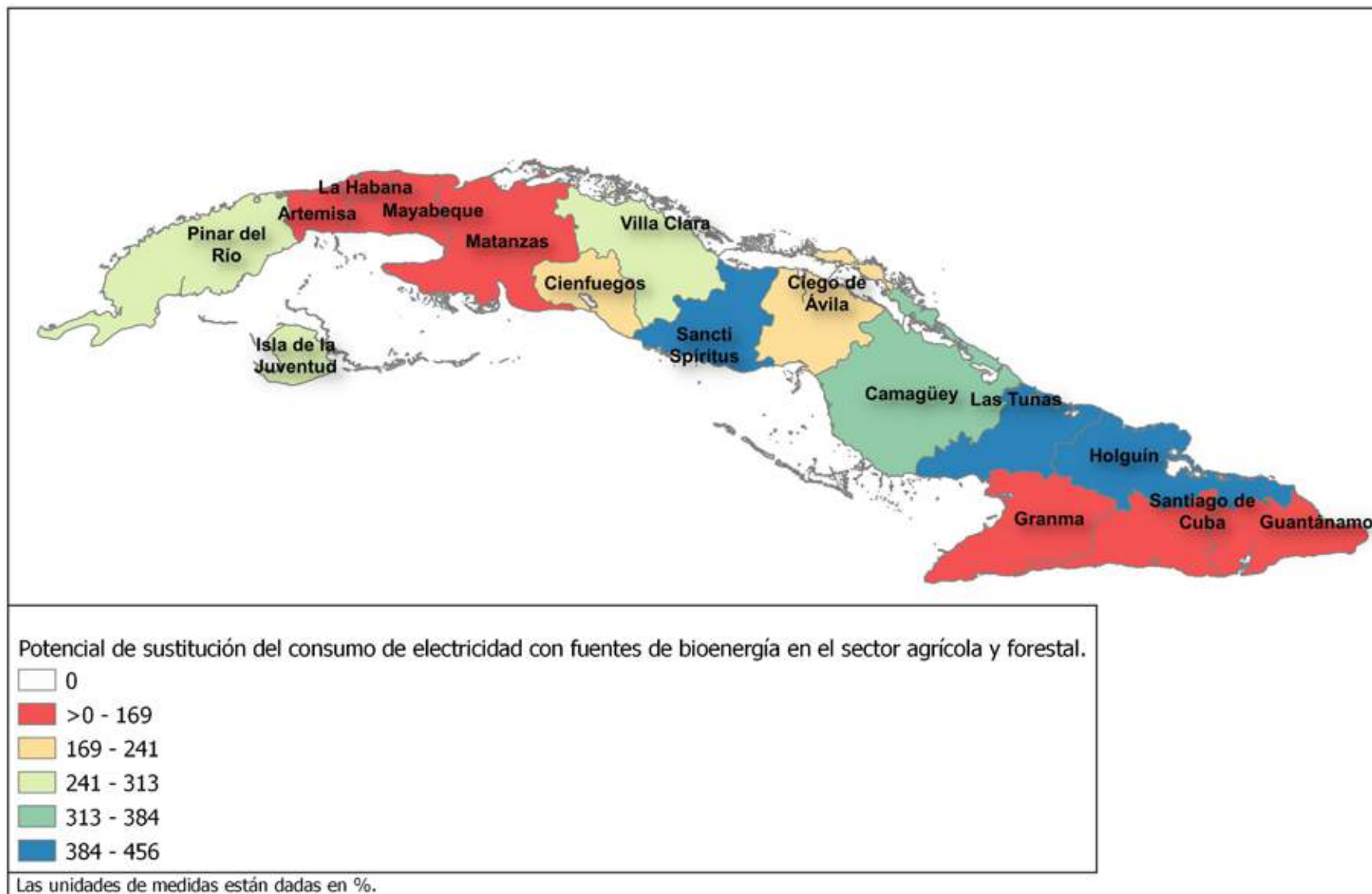
Mapa 4.5.9 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía



Mapa 4.5.10 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía en AZCUBA



Mapa 4.5.11 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía en la Industria Alimentaria



Mapa 4.5.12 Potencial de sustitución del consumo de electricidad con fuentes de bioenergía en el Sector Agrícola y Forestal.

Conclusiones

- El potencial energético de las fuentes de bioenergía consideradas en el Atlas de Bioenergía 2022 es de 2656 miles tep, de ellos el 91% le corresponde a los biocombustibles sólidos, el 8 % al biogás y el resto al biodiesel.
- La demanda de energía de los tres sectores estudiados asciende a 330.100 tep de los cuales el 22% es electricidad (845.762 MWh), 49% combustible en hornos y calderas y el 29% combustible utilizado en la maquinaria agrícola.
- El aprovechamiento del potencial de fuentes de bioenergía le permite a AZCUBA pasar de un autoabastecimiento eléctrico del 92% a un 126%, alcanzar una sustitución del 99% del combustible utilizado en hornos y calderas y el 20% del combustible diésel utilizado en la maquinaria agrícola. Como resultado el 101% del consumo de energía de la industria azucarera sería con bioenergía.
- En la industria alimentaria el potencial de autoabastecimiento eléctrico a partir del biogás es del 6%. El autoabastecimiento del sector con bioenergía ascendería a un 71%, considerando un 100% de sustitución del combustible en hornos y calderas. En este sector es relevante el caso de CUBARON con un potencial de llegar a utilizar fuentes de bioenergía para cubrir el 96% y el del GE Agroalimentario con un potencial del 79%.
- En el sector agrícola y forestal, potencialmente es posible alcanzar un autoabastecimiento eléctrico del 135%, en el que se combina el uso del potencial de biogás,

de los residuos de aserradero y de la cáscara de arroz. El autoabastecimiento con fuentes de bioenergía para hornos y calderas, potencialmente se llega al 100% y con biodiesel se considera una sustitución del diésel en maquinaria agrícola hasta un 20 %. Es así, que se estima una participación de la bioenergía del 57 % en el consumo de energía del sector.

- Un caso singular es el del procesamiento industrial del arroz, que tiene el potencial de autoabastecerse de combustible para sus hornos y de electricidad y entregar excedentes de este último portador a la red eléctrica.

Glosario

Agro energía: Se refiere a la generación de energía a partir de la producción agropecuaria e integra el conjunto de las energías renovables proveniente de diferentes fuentes de biomasa, por ejemplo de determinados cultivos plantados ex profeso, y de subproductos de origen agrícola y ganadero, residuos y desechos. Esto involucra la producción de combustibles sólidos (leña, astillas, briquetas, pellet, carbón a partir de diversos procesos agroindustriales), gaseosos (biogás) o líquidos (como etanol o biodiesel).

Biocombustible: Son combustibles renovables que se obtienen de biomasa, la que puede ser transformada a biocombustible sólidos, líquidos y gaseosos, todos con un amplio espectro de uso. Los biocombustibles están mayormente asociados a una producción local de biomasa y su uso conlleva a la reducción de la emisión gases de efecto invernadero.

Biodiésel: Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de aceites vegetales, grasas animales, o aceites comestibles reciclables, apto como sustituyente parcial o total del combustible en motores diésel, sin que resulten necesarias conversiones, ajustes o regulaciones especiales del motor. Con carácter general se comercializa mezclado con el diésel, la proporción de biodiesel en el diésel da nombre al producto, por ejemplo, el B10 responde a una mezcla del 10% de biodiesel y 90% diésel; el B30 responde a una mezcla del 30% de biodiesel y 70% diésel.

Biogás: Es un biocombustible gaseoso que se obtiene por partir de la digestión anaerobia de residuos agroalimentarios los que constituye el sustrato para su producción. Se compone principalmente de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y también, en

menos cantidad de vapor de agua (H_2O) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). La calidad de ese biogás lo determina, en primera instancia, las características físicas químicas y disponibilidad a lo largo del tiempo del sustrato y así como, la tecnología empleada para su producción.

Biomasa: Se considera, en el contexto energético, como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Su transformación en un biocombustible (sólido, líquido o gaseoso), le da una gran versatilidad de usos para cubrir servicios energéticos diversos. Aunque el uso de biomasa no garantiza un impacto cero en la emisión de GEI, pues depende de la tecnología utilizada para su transformación en biocombustible y de los servicios energéticos que se realicen, si contribuye certeramente a su disminución.

Biomasa forestal: Es la biomasa generada en los bosques y plantaciones forestales. Generalmente la extracción de esta biomasa de los montes se denomina aprovechamiento forestal. Las fuentes fundamentales de biomasa forestal para energía son las plantaciones energéticas y la biomasa residual forestal.

Biomasa residual forestal : Procede de los procesos productivos vinculados a la cadena de aprovechamiento monte – industria, es generada en diferentes puntos de la misma, que son considerados fuentes de residuos, dentro de los que se encuentran los residuos forestales y los residuos de la industria maderera.

Carga orgánica: Cantidad de materia orgánica en un líquido que ejerce un efecto negativo en un cuerpo receptor de agua, ocasionando una disminución del oxígeno disuelto y por lo tanto perjudica las condiciones de vida. Generalmente se mide en Demanda Bioquímica a los cinco días (DBO5) o Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Densidad: Es la relación que existe entre la masa del material y el volumen que ocupan las partículas que la forman (densidad real) o la muestra en su conjunto (densidad aparente) a un determinado contenido de humedad. Es un parámetro importante en los suministros de biocombustibles sólidos como las astillas, pellets o briquetas, ya que, multiplicado por el volumen y el poder calórico, proporciona la cantidad de energía bruta de dicho material.

Digestato: Es el lodo residual que se genera a partir de la digestión anaeróbica. Este residual constituye un valioso biofertilizante. Sus características están determinadas por el tipo y calidad del sustrato, así como de la tecnología empleada para la producción de biogás.

Glicerol: Constituye uno co-producto del proceso de obtención del biodiésel por transesterificación de las grasas vegetales y animales. Es un compuesto alcohólico muy demandado en la elaboración de productos de perfumería y farmacia fundamentalmente.

Humedad del biocombustible sólido: Cantidad de agua existente en el biocombustible sólido. Afecta de forma decisiva a la energía aprovechable. Habitualmente, se utilizan dos métodos para establecer el contenido de humedad según el procedimiento utilizado para contabilizar la masa de agua. Se expresan los resultados referido al producto en seco o referido al producto húmedo.

- Humedad base seca es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. $=100 \times (\text{peso en húmedo} - \text{peso en seco}) / \text{peso en seco}$
- Humedad base húmeda es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia húmeda $=100 \times (\text{peso en húmedo} - \text{peso en seco}) / \text{peso en húmedo}$

Generalmente, la humedad del biocombustible se reporte en base seca.

Índice de generación de electricidad: Es una relación que expresa la cantidad de energía eléctrica que es capaz de producir la unidad de masa de un combustible determinado.

Leña: La parte de los árboles o arbustos, de las especies vegetales forestales o agrícolas leñosas, que troceadas se pueden destinar a fines energéticos.

Poder calorífico : Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa. Dicho de otra forma, no es más que la energía que se libera en forma de calor cuando, por ejemplo la biomasa se quema completamente.

Refleja la cantidad de energía térmica almacenada en un combustible dado. Las unidades de medidas se expresan en mega julios por kg (MJ/kg) o kilojulios por kg (kJ/kg). También suele utilizarse kilocaloría por kg (kcal/kg) o kilocaloría por m³ (kcal/m³).

Se distingue el poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI).

PCS: expresa la cantidad total de calor que se producirá mediante la combustión. Sin embargo, una parte de ese calor permanecerá en el calor latente de la evaporación del agua existente en el combustible durante la combustión.

PCI: excluye el calor latente. Por consiguiente, el valor térmico más bajo es la cantidad de calor disponible realmente en el proceso de combustión para captarlo y utilizarlo.

Cuanto mayor sea el contenido de humedad de un combustible mayor será la diferencia entre el PCB y el PCN y menor será la energía total disponible.

Residuos agroindustriales: Generados a partir de la cosecha y procesamiento de diferentes productos agrícolas. Sus características dependen de factores como la variedad, las características del terreno y los métodos de cultivo, cosecha y de la tecnología empleada para el procesamiento industrial.

Residuos de la industria maderera: Residuos generados directamente por el procesamiento de la madera (industria de aserrado, tablero y pasta, y de aplicaciones de segunda transformación).

Residuos forestales: Residuos generados directamente como resultado del aprovechamiento forestal, y que son factibles usarlos para fines energéticos, siempre que se realice en el marco de un manejo sustentable, que conserve los equilibrios de los nutrientes de los suelos y los ecosistemas.

Tecnología: Conjunto de conocimientos, procedimientos, datos, informaciones, y contenidos en diversos soportes, tales como: planos, esquemas, manuales, normas, equipos, dispositivos, maquinarias, cuya utilización en forma repetitiva posibilita el diseño, fabricación y comercialización de productos y la prestación de servicios.

Toneladas equivalentes de petróleo (tep): Equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo, la cual, como varía según la composición química de éste, se ha tomado un valor convencional de: $41\ 868\ \text{MJ (julios)} = 11\ 630\ \text{kWh (kilovatios-hora)}$.

Transesterificación: Es el proceso más utilizado para la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal. No es más que la reacción de una grasa animal o aceite vegetal con el metanol y se obtiene biodiésel y glicerol. Se utilizan catalizadores para mejorar la velocidad y el rendimiento de producción del biodiésel.

Tratamiento anaerobio de residuales orgánicos: Es un proceso utilizado para la reducción de la carga orgánica de residuales líquidos. Se basa en la digestión anaerobia realizada por grupos bacterianos específicos que en ausencia de oxígeno transforman la materia orgánica en una mezcla de gases, fundamentalmente metano y CO_2 , conocida como biogás y un lodo estabilizado que es el producto resultante del crecimiento microbiano generado como consecuencia del proceso de digestión, así como también de sólidos no digeridos que han sido estabilizados. Este lodo puede ser utilizado en la agricultura o en la recuperación de suelos degradados que presenten carencia, especialmente de materia orgánica.

Conclusiones generales

- El Atlas de Bioenergía 2022 muestra que existe un potencial energético de 2656 miles de tep resultante del aporte de tres fuentes de bioenergía, biogás (8%), biodiesel (1%) y la biomasa sólida (91%) asociadas a los sectores productivos: agroindustria azucarera (AZCUBA), industria alimentaria (MINAL) y agropecuario y forestal (MINAG).
- La estimación de este potencial presenta algunas incertidumbres asociadas al conocimiento existente sobre el potencial de biomasa forestal, la carga orgánica de las fuentes de contaminantes orgánicos industriales y la recolección y preparación de los residuos agrícolas cañeros como biocombustibles.
- El potencial energético de la biomasa sólida equivale al 31% del consumo actual de combustible del país. Esta fuente de bioenergía (bagazo y leña) aporta hoy el 12% de este consumo.
- El impacto potencial, por el uso de las fuentes de bioenergía consideradas en el Atlas de Bioenergía 2022, por la sustitución de portadores energéticos de origen fósil en los tres sectores productivos analizados asciende al 88%. El mismo es resultado de la sustitución del:
 - 93 % de la electricidad consumida (118 mil MWh);
 - 96 % del combustible utilizado en hornos y calderas (168 mil tep); y el
 - 20 % (25 mil tep) del diésel empleado en la maquinaria agrícola.

- La contribución en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por el aprovechamiento de este potencial energético, a partir de diferentes fuentes de bioenergía, al sustituir portadores energéticos de origen fósil, asciende a 1.315.583 ton CO₂ anuales. De ellas el 49% por la generación de electricidad, el 45 % por sustitución de combustibles en hornos y calderas y el resto en la maquinaria agrícola.

Proyecto

Tecnologías de energía limpia para áreas rurales en Cuba. BIOENERGÍA

ATLAS DE BIOENERGÍA. CUBA EDICION 2022



Colaboradores



ISBN: 978-959-7231-07-3



9 789597 231073