

DOCUMENTO DE OFERTA ENERGÉTICA

Convenio interadministrativo UPME No. CV-008-2021, IPSE No.147-2021, suscrito entre la Unidad de Planeación Minero-Energética- UPME; el Instituto De Planificación Y Promoción De Soluciones Energéticas Para Las Zonas No Interconectadas - IPSE y la Universidad del Cauca



PERS Cauca
Plan de Energización Rural Sostenible

Oferta energética para el Departamento del Cauca



Elaboraron:

Maximiliano Bueno López
María Valeria Fajardo Latorre
Fernando Felipe Muñoz

Aprobó:

Johanna Larrota Cortes
Supervisor UPME

Leonardo Aponte Pulido
Supervisor IPSE

Popayán, Cauca
Colombia
Junio de 2023

Tabla de contenido

| | |
|--|------------|
| 1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA IMPLEMENTADA | 9 |
| 2. ENERGÍA SOLAR | 10 |
| 2.1. DESCRIPCIÓN | 10 |
| 2.2. POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR | 10 |
| 2.3. SOLAR - SUBREGIÓN NORTE..... | 16 |
| 2.4. SOLAR - SUBREGIÓN CENTRO..... | 19 |
| 2.5. SOLAR - SUBREGIÓN MACIZO | 22 |
| 2.6. SOLAR - SUBREGIÓN ORIENTE | 25 |
| 2.7. SOLAR - SUBREGIÓN SUR | 28 |
| 2.8. SOLAR - SUBREGIÓN PACÍFICO (OCCIDENTE)..... | 31 |
| 2.9. RESUMEN DE INFORMACIÓN OBTENIDA DEL RECURSO SOLAR | 34 |
| 3. ENERGÍA EÓLICA | 36 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN | 36 |
| 3.2. POTENCIAL ENERGÉTICO EÓLICO | 37 |
| 3.3. EÓLICO - SUBREGIÓN NORTE..... | 41 |
| 3.4. EÓLICO - SUBREGIÓN CENTRO..... | 48 |
| 3.5. EÓLICO - SUBREGIÓN MACIZO | 54 |
| 3.6. EÓLICO - SUBREGIÓN ORIENTE | 60 |
| 3.7. EÓLICO - SUBREGIÓN SUR | 66 |
| 3.8. EÓLICO - SUBREGIÓN PACÍFICO (OCCIDENTE)..... | 71 |
| 3.9. RESUMEN DE INFORMACIÓN DEL RECURSO EÓLICO..... | 77 |
| 4. ENERGÍA HIDRÁULICA | 79 |
| 4.1. DESCRIPCIÓN | 79 |
| 4.2. POTENCIAL ENERGÉTICO HIDRÁULICO | 79 |
| 5. BIOMASA..... | 98 |
| 5.1. DESCRIPCIÓN | 98 |
| 5.2. POTENCIAL ENERGÉTICO BIOMASA | 98 |
| 5.3. ACTUALIZACIÓN POTENCIAL ENERGÉTICO BIOMASA DE ORIGEN AGRÍCOLA | 103 |
| 5.4. ACTUALIZACIÓN POTENCIAL ENERGÉTICO BIOMASA DE ORIGEN PECUARIO | 117 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 129 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 130 |

Tabla de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Información recurso solar promedio diario anual; (a) horas de sol al día (horas), (b) irradiación global horizontal (kWh/m ² /día), (c) promedio número de días al mes sin brillo solar (días/mes), (d) mapa subregional del departamento. Fuente: IDEAM | 11 |
| Figura 2 Irradiación global horizontal (kWh/m ²) promedio diario-anual Fuente de datos: Global Solar Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA..... | 14 |
| Figura 3 IGH media diaria-anual (kWh/m ²); (a) promedio de potencial del territorio muy soleado (PTMS), (b) promedio del potencial del territorio poco soleado (PTPS). Fuente de datos: Global Solar Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA..... | 15 |
| Figura 4 Irradiación global horizontal (kWh/m ²) promedio diario-mensual. Fuente de datos: Global Solar Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA | 16 |
| Figura 5 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión norte. Fuente: Global Solar Atlas..... | 17 |
| Figura 6 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m ²] – Subregión norte. Fuente: Global Solar Atlas | 18 |
| Figura 7 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión centro. Fuente: Global Solar Atlas..... | 20 |
| Figura 8 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m ²] – Subregión centro. Fuente: Global Solar Atlas | 21 |
| Figura 9 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión macizo. Fuente: Global Solar Atlas | 23 |
| Figura 10 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m ²] – Subregión macizo. Fuente: Global Solar Atlas | 24 |
| Figura 11 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión oriente. Fuente: Global Solar Atlas..... | 26 |
| Figura 12 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m ²] – Subregión oriente. Fuente: Global Solar Atlas | 27 |
| Figura 13 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión sur. Fuente: Global Solar Atlas..... | 29 |
| Figura 14 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m ²] – Subregión sur. Fuente: Global Solar Atlas | 30 |
| Figura 15 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión pacífico. Fuente: Global Solar Atlas | 32 |
| Figura 16 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m ²] – Subregión pacífico. Fuente: Global Solar Atlas | 33 |
| Figura 17 Velocidad promedio del viento (m/s) a múltiples alturas. Fuente: IDEAM..... | 38 |
| Figura 18 Potencial eólico a 10m de altura; (a)Velocidad promedio del viento (m/s), (b) Potencial de densidad de potencia (W/m ²). Fuente de datos: Global Wind Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA..... | 39 |
| Figura 19 Potencial eólico a 50m de altura; (a)Velocidad promedio del viento (m/s), (b) Potencial de densidad de potencia (W/m ²). Fuente de datos: Global Wind Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA..... | 40 |
| Figura 20 Potencial eólico a 150m de altura; (a)Velocidad promedio del viento (m/s), (b) Potencial de densidad de potencia (W/m ²). Fuente de datos: Global Wind Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA..... | 41 |
| Figura 21 Velocidad promedio del viento (m/s) Norte; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Figura 22 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Norte – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 45 |
| Figura 23 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Norte – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 46 |
| Figura 24 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Norte – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 46 |
| Figura 25 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Norte. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 47 |
| Figura 26 Velocidad promedio del viento (m/s) Centro; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 50 |
| Figura 27 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Centro – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 51 |
| Figura 28 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Centro – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 52 |
| Figura 29 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Centro – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 52 |
| Figura 30 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Centro. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 53 |
| Figura 31 Velocidad promedio del viento (m/s) Macizo; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 56 |
| Figura 32 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Macizo – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 57 |
| Figura 33 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Macizo – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 58 |
| Figura 34 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Macizo – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 58 |
| Figura 35 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Macizo. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 59 |
| Figura 36 Velocidad promedio del viento (m/s) Oriente; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 62 |
| Figura 37 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Oriente – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 63 |
| Figura 38 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Oriente – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 64 |

| | |
|--|----|
| Figura 39 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Oriente – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 64 |
| Figura 40 Densidad de potencia eólica (W/m ²) – promedio anual – Oriente. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 65 |
| Figura 41 Velocidad promedio del viento (m/s) Sur; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 68 |
| Figura 42 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Sur – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 69 |
| Figura 43 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Sur – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 70 |
| Figura 44 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Sur – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 70 |
| Figura 45 Densidad de potencia eólica (W/m ²) – promedio anual – Sur. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 71 |
| Figura 46 Velocidad promedio del viento (m/s) Pacífico; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 74 |
| Figura 47 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Pacífico – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 75 |
| Figura 48 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Pacífico – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 76 |
| Figura 49 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Pacífico – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 76 |
| Figura 50 Densidad de potencia eólica (W/m ²) – promedio anual – Pacífico. Fuente datos: Global Wind Atlas..... | 77 |
| Figura 51 Zonas hidrográficas IDEAM mensual. Fuente: UPME | 80 |
| Figura 52 Precipitación media anual (mm). Fuente: IDEAM | 81 |
| Figura 53 Precipitación media mensual (mm). Fuente: IDEAM..... | 81 |
| Figura 54 Caudal promedio anual (m ³ /s). Fuente: UPME..... | 82 |
| Figura 55 Caudal adimensional por zona hidrográfica; (a) histograma, (b) curvas de duración de caudal adimensional. Fuente: UPME | 83 |
| Figura 56 Potencial hidroenergético por zona hidrográfica (MW); (a) a una longitud de conducción de 200m, (b) a una longitud de conducción de 1km. Fuente: UPME | 83 |
| Figura 57 Potenciales proyectos hidroeléctricos. Fuente: UPME..... | 84 |
| Figura 58 . Subzonas Hidrográficas Departamento del Cauca Elaboración: PERS-CAUCA | 86 |
| Figura 59 Potencial hidroenergético para una Hest=5m | 94 |
| Figura 60 Potencial hidroenergético para una Hest=10 m | 95 |
| Figura 61 Potencial hidroenergético para una Hest=15m | 96 |

| | |
|--|-----|
| Figura 62 Potencial hidroenergético para una Hest=25m | 97 |
| Figura 63 Biomasa a partir de residuos agrícolas; (a) potencial energético total anual (TJ/año), (b) rendimiento neto total de energía anual (TJ/ha/año), (c) potencial energético cultivos transitorios anual (TJ/año), (d) rendimiento neto de energía cultivos transitorios anual (TJ/ha/año), (e) potencial energético cultivos permanentes anual (TJ/año), (f) rendimiento neto de energía cultivos permanentes anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME..... | 99 |
| Figura 64 Biomasa a partir de residuos del cultivo de caña de azúcar; (a) potencial energético anual (TJ/año), (b) Rendimiento neto de energía anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME | 100 |
| Figura 65 Biomasa a partir de residuos del cultivo de caña de panela; (a) potencial energético anual (TJ/año), (b) rendimiento neto de energía anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME | 100 |
| Figura 66 Biomasa a partir de residuos del cultivo de café; (a) potencial energético anual (TJ/año), (b) rendimiento neto de energía anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME | 101 |
| Figura 67 Potencial energético anual biomasa a partir del estiércol; (a) total sector pecuario (TJ/año), (b) sector avícola (TJ/año), (c) sector bovino (TJ/año), (d) sector porcino (TJ/año). Fuente: UPME | 102 |
| Figura 68 Producción de caña (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 107 |
| Figura 69 Producción de café (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 107 |
| Figura 70 Producción de yuca (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 108 |
| Figura 71 Producción de papa (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 108 |
| Figura 72 Producción de plátano (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 109 |
| Figura 73 Producción de piña (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 109 |
| Figura 74 Producción de chontaduro (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 110 |
| Figura 75 Producción de coco (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 110 |
| Figura 76 Producción de maíz (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 111 |
| Figura 77 Producción de arroz (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 111 |
| Figura 78 Producción de tomate (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 112 |
| Figura 79 Producción de ahuyama (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 112 |
| Figura 80 Cultivos con potencial energético alto (TJ) discriminada por regiones en el periodo 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 116 |



| | |
|--|-----|
| Figura 81 Cultivos con potencial energético medio (TJ) discriminada por regiones en el periodo 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 116 |
| Figura 82 Cultivos con potencial energético bajo (TJ) discriminada por regiones en el periodo 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 117 |
| Figura 83 Participación por región inventario pecuario por especie 2021 Fuente: UPRA- MinAgricultura..... | 118 |
| Figura 84 Inventario pecuario-Porcinos discriminado por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 120 |
| Figura 85 Inventario pecuario-Aves discriminado por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 121 |
| Figura 86 Inventario pecuario-Bovinos discriminado por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura..... | 121 |

1. Descripción de la metodología implementada

Para la evaluación del potencial energético de la región del Cauca se propone seccionar la metodología de desarrollo en tres etapas principales, las cuales se encargan de los procesos de: 1) recolección y validación de la información, 2) procesamiento y presentación de datos de potencial energético, y 3) análisis y conclusiones sobre potencial energético aprovechable según las características de la región. A continuación, se detalla cada una de las etapas:

Etapa 1: Recolección y validación de información regional de recursos energéticos disponibles. En esta etapa se realizará una búsqueda exhaustiva de información asociada a recursos energéticos, la cual se discrimina en tres bloques generales, el primero corresponde a información secundaria compuesta por documentación existente de estudios previos en la región, esta podrá estar contenida en proyectos de grado y artículos académicos que se encuentren avalados por instituciones académicas nacionales o internacionales, así como informes emitidos por entidades oficiales (UPME, DIAN, ICA, IDEAM, IPSE Y CEO) o empresas privadas asociadas al sector energético o afines. El segundo bloque de información está compuesto por información oficial disponible en los diferentes atlas de recursos energéticos emitidos por el IDEAM e información disponible en las estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento. Por último, el tercer bloque de información corresponde a información satelital y meteorológica disponibles en plataformas como Global Solar Atlas <https://globalsolaratlas.info/> y PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/>.

Etapa 2: Procesamiento y presentación de datos de potencial energético. Con base en la información recopilada en la etapa 1, se realiza un sondeo de las principales fuentes energéticas en el departamento y en la región en función de la calidad y disponibilidad de los datos, para cada una de las fuentes energéticas seleccionadas se presentan mapas de calor georreferenciados y/o tablas que permitan identificar apropiadamente las regiones con mayor potencial energético. Esta información se podrá cruzar con datos asociados a disponibilidad, accesibilidad y uso del terreno, así como con información pertinente a los requerimientos energéticos de la población y sus actividades económicas, para así poder obtener mapas de potencial energético aprovechable por recurso y por región en el departamento del Cauca.

Etapa 3: Análisis y conclusiones sobre potencial energético aprovechable según las características de la región. Con base en los resultados de la etapa 2 se realiza una evaluación que permita concluir sobre el grado de aprovechamiento del potencial energético de la región en función de factores como: 1) uso local para satisfacer necesidades energéticas de la población, 2) uso local para sustituir fuentes energéticas costosas y/o contaminantes en la región, 3) desarrollo de excedentes energéticos regionales que permitan el aprovechamiento de los recursos energéticos del Cauca en otros departamentos. En esta etapa, resulta crucial el análisis de la infraestructura energética que abastece al departamento en función de electricidad, gas natural y combustibles líquidos.

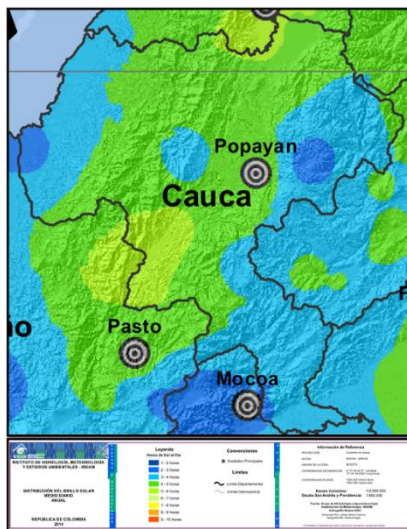
2. Energía solar

2.1. Descripción

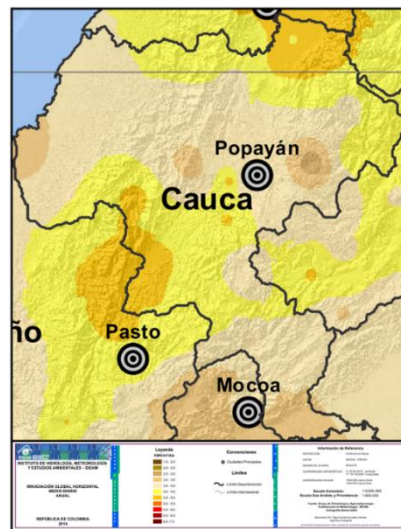
La energía solar es la principal fuente de energía de nuestro planeta, es captada por plantas y animales para la transformación de nutrientes en materia orgánica, permitiendo así la vida; igualmente es captada por los grandes cuerpos de agua y aire, generando mareas y vientos que controlan el clima de nuestro planeta. Dadas las características de nuestro sistema solar se puede afirmar que, en la escala de tiempo asociada a la existencia de la humanidad, la energía solar es una fuente energética inagotable, sin embargo, su captación y aprovechamiento para uso humano depende altamente de factores climáticos y aspectos tecnológicos.

2.2. Potencial energético solar

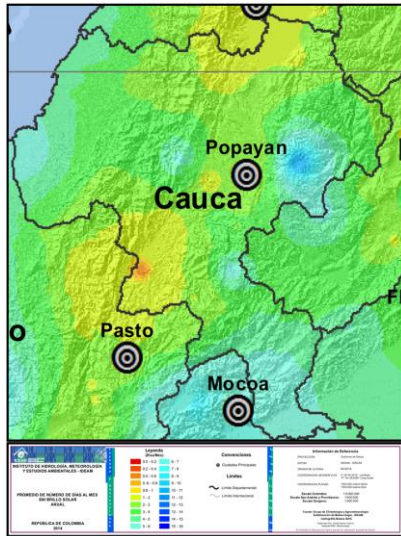
En esta sección se presenta y analiza información secundaria asociada al comportamiento del potencial de recurso solar, esto con el objetivo de hacer un primer barrido que permita clasificar las regiones del departamento del Cauca en términos del potencial de aprovechamiento de la oferta energética solar.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1 Información recurso solar promedio diario anual; (a) horas de sol al día (horas), (b) irradiación global horizontal ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$), (c) promedio número de días al mes sin brillo solar (días/mes), (d) mapa subregional del departamento. Fuente: IDEAM

La información presentada en la **Figura 1** corresponde a la presentada en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia realizado por el IDEAM, en este se puede observar que en términos promedio anual, la cantidad de horas aprovechables del departamento se encuentra entre 2h y 6h, la irradiación global horizontal oscila entre $2,5 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ y $5,0 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ y la cantidad de días al mes sin brillo solar se encuentra en el rango de 0,4días/mes a 13días/mes. Es necesario aclarar que, las estadísticas de días sin brillo solar hacen referencia al número de días del mes (no necesariamente consecutivos), en los cuales las horas de brillo solar estuvieron en el rango entre 0,0 y 0,5 horas de sol por día (hsd), este dato resulta de interés para dimensionar los requerimientos de combustible de las plantas auxiliares (gasolina, diésel, etc.) necesarias para complementar las soluciones de energización solar.

En la Tabla 2.1 se presentan los valores mínimos y máximos de la irradiación global horizontal y el brillo solar en cada uno de los municipios. En esta tabla se observa que las subregiones Norte y Sur son las que presentan el mayor potencial del departamento. Es de aclarar que los datos presentados en la Tabla 2.1 y la **Figura 1** corresponden a información previa al año 2015, y dado que esta corresponde a la información más actualizada a disposición del IDEAM, se hace relevante consultar otras fuentes de información para complementar el análisis de recurso solar con datos actualizados.

Tabla 2.1. Información recurso solar promedio diario anual. Fuente IDEAM

| Subregión | Municipio | IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL PROMEDIO DIARIO ANUAL (kWh/m2/día) | | DISTRIBUCIÓN DEL BRILLO SOLAR PROMEDIO DIARIO ANUAL (Horas al día) | |
|-----------|---------------------------|--|-----|--|-----|
| | | Min | max | min | max |
| Norte | Buenos Aires | 3,5 | 4,5 | 4 | 5 |
| Norte | Caloto | 4,5 | 5,0 | 4 | 5 |
| Norte | Corinto | 4,5 | 5,0 | 4 | 5 |
| Norte | Guachené | 4,0 | 5,0 | 4 | 5 |
| Norte | Miranda | 4,5 | 5,0 | 4 | 5 |
| Norte | Padilla | 4,5 | 5,0 | 4 | 5 |
| Norte | Puerto Tejada | 4,5 | 5,0 | 5 | 6 |
| Norte | Santander de Quilichao | 4,0 | 5,0 | 4 | 6 |
| Norte | Suárez | 3,5 | 4,5 | 4 | 5 |
| Norte | Villa Rica | 4,5 | 5,0 | 5 | 6 |
| Norte | Caldono | 3,5 | 4,5 | 5 | 6 |
| Norte | Jambaló | 4,0 | 4,5 | 3 | 5 |
| Norte | Toribío | 4,0 | 5,0 | 4 | 5 |
| Centro | Cajibío | 3,5 | 4,0 | 4 | 5 |
| Centro | El Tambo | 3,0 | 4,0 | 3 | 5 |
| Centro | Morales | 3,5 | 4,0 | 4 | 5 |
| Centro | Piendamó | 3,5 | 4,0 | 4 | 5 |
| Centro | Popayán | 3,5 | 4,0 | 4 | 5 |
| Centro | Timbío | 3,0 | 4,5 | 4 | 5 |
| Centro | Puracé - Coconuco | 3,0 | 4,0 | 3 | 5 |
| Centro | Silvia | 3,0 | 4,0 | 2 | 4 |
| Macizo | La Sierra | 4,0 | 5,0 | 4 | 5 |
| Macizo | Rosas | 4,0 | 4,5 | 4 | 5 |
| Macizo | Sotará | 3,5 | 4,5 | 4 | 5 |
| Macizo | Almaguer | 4,0 | 4,5 | 4 | 5 |
| Macizo | La Vega | 4,0 | 4,5 | 4 | 5 |
| Macizo | San Sebastián | 3,5 | 4,5 | 3 | 5 |
| Macizo | Santa Rosa | 3,5 | 4,5 | 3 | 5 |
| Oriente | Inzá | 2,5 | 4,5 | 2 | 4 |

| | | | | | |
|-------------------------|----------------|-----|-----|---|---|
| Oriente | Páez | 3,5 | 4,5 | 3 | 5 |
| Oriente | Totoró | 2,5 | 4,0 | 2 | 5 |
| Pacífico | Guapi | 3,0 | 4,5 | 2 | 5 |
| Pacífico | López de Micay | 3,5 | 4,5 | 3 | 5 |
| Pacífico | Timbiquí | 3,5 | 4,5 | 3 | 5 |
| Sur | Argelia | 4,0 | 5,0 | 4 | 5 |
| Sur | Balboa | 4,0 | 5,0 | 5 | 6 |
| Sur | Bolívar | 4,0 | 5,0 | 4 | 6 |
| Sur | Florencia | 4,0 | 4,5 | 4 | 6 |
| Sur | Mercaderes | 4,5 | 5,0 | 5 | 6 |
| Sur | Patía | 4,0 | 5,0 | 4 | 6 |
| Sur | Sucre | 4,0 | 4,5 | 4 | 6 |
| Piedemonte amazónico | Piamonte | 3,0 | 4,0 | 2 | 4 |

Con el ánimo de actualizar la información asociada a la irradiación global horizontal del departamento del Cauca y consultar otra información relevante como la temperatura promedio del aire y la inclinación óptima de los módulos solares, se consultó la herramienta Global Solar Atlas, la cual ha sido desarrollada por Solargis bajo un contrato con el Banco Mundial, y que se puede consultar en el siguiente link <https://globalsolaratlas.info/>. Una vez consultadas las variables de interés, se seleccionaron los municipios con mayor potencial solar en cada subregión y mediante la herramienta PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System disponible en <https://re.jrc.ec.europa.eu/> se consultaron los valores de irradiación global horizontal horarios y su variación mensual.

En la **Figura 2** se presenta el mapa de distribución geográfico del recurso solar, allí se observa el valor de la irradiación global horizontal promedio diario-anual (IGH) en cada subregión del departamento. En este mapa se pueden observar la clasificación de las regiones en 5 categorías de potencial (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo), estas categorías se determinan a partir de las curvas de promedio de potencial del territorio muy soleado (PTMS) y promedio del potencial del territorio poco soleado (PTPS) descritas a continuación.

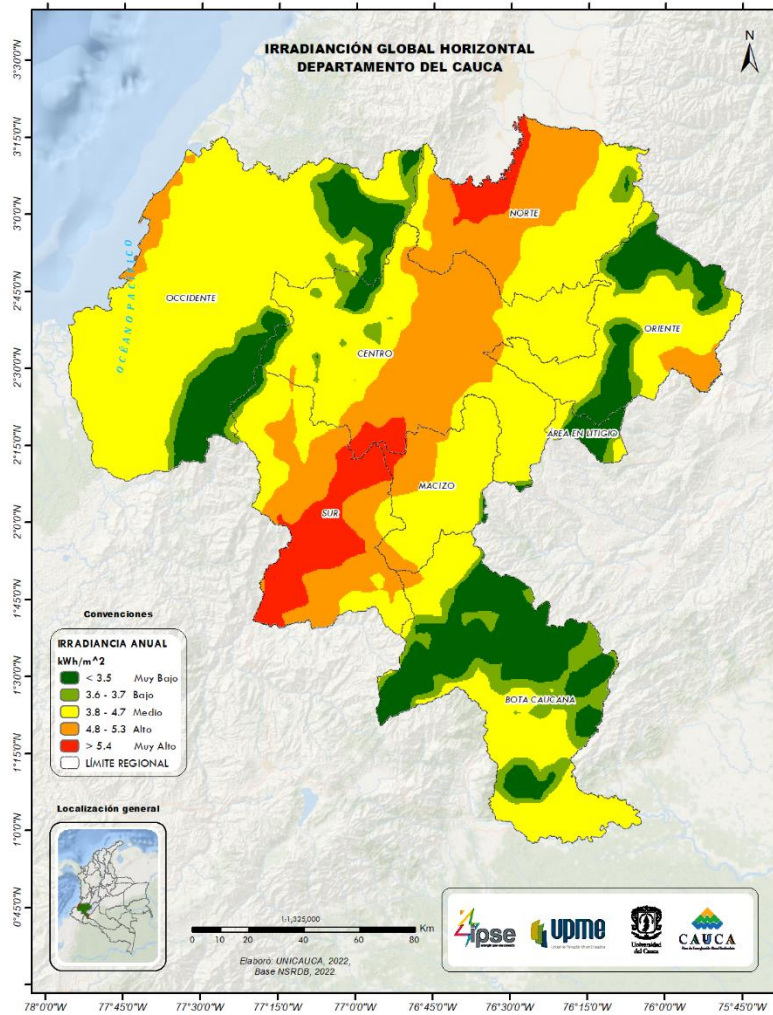
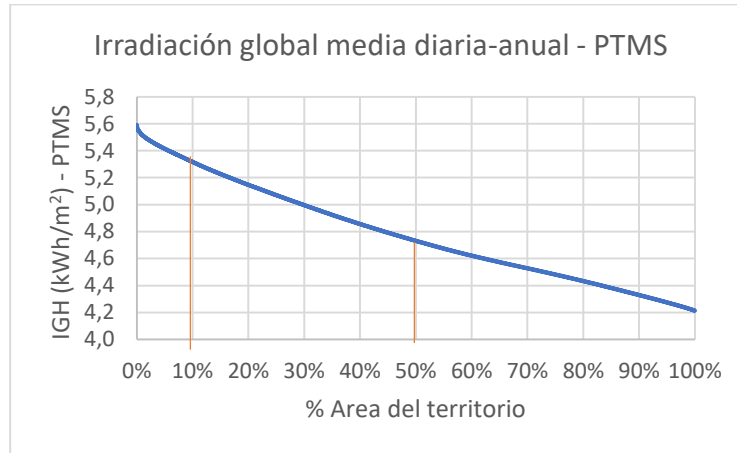
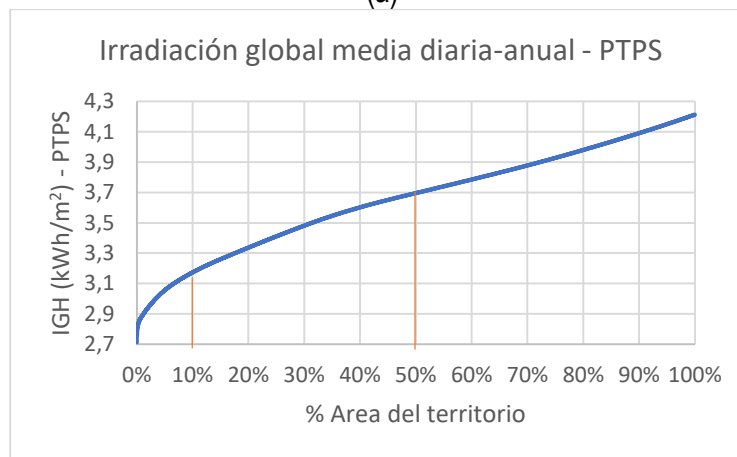


Figura 2 Irradiación global horizontal (kWh/m²) promedio diario-anual Fuente de datos: Global Solar Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA

En la **Figura 3(a)** se muestra la IGH promedio del territorio muy soleado (PTMS), en esta curva se indica los valores promedios de potencial en las regiones con más recurso solar del departamento, ejemplo: para el 10% del área del territorio con más sol del departamento el promedio de IGH diario-anual es de 5,32 kWh/m². De igual forma en la **Figura 3(b)** se muestra la IGH promedio del territorio poco soleado (PTMS), que de manera análoga muestra el potencial en el territorio con menos potencial del departamento, ejemplo: para el 10% del área del territorio con menos sol del departamento el promedio de IGH diario-anual es de 3,20 kWh/m².



(a)



(b)

Figura 3 IGH media diaria-anual (kWh/m²); (a) promedio de potencial del territorio muy soleado (PTMS), (b) promedio del potencial del territorio poco soleado (PTPS). Fuente de datos: Global Solar Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA

Para determinar la clasificación del potencial energético solar se utiliza la información de las curvas PTMS y PTPS de la siguiente manera; se define como potencial muy alto aquel valor superior o igual a la IGH correspondiente al 10% del PTMS (5,3kWh/m²); el potencial alto está dado por valores de IGH que se encuentren entre el 10% y el 50% del PTMS, esto es, entre 5,3kWh/m² y 4,70kWh/m²; el potencial medio se determina por valores de IGH que sean inferiores al 50% del PTMS y superiores al 50% del PTPS, esto es, entre 4,7kWh/m² y 3,70kWh/m²; el potencial bajo está dado por valores de IGH que se encuentren entre el 10% y el 50% del PTPS, esto es, entre 3,7kWh/m² y 3,5kWh/m²; y por último, el potencial muy bajo está dado por valores de IGH inferiores al 10% del PTPS, esto es, inferiores a 3,5kWh/m², en resumen el potencial energético solar se clasifica de la siguiente manera:

| Rango | Clasificación | Criterio |
|------------------------------------|---------------|---|
| Mayor que 5,3 kWh/m ² | Muy alto | IGH superior al 10% del PTMS. |
| Entre 5,3 y 4,7 kWh/m ² | Alto | IGH que se encuentren entre el 10% y el 50% del PTMS. |
| Entre 4,7 y 3,7 kWh/m ² | Medio | IGH que sean inferiores al 50% del PTMS y superiores al 50% del PTPS. |
| Entre 3,7 y 3,5 kWh/m ² | Bajo | IGH que se encuentren entre el 10% y el 50% del PTPS. |
| Menor que 3,5 kWh/m ² | Muy Bajo | de IGH inferiores al 10% del PTPS. |

Otro aspecto que resulta muy relevante para determinar el potencial energético solar es la variación mensual del recurso, esta se presenta en la **Figura 4**, donde se muestra el IGH promedio diario-mensual.

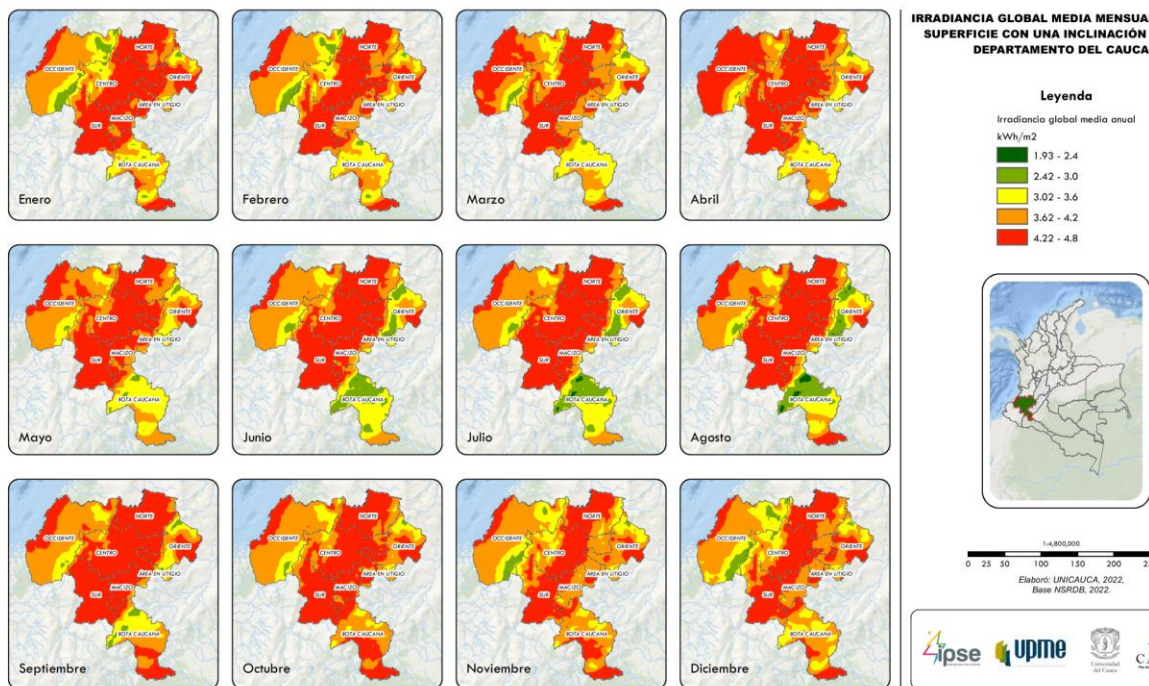


Figura 4 Irradiación global horizontal (kWh/m²) promedio diario-mensual. Fuente de datos: Global Solar Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA

2.3. Solar - Subregión Norte

La subregión norte cuenta con 13 municipios los cuales corresponden a un territorio de 3380 km². Debido a su ubicación geográfica cuenta con municipios ubicados entre los 954msnm y 4076msnm,

con una altitud media de 1556msnm. Tal y como se puede observar el la **Figura 5**, la temperatura promedio de la subregión oscila entre los 11.8°C y los 23.8°C, con un valor medio de 19.8°C.

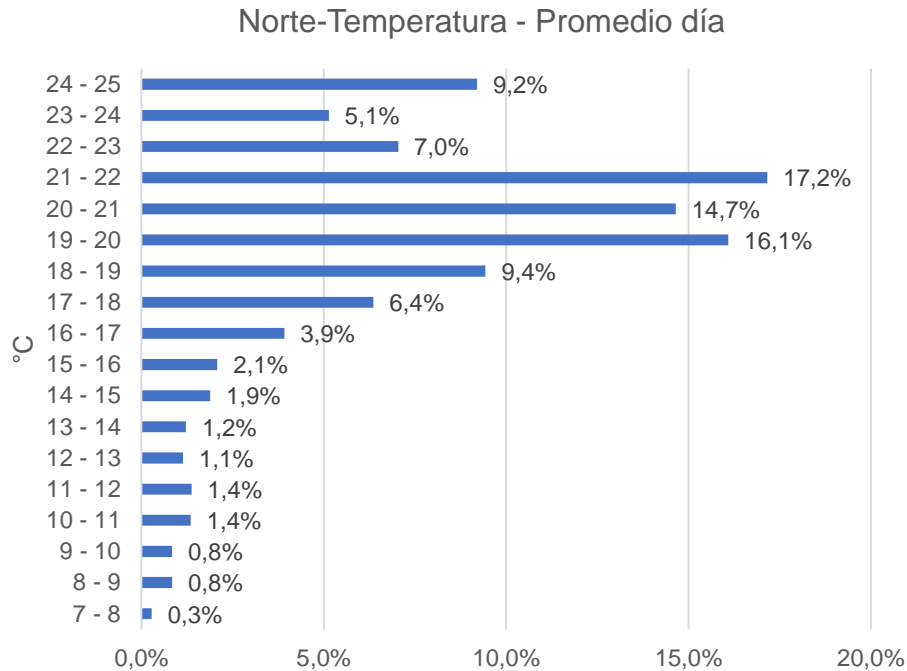


Figura 5 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión norte. Fuente: Global Solar Atlas

En la **Figura 6** se muestran los valores de la irradiación global horizontal promedio diario-anual. En general se tiene que esta subregión es una de las que cuenta con el mayor potencial solar del departamento, con valores de irradiación global horizontal que oscilan en el rango de 3.4-5.5 kWh/m²/día con un valor medio de 4,7 kWh/m²/día. Se tiene que en esta subregión los municipios con mayor potencial solar son Miranda y Padilla los cuales se encuentran ubicados en el norte de la subregión.

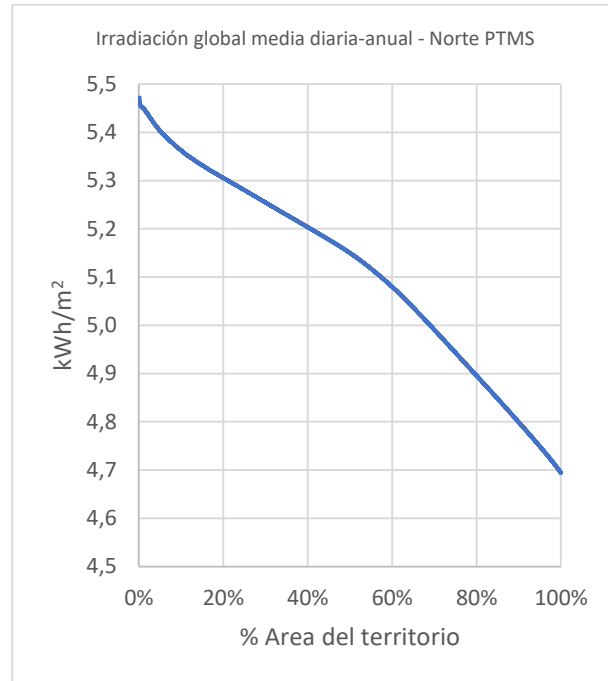
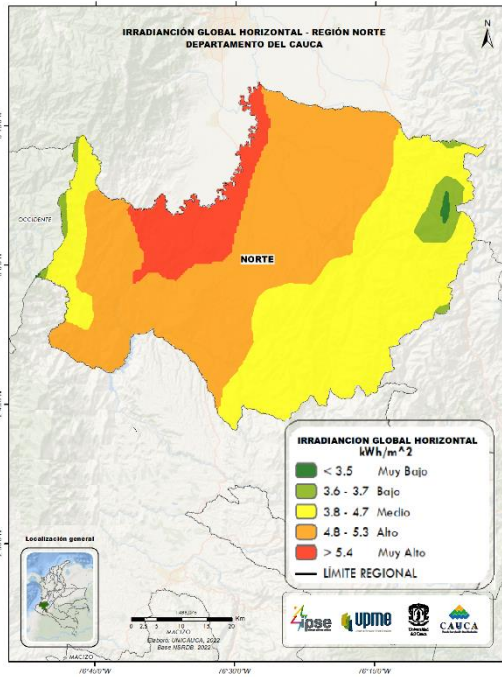


Figura 6 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m²] – Subregión Norte. Fuente: Global Solar Atlas

Con el ánimo de profundizar en el comportamiento del recurso solar de la subregión Norte, se consultó el aplicativo PVGIS para determinar los valores promedio horario de los municipios con mayor potencial en la subregión, estos se muestran a continuación.

En la Tabla 2.2 y la Tabla 2.3 se presentan los valores de irradiación global horizontal para los municipios de Miranda y Padilla respectivamente. Para el municipio de Miranda se observa que durante 8 meses (septiembre a abril) se presentan valores de irradiación diarios superiores a la media de la subregión (4,7kWh/m²/día), mientras que, en el municipio de Padilla se tiene que todo el año el potencial promedio diario supera el valor medio de la subregión.

Tabla 2.2. Miranda - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 0 |
| 7 | 51 | 40 | 62 | 83 | 92 | 96 | 85 | 88 | 113 | 116 | 107 | 90 |
| 8 | 227 | 205 | 214 | 253 | 246 | 251 | 242 | 254 | 291 | 300 | 275 | 255 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 9 | 423 | 418 | 400 | 436 | 427 | 427 | 428 | 448 | 484 | 504 | 465 | 451 |
| 10 | 605 | 601 | 582 | 585 | 558 | 543 | 568 | 560 | 613 | 630 | 594 | 595 |
| 11 | 721 | 697 | 671 | 656 | 632 | 618 | 623 | 622 | 665 | 694 | 688 | 685 |
| 12 | 757 | 745 | 710 | 684 | 649 | 617 | 647 | 604 | 666 | 726 | 729 | 716 |
| 13 | 716 | 761 | 697 | 658 | 613 | 590 | 613 | 592 | 623 | 661 | 684 | 663 |
| 14 | 632 | 655 | 613 | 575 | 552 | 541 | 554 | 521 | 518 | 561 | 562 | 589 |
| 15 | 495 | 508 | 477 | 439 | 414 | 414 | 425 | 413 | 414 | 403 | 405 | 435 |
| 16 | 327 | 341 | 321 | 287 | 271 | 271 | 299 | 287 | 257 | 247 | 237 | 275 |
| 17 | 162 | 182 | 163 | 144 | 134 | 137 | 151 | 138 | 129 | 104 | 94 | 118 |
| 18 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 5117 | 5155 | 4912 | 4800 | 4587 | 4506 | 4637 | 4528 | 4773 | 4952 | 4843 | 4872 |

Tabla 2.3. Padilla - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 0 |
| 7 | 68 | 57 | 62 | 85 | 95 | 96 | 89 | 92 | 111 | 114 | 102 | 91 |
| 8 | 226 | 204 | 213 | 254 | 253 | 262 | 257 | 269 | 305 | 298 | 277 | 248 |
| 9 | 438 | 422 | 419 | 454 | 448 | 442 | 449 | 474 | 499 | 510 | 476 | 453 |
| 10 | 638 | 634 | 621 | 620 | 593 | 575 | 603 | 616 | 651 | 665 | 610 | 626 |
| 11 | 752 | 751 | 731 | 712 | 673 | 640 | 675 | 679 | 701 | 751 | 742 | 730 |
| 12 | 805 | 795 | 784 | 738 | 684 | 662 | 701 | 678 | 706 | 762 | 770 | 766 |
| 13 | 766 | 794 | 743 | 702 | 656 | 631 | 658 | 647 | 664 | 717 | 740 | 724 |
| 14 | 677 | 708 | 660 | 629 | 569 | 562 | 585 | 557 | 570 | 589 | 596 | 644 |
| 15 | 533 | 545 | 515 | 469 | 438 | 443 | 460 | 433 | 445 | 426 | 450 | 468 |
| 16 | 349 | 366 | 341 | 309 | 275 | 288 | 315 | 309 | 278 | 261 | 261 | 293 |
| 17 | 166 | 192 | 173 | 148 | 133 | 144 | 164 | 150 | 133 | 108 | 98 | 127 |
| 18 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 5419 | 5469 | 5264 | 5122 | 4820 | 4745 | 4958 | 4906 | 5064 | 5204 | 5125 | 5170 |

2.4. Solar - Subregión Centro

La subregión Centro cuenta con 8 municipios los cuales corresponden a un territorio de 6216 km². Debido a su ubicación geográfica cuenta con municipios ubicados entre los 32msnm y 4187msnm,

con una altitud media de 1724msnm. Tal y como se puede observar el la **Figura 7**, la temperatura promedio de la subregión oscila entre los 11,2°C y los 25,3°C, con un valor medio de 19.0°C.

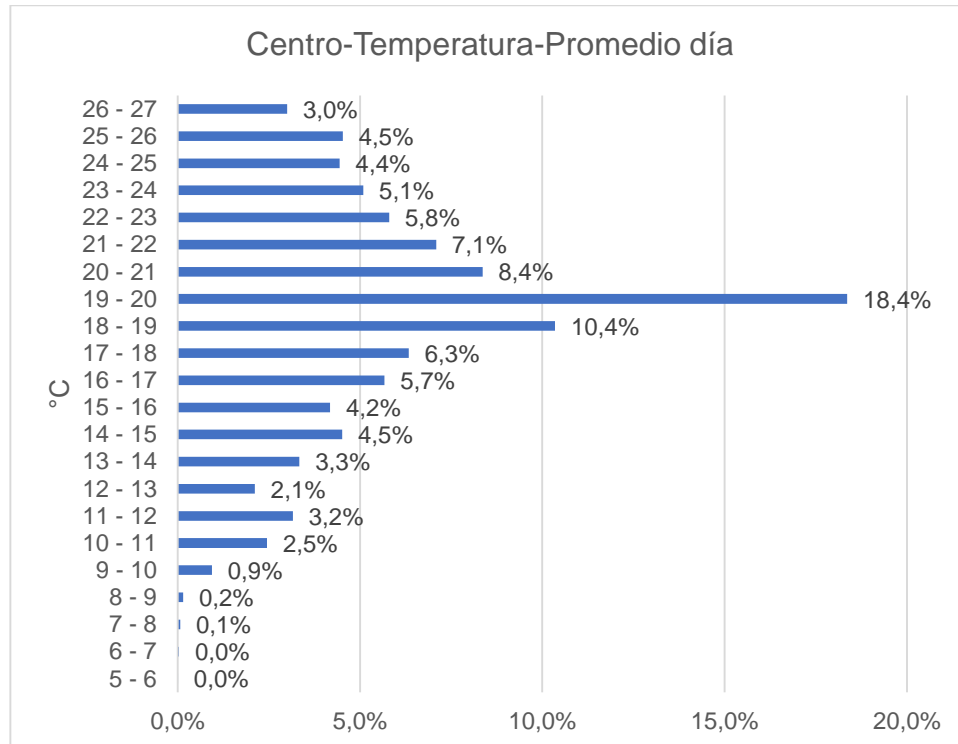


Figura 7 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión Centro. Fuente: Global Solar Atlas

En la **Figura 8** se muestran los valores de la irradiación global horizontal promedio diario. En general se tiene que esta subregión es una de las que cuenta con un importante potencial solar en el departamento, con valores de irradiación global horizontal que oscilan en el rango de 3.0-5.5 kWh/m²/día con un valor medio de 4,5 kWh/m²/día. Se tiene que en esta subregión los municipios con mayor potencial solar son Morales y Silvia los cuales se encuentran ubicados en el norte y nororiente de la subregión respectivamente.

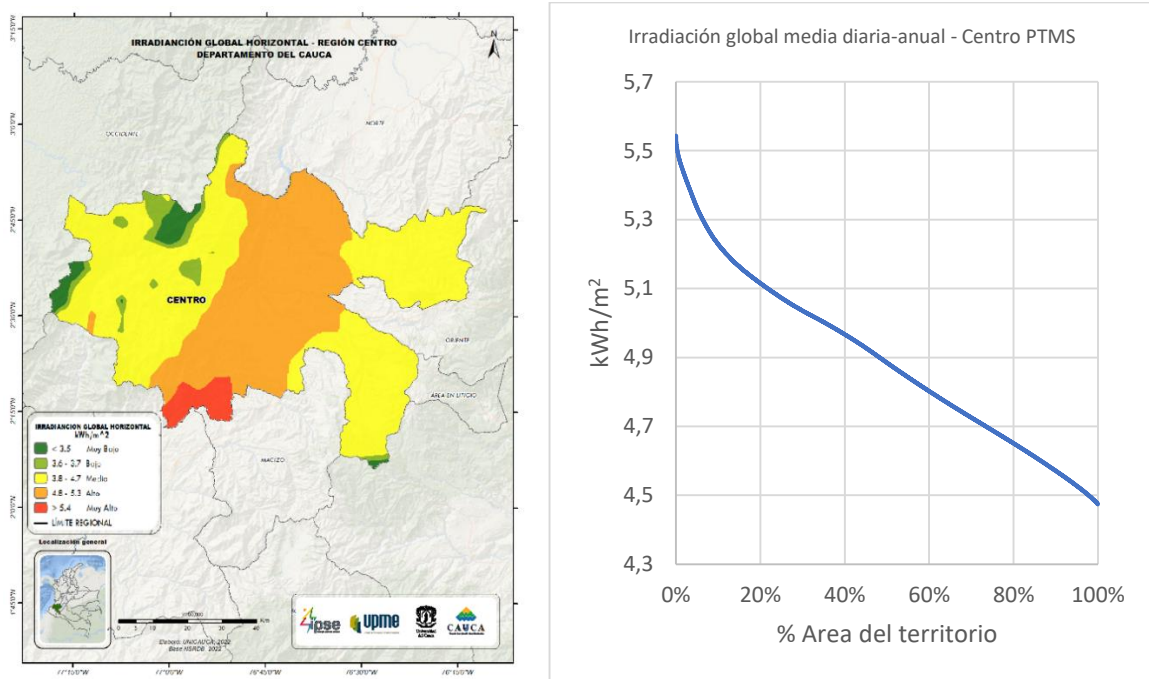


Figura 8 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m²] – Subregión Centro. Fuente: Global Solar Atlas

Con el ánimo de profundizar en el comportamiento del recurso solar de la subregión centro, se consultó el aplicativo PVGIS para determinar los valores promedio horario de los municipios con mayor potencial en la sub región, estos se muestran a continuación.

En la Tabla 2.4 y la Tabla 2.5 se presentan los valores de irradiación global horizontal para los municipios de Silvia y Morales respectivamente. Para el municipio de Silvia se observa que durante 6 meses (enero y de mayo a septiembre) se presentan valores de irradiación diarios superiores a la media de la subregión (4,5kWh/m²/día), mientras que, en el municipio de Morales se tienen 12 meses del año en el que el potencial promedio diario supera el valor medio de la subregión.

Tabla 2.4. Silvia - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 4 | 0 |
| 7 | 98 | 68 | 89 | 114 | 124 | 121 | 110 | 113 | 136 | 160 | 145 | 132 |
| 8 | 311 | 279 | 282 | 305 | 311 | 314 | 300 | 316 | 337 | 377 | 350 | 339 |
| 9 | 497 | 476 | 448 | 467 | 474 | 467 | 467 | 485 | 507 | 533 | 501 | 514 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|
| 10 | 608 | 560 | 508 | 553 | 560 | 562 | 591 | 570 | 597 | 591 | 511 | 573 |
| 11 | 631 | 579 | 536 | 578 | 597 | 616 | 655 | 584 | 603 | 555 | 504 | 536 |
| 12 | 611 | 553 | 546 | 546 | 584 | 622 | 664 | 599 | 601 | 535 | 483 | 525 |
| 13 | 569 | 544 | 536 | 552 | 554 | 611 | 660 | 599 | 615 | 521 | 456 | 501 |
| 14 | 513 | 513 | 503 | 506 | 521 | 556 | 606 | 575 | 572 | 467 | 428 | 442 |
| 15 | 418 | 420 | 420 | 405 | 426 | 464 | 505 | 481 | 451 | 357 | 319 | 344 |
| 16 | 310 | 310 | 309 | 301 | 300 | 334 | 380 | 348 | 324 | 255 | 231 | 245 |
| 17 | 75 | 95 | 94 | 84 | 68 | 65 | 67 | 72 | 67 | 60 | 55 | 63 |
| 18 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 4644 | 4398 | 4273 | 4409 | 4520 | 4734 | 5004 | 4742 | 4812 | 4417 | 3987 | 4212 |

Tabla 2.5. Morales - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 |
| 7 | 77 | 62 | 77 | 100 | 109 | 118 | 105 | 110 | 131 | 129 | 102 | 94 |
| 8 | 263 | 237 | 253 | 287 | 290 | 304 | 301 | 313 | 343 | 324 | 280 | 267 |
| 9 | 468 | 449 | 447 | 477 | 476 | 492 | 502 | 536 | 546 | 508 | 479 | 467 |
| 10 | 621 | 621 | 601 | 618 | 610 | 603 | 635 | 658 | 668 | 660 | 627 | 603 |
| 11 | 677 | 694 | 652 | 678 | 648 | 638 | 667 | 675 | 703 | 710 | 686 | 638 |
| 12 | 680 | 663 | 628 | 666 | 669 | 628 | 664 | 631 | 651 | 704 | 665 | 646 |
| 13 | 621 | 658 | 580 | 610 | 579 | 585 | 640 | 604 | 641 | 624 | 619 | 612 |
| 14 | 536 | 552 | 527 | 493 | 472 | 529 | 551 | 549 | 545 | 513 | 522 | 529 |
| 15 | 432 | 434 | 404 | 381 | 343 | 414 | 443 | 451 | 432 | 400 | 375 | 381 |
| 16 | 286 | 297 | 291 | 255 | 252 | 283 | 326 | 323 | 292 | 260 | 227 | 247 |
| 17 | 147 | 159 | 158 | 142 | 138 | 158 | 187 | 169 | 150 | 112 | 92 | 123 |
| 18 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 4810 | 4827 | 4620 | 4709 | 4588 | 4752 | 5023 | 5022 | 5102 | 4948 | 4676 | 4608 |

2.5. Solar - Subregión Macizo

La subregión Macizo cuenta con 7 municipios los cuales corresponden a un territorio de 6025 km². Debido a su ubicación geográfica cuenta con municipios ubicados entre los 236msnm y 3693msnm, con una altitud media de 1801msnm. Tal y como se puede observar en la **Figura 9**, la temperatura promedio de la subregión oscila entre los 11,1°C y los 24,6°C, con un valor medio de 17,5°C.

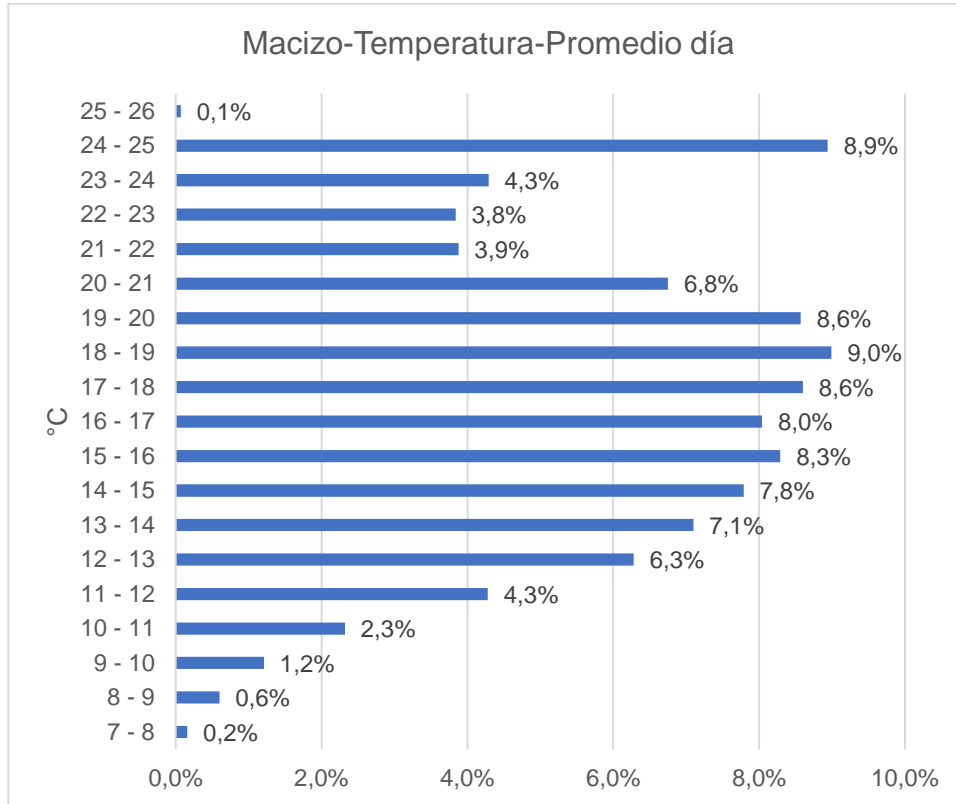


Figura 9 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión Macizo. Fuente: Global Solar Atlas

En la **Figura 10** se muestran los valores de la irradiación global horizontal promedio diario. En general se tiene que esta subregión cuenta con un potencial solar intermedio en el departamento, con valores de irradiación global horizontal que oscilan en el rango de 2,8-5,5 kWh/m²/día con un valor medio de 3,8 kWh/m²/día. Se tiene que en esta subregión los municipios con mayor potencial solar son Sotará y Rosas los cuales se encuentran ubicados en el norte de la subregión.

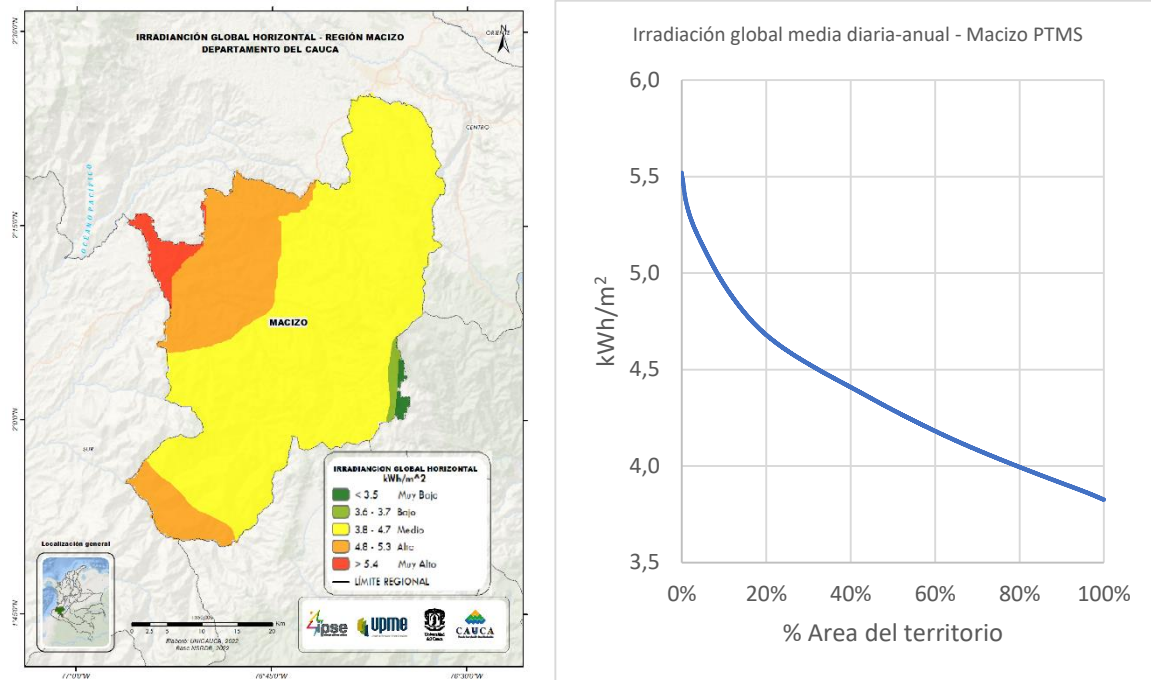


Figura 10 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m²] – Subregión Macizo. Fuente: Global Solar Atlas

Con el ánimo de profundizar en el comportamiento del recurso solar de la subregión macizo, se consultó el aplicativo PVGIS para determinar los valores promedio horario de los municipios con mayor potencial en la sub región, estos se muestran a continuación.

En la Tabla 2.6 y la Tabla 2.7 se presentan los valores de irradiación global horizontal para los municipios de Sotará y Rosas respectivamente. Para ambos municipios se observa que durante todo el año se presentan valores de irradiación diarios superiores a la media de la subregión (3,8kWh/m²/día).

Tabla 2.6. Sotará - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 |
| 7 | 35 | 35 | 41 | 55 | 60 | 54 | 52 | 58 | 66 | 71 | 59 | 47 |
| 8 | 115 | 122 | 127 | 147 | 138 | 130 | 116 | 132 | 271 | 313 | 196 | 121 |
| 9 | 407 | 392 | 412 | 467 | 467 | 472 | 490 | 537 | 566 | 529 | 452 | 434 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | 625 | 589 | 602 | 632 | 619 | 618 | 635 | 682 | 678 | 690 | 632 | 616 |
| 11 | 726 | 700 | 692 | 701 | 675 | 652 | 689 | 708 | 695 | 741 | 711 | 714 |
| 12 | 755 | 733 | 716 | 694 | 661 | 644 | 667 | 656 | 668 | 719 | 718 | 716 |
| 13 | 736 | 744 | 687 | 673 | 607 | 618 | 610 | 614 | 604 | 652 | 661 | 674 |
| 14 | 631 | 642 | 612 | 568 | 524 | 546 | 538 | 544 | 509 | 500 | 517 | 562 |
| 15 | 490 | 506 | 483 | 437 | 402 | 418 | 445 | 438 | 404 | 363 | 354 | 392 |
| 16 | 316 | 338 | 314 | 285 | 268 | 278 | 313 | 300 | 283 | 232 | 195 | 233 |
| 17 | 152 | 177 | 161 | 148 | 137 | 151 | 176 | 167 | 149 | 103 | 83 | 108 |
| 18 | 2 | 7 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 4989 | 4985 | 4849 | 4809 | 4561 | 4583 | 4736 | 4836 | 4893 | 4916 | 4579 | 4616 |

Tabla 2.7. Rosas - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 |
| 7 | 38 | 38 | 43 | 56 | 57 | 56 | 52 | 56 | 116 | 134 | 105 | 51 |
| 8 | 225 | 201 | 213 | 258 | 262 | 276 | 277 | 306 | 333 | 316 | 278 | 255 |
| 9 | 395 | 370 | 386 | 427 | 418 | 426 | 455 | 486 | 515 | 495 | 423 | 420 |
| 10 | 556 | 524 | 531 | 549 | 540 | 546 | 570 | 585 | 640 | 620 | 559 | 546 |
| 11 | 659 | 603 | 586 | 618 | 584 | 586 | 631 | 667 | 671 | 676 | 625 | 648 |
| 12 | 682 | 672 | 621 | 620 | 620 | 610 | 653 | 632 | 646 | 688 | 651 | 663 |
| 13 | 662 | 656 | 584 | 608 | 579 | 596 | 636 | 595 | 590 | 608 | 617 | 620 |
| 14 | 597 | 578 | 547 | 528 | 526 | 541 | 572 | 537 | 509 | 495 | 504 | 524 |
| 15 | 463 | 490 | 442 | 419 | 403 | 440 | 465 | 443 | 398 | 368 | 346 | 382 |
| 16 | 303 | 337 | 303 | 281 | 272 | 294 | 333 | 316 | 286 | 241 | 198 | 244 |
| 17 | 154 | 179 | 161 | 146 | 143 | 160 | 179 | 173 | 151 | 111 | 93 | 118 |
| 18 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 4736 | 4649 | 4419 | 4513 | 4405 | 4532 | 4826 | 4797 | 4854 | 4755 | 4403 | 4472 |

2.6. Solar - Subregión Oriente

La subregión Oriente cuenta con 3 municipios los cuales corresponden a un territorio de 2472 km². Debido a su ubicación geográfica cuenta con municipios ubicados entre los 1014msnm y 5165msnm, con una altitud media de 2774msnm. Tal y como se puede observar en la **Figura 11**, la temperatura promedio de la subregión oscila entre los 8,4°C y los 18,5°C, con un valor medio de 12,9°C.

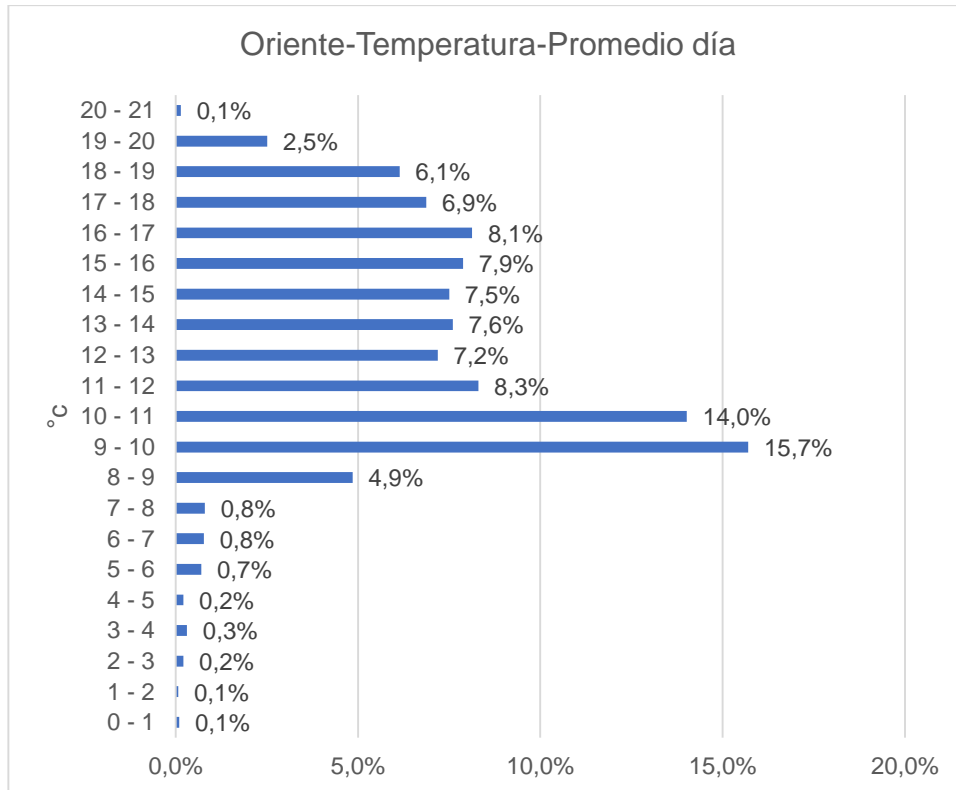


Figura 11 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión Oriente. Fuente: Global Solar Atlas

En la **Figura 12** se muestran los valores de la irradiación global horizontal promedio diario. En general se tiene que esta subregión cuenta con un potencial solar intermedio en el departamento, con valores de irradiación global horizontal que oscilan en el rango de 2,7-5,0 kWh/m²/día con un valor medio de 3,9 kWh/m²/día. Se tiene que en esta subregión los municipios con mayor potencial solar son Páez e Inzá los cuales se encuentran ubicados en el oriente de la subregión.

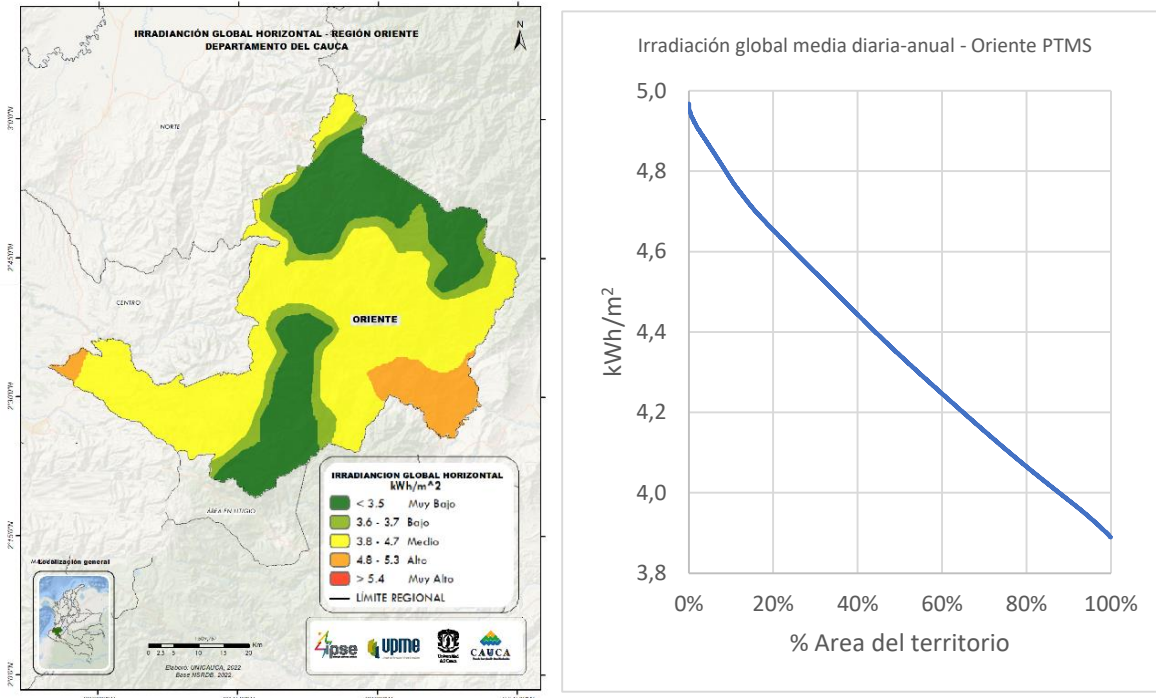


Figura 12 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m²] – Subregión Oriente. Fuente: Global Solar Atlas

Con el ánimo de profundizar en el comportamiento del recurso solar de la subregión oriente, se consultó el aplicativo PVGIS para determinar los valores promedio horario de los municipios con mayor potencial en la sub región, estos se muestran a continuación.

En la Tabla 2.8 y la Tabla 2.9 se presentan los valores de irradiación global horizontal para los municipios de Páez e Inzá respectivamente. Para ambos municipios se observa que todo el año se presentan valores de irradiación diarios superiores a la media de la subregión (3,9kWh/m²/día).

Tabla 2.8. Páez - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 0 |
| 7 | 100 | 81 | 79 | 100 | 101 | 90 | 76 | 86 | 114 | 150 | 145 | 131 |
| 8 | 307 | 270 | 259 | 273 | 277 | 247 | 236 | 251 | 288 | 344 | 338 | 342 |
| 9 | 479 | 447 | 415 | 419 | 412 | 384 | 382 | 395 | 448 | 489 | 478 | 493 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | 583 | 540 | 483 | 499 | 489 | 489 | 500 | 475 | 529 | 556 | 508 | 567 |
| 11 | 608 | 551 | 505 | 520 | 518 | 557 | 561 | 523 | 550 | 553 | 512 | 563 |
| 12 | 581 | 555 | 503 | 497 | 543 | 583 | 588 | 550 | 560 | 521 | 471 | 521 |
| 13 | 541 | 524 | 492 | 498 | 517 | 569 | 583 | 567 | 550 | 501 | 456 | 469 |
| 14 | 501 | 496 | 445 | 487 | 482 | 538 | 559 | 538 | 524 | 458 | 410 | 438 |
| 15 | 426 | 430 | 392 | 393 | 388 | 434 | 475 | 453 | 439 | 359 | 327 | 348 |
| 16 | 325 | 322 | 294 | 288 | 276 | 299 | 343 | 318 | 318 | 252 | 217 | 253 |
| 17 | 74 | 172 | 177 | 163 | 149 | 172 | 181 | 174 | 105 | 56 | 51 | 60 |
| 18 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 4526 | 4390 | 4045 | 4137 | 4152 | 4362 | 4485 | 4331 | 4427 | 4246 | 3917 | 4184 |

Tabla 2.9. Inzá - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 5 | 0 |
| 7 | 38 | 36 | 40 | 55 | 57 | 48 | 40 | 45 | 59 | 75 | 72 | 56 |
| 8 | 114 | 167 | 195 | 219 | 226 | 196 | 200 | 207 | 274 | 307 | 221 | 131 |
| 9 | 419 | 383 | 351 | 391 | 371 | 335 | 327 | 337 | 434 | 473 | 458 | 455 |
| 10 | 582 | 548 | 499 | 527 | 498 | 448 | 432 | 470 | 557 | 579 | 573 | 594 |
| 11 | 690 | 651 | 585 | 600 | 571 | 510 | 506 | 534 | 583 | 639 | 664 | 666 |
| 12 | 727 | 714 | 648 | 623 | 608 | 523 | 530 | 516 | 576 | 651 | 683 | 692 |
| 13 | 718 | 691 | 649 | 618 | 597 | 554 | 543 | 510 | 579 | 629 | 647 | 665 |
| 14 | 636 | 631 | 599 | 577 | 549 | 517 | 520 | 495 | 497 | 562 | 571 | 590 |
| 15 | 516 | 527 | 499 | 472 | 439 | 408 | 431 | 397 | 409 | 418 | 425 | 469 |
| 16 | 348 | 364 | 340 | 323 | 305 | 293 | 320 | 279 | 290 | 266 | 264 | 309 |
| 17 | 176 | 195 | 178 | 160 | 149 | 151 | 164 | 151 | 148 | 119 | 68 | 115 |
| 18 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 4966 | 4908 | 4585 | 4566 | 4370 | 3984 | 4015 | 3943 | 4406 | 4724 | 4650 | 4742 |

2.7. Solar - Subregión Sur

La subregión Sur cuenta con 7 municipios los cuales corresponden a un territorio de 3188 km². Debido a su ubicación geográfica cuenta con municipios ubicados entre los 526msnm y 3776msnm, con una altitud media de 1444msnm. Tal y como se puede observar en la **Figura 13**, la temperatura promedio de la subregión oscila entre los 12,7°C y los 24,5°C, con un valor medio de 20,5°C.

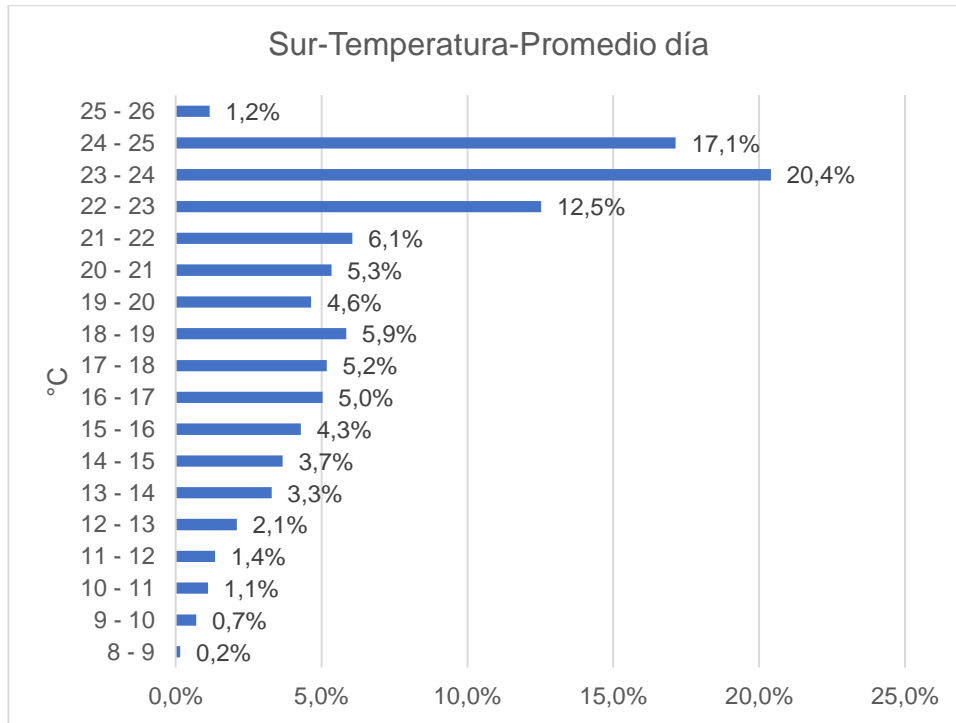


Figura 13 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión Sur. Fuente: Global Solar Atlas

En la **Figura 14** se muestran los valores de la irradiación global horizontal promedio diario. En general se tiene que esta subregión es la que cuenta con el mayor potencial solar del departamento, con valores de irradiación global horizontal que oscilan en el rango de 3.0-5.6 kWh/m²/día con un valor medio de 4,9 kWh/m²/día. Se tiene que en esta subregión los municipios con mayor potencial solar son Florencia y Mercaderes los cuales se encuentran ubicados en el suroccidente de la subregión.

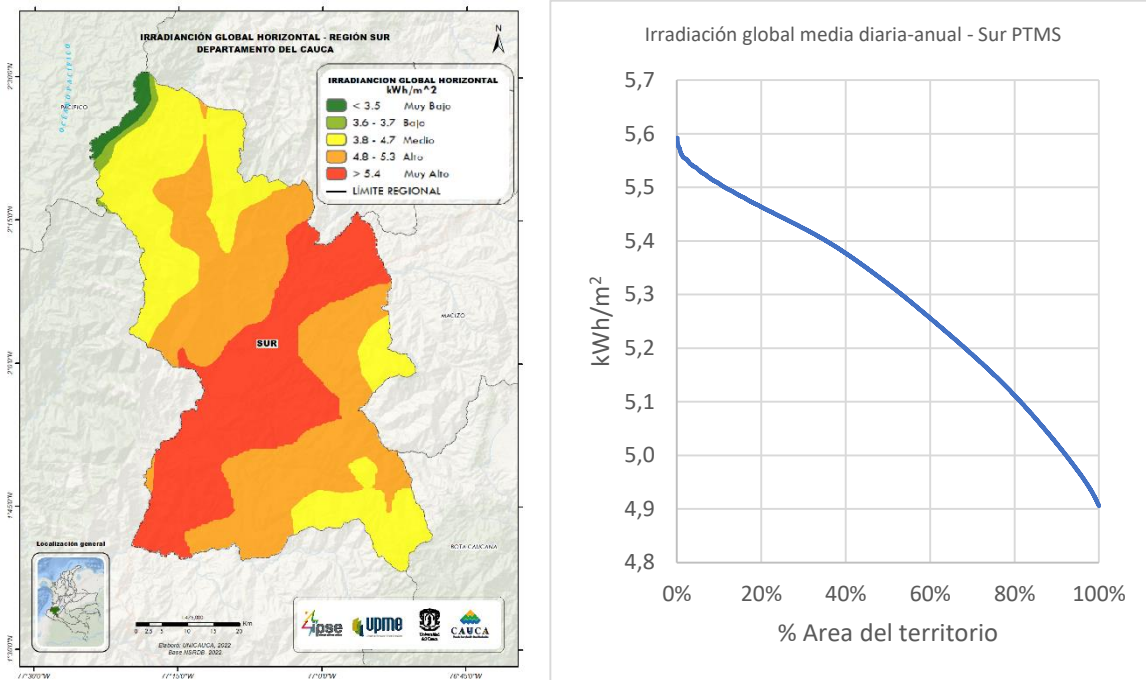


Figura 14 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m²] – Subregión Sur. Fuente: Global Solar Atlas

Con el ánimo de profundizar en el comportamiento del recurso solar de la subregión sur, se consultó el aplicativo PVGIS para determinar los valores promedio horario de los municipios con mayor potencial en la sub región, estos se muestran a continuación.

En la Tabla 2.10 y la Tabla 2.11 se presentan los valores de irradiación global horizontal para los municipios de Florencia y Mercaderes respectivamente. Para el municipio de Florencia se observa que durante 5 meses (enero, julio a octubre) se presentan valores de irradiación diarios superiores a la media de la subregión (4,9kWh/m²/día), mientras que, en el municipio de Mercaderes se tiene que todo el año el potencial promedio diario supera el valor medio de la subregión.

Tabla 2.10. Florencia - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 |
| 7 | 75 | 60 | 49 | 83 | 102 | 55 | 51 | 69 | 127 | 134 | 121 | 104 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 263 | 223 | 234 | 276 | 290 | 281 | 283 | 307 | 329 | 340 | 313 | 281 |
| 9 | 472 | 427 | 425 | 457 | 456 | 457 | 467 | 507 | 526 | 537 | 487 | 470 |
| 10 | 635 | 573 | 576 | 596 | 578 | 589 | 618 | 631 | 656 | 670 | 628 | 601 |
| 11 | 709 | 663 | 659 | 683 | 645 | 658 | 698 | 701 | 718 | 737 | 713 | 697 |
| 12 | 727 | 694 | 671 | 700 | 658 | 667 | 699 | 696 | 700 | 754 | 732 | 722 |
| 13 | 676 | 675 | 659 | 664 | 633 | 632 | 655 | 668 | 638 | 695 | 660 | 637 |
| 14 | 582 | 596 | 579 | 578 | 550 | 565 | 599 | 580 | 578 | 553 | 529 | 527 |
| 15 | 432 | 449 | 446 | 427 | 429 | 448 | 496 | 481 | 458 | 386 | 358 | 366 |
| 16 | 301 | 312 | 301 | 285 | 298 | 323 | 350 | 360 | 320 | 245 | 219 | 246 |
| 17 | 160 | 178 | 172 | 158 | 149 | 172 | 185 | 179 | 162 | 69 | 63 | 99 |
| 18 | 7 | 44 | 9 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 5038 | 4894 | 4779 | 4908 | 4789 | 4849 | 5102 | 5180 | 5214 | 5123 | 4824 | 4750 |

Tabla 2.11. Mercaderes - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| 7 | 42 | 55 | 68 | 93 | 105 | 106 | 100 | 107 | 131 | 127 | 114 | 68 |
| 8 | 261 | 221 | 237 | 270 | 284 | 287 | 292 | 304 | 338 | 332 | 291 | 271 |
| 9 | 463 | 430 | 437 | 451 | 448 | 471 | 483 | 524 | 548 | 521 | 477 | 459 |
| 10 | 618 | 583 | 602 | 608 | 592 | 603 | 641 | 683 | 691 | 681 | 633 | 614 |
| 11 | 733 | 691 | 720 | 697 | 684 | 689 | 717 | 745 | 769 | 774 | 742 | 724 |
| 12 | 766 | 739 | 741 | 742 | 707 | 694 | 718 | 722 | 720 | 782 | 783 | 773 |
| 13 | 735 | 722 | 722 | 719 | 666 | 642 | 670 | 668 | 623 | 738 | 745 | 742 |
| 14 | 664 | 637 | 643 | 619 | 583 | 552 | 588 | 582 | 556 | 618 | 634 | 650 |
| 15 | 542 | 530 | 504 | 482 | 449 | 460 | 465 | 451 | 439 | 443 | 465 | 469 |
| 16 | 355 | 362 | 338 | 316 | 296 | 298 | 334 | 318 | 303 | 272 | 270 | 293 |
| 17 | 184 | 199 | 187 | 155 | 148 | 159 | 181 | 176 | 160 | 121 | 110 | 140 |
| 18 | 9 | 44 | 12 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 5374 | 5214 | 5211 | 5155 | 4963 | 4963 | 5190 | 5281 | 5278 | 5410 | 5264 | 5203 |

2.8. Solar - Subregión Pacífico (Occidente)

La subregión Pacífico (Occidente) cuenta con 3 municipios los cuales corresponden a un territorio de 6429km². Debido a su ubicación geográfica cuenta con municipios ubicados entre los 0msnm y 3650msnm, con una altitud media de 403msnm. Tal y como se puede observar en la **Figura 15**, la

temperatura promedio de la subregión oscila entre los 16,9°C y los 26,3°C, con un valor medio de 24,5°C.

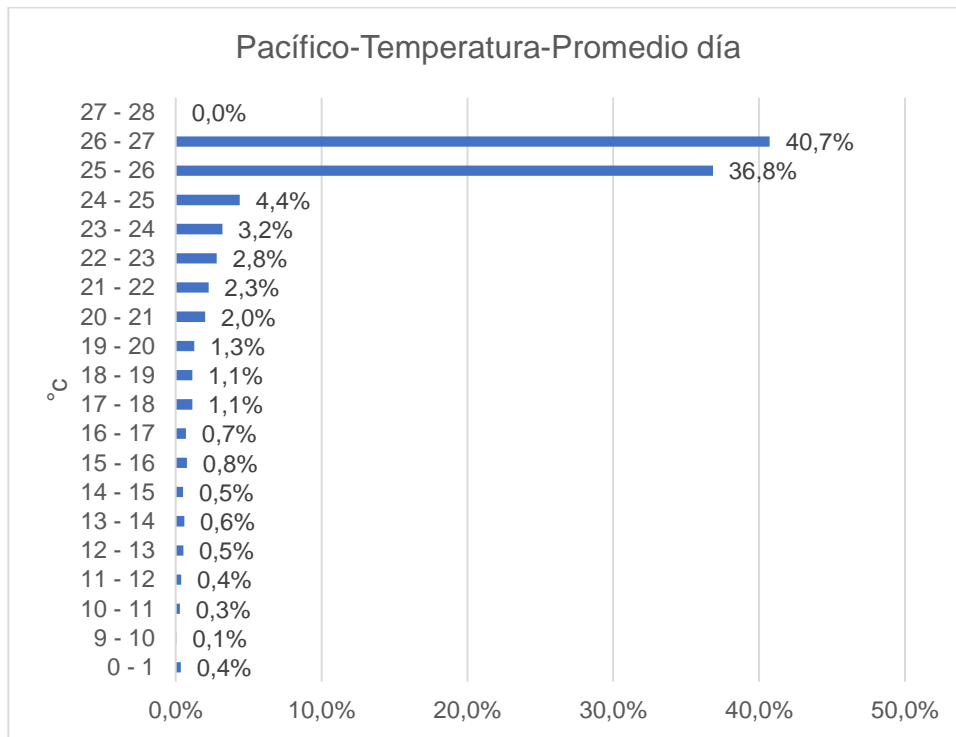


Figura 15 Temperatura promedio diario [°C] – Subregión Pacífico. Fuente: Global Solar Atlas

En la **Figura 16** se muestran los valores de la irradiación global horizontal promedio diario. En general se tiene que esta subregión es la que cuenta con el menor potencial solar del departamento, con valores de irradiación global horizontal que oscilan en el rango de 2,8-4,8kWh/m²/día con un valor medio de 3,9 kWh/m²/día. Se tiene que en esta subregión los municipios con mayor potencial solar son López de Micay y Guapi los cuales se encuentran ubicados en el occidente de la subregión.

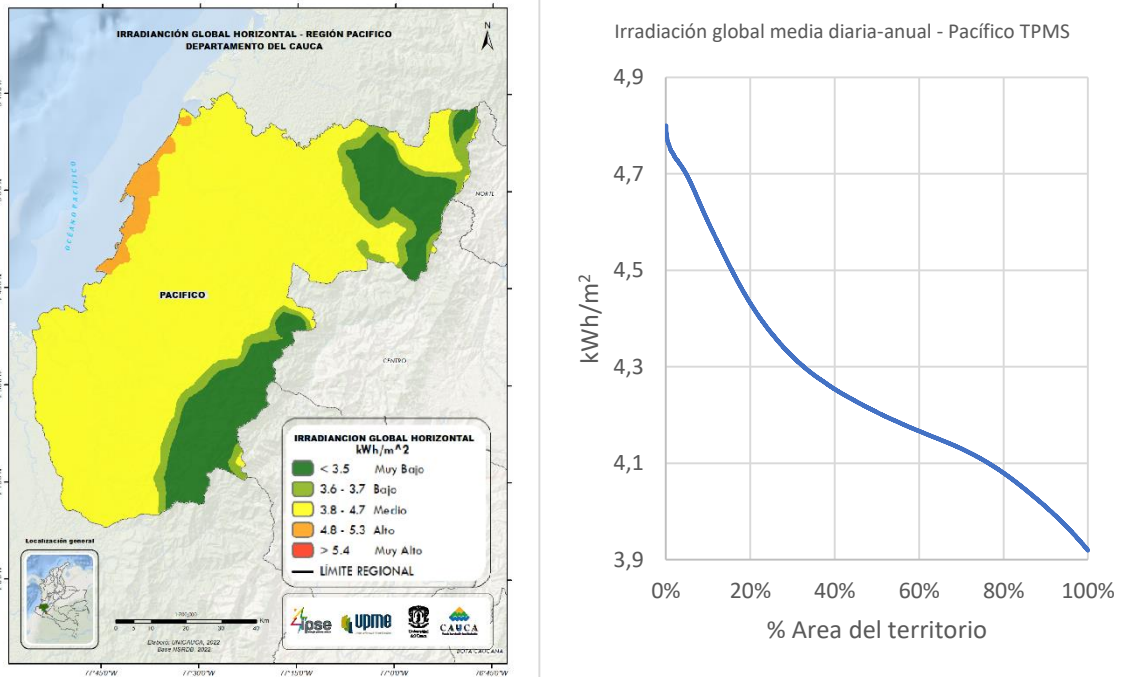


Figura 16 Irradiación global horizontal promedio diario [kWh/m²] – Subregión Pacífico. Fuente: Global Solar Atlas

Con el ánimo de profundizar en el comportamiento del recurso solar de la subregión sur, se consultó el aplicativo PVGIS para determinar los valores promedio horario de los municipios con mayor potencial en la sub región, estos se muestran a continuación.

En la Tabla 2.12 y la Tabla 2.13 se presentan los valores de irradiación global horizontal para los municipios de López de Micay y Guapi respectivamente. Para ambos municipios se observa que durante 9 meses del año se presentan valores de irradiación diarios superiores a la media de la subregión (3,9kWh/m²/día).

Tabla 2.12. López de Micay - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 50 | 46 | 53 | 81 | 89 | 94 | 85 | 82 | 87 | 91 | 86 | 81 |
| 8 | 177 | 171 | 188 | 244 | 258 | 257 | 243 | 239 | 250 | 247 | 229 | 219 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 9 | 346 | 343 | 362 | 421 | 430 | 422 | 411 | 416 | 399 | 420 | 389 | 378 |
| 10 | 487 | 501 | 515 | 575 | 561 | 529 | 529 | 547 | 529 | 521 | 495 | 486 |
| 11 | 550 | 594 | 606 | 667 | 612 | 595 | 588 | 599 | 560 | 574 | 555 | 530 |
| 12 | 592 | 618 | 635 | 704 | 646 | 583 | 596 | 602 | 575 | 605 | 575 | 567 |
| 13 | 541 | 572 | 604 | 656 | 575 | 535 | 552 | 561 | 549 | 555 | 534 | 491 |
| 14 | 445 | 490 | 515 | 540 | 487 | 452 | 477 | 478 | 450 | 466 | 427 | 425 |
| 15 | 325 | 370 | 373 | 369 | 321 | 309 | 330 | 324 | 305 | 306 | 259 | 287 |
| 16 | 195 | 228 | 238 | 205 | 188 | 191 | 200 | 207 | 168 | 169 | 146 | 169 |
| 17 | 95 | 118 | 120 | 110 | 96 | 103 | 122 | 111 | 97 | 88 | 71 | 84 |
| 18 | 1 | 29 | 7 | 1 | 1 | 1 | 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 3804 | 4081 | 4215 | 4572 | 4264 | 4071 | 4153 | 4167 | 3970 | 4043 | 3767 | 3715 |

Tabla 2.13. Guapi - Irradiación global horizontal Wh/m². Fuente PVGIS

| Hora | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 45 | 39 | 53 | 75 | 78 | 78 | 71 | 67 | 80 | 80 | 77 | 65 |
| 8 | 162 | 161 | 176 | 230 | 222 | 209 | 203 | 212 | 229 | 220 | 208 | 189 |
| 9 | 310 | 324 | 344 | 396 | 377 | 365 | 361 | 375 | 367 | 353 | 341 | 326 |
| 10 | 442 | 468 | 496 | 540 | 478 | 476 | 467 | 485 | 475 | 482 | 448 | 440 |
| 11 | 532 | 544 | 591 | 617 | 566 | 542 | 529 | 543 | 548 | 531 | 513 | 509 |
| 12 | 552 | 580 | 640 | 633 | 588 | 559 | 567 | 585 | 546 | 551 | 535 | 517 |
| 13 | 545 | 574 | 628 | 636 | 569 | 546 | 560 | 609 | 558 | 568 | 526 | 495 |
| 14 | 481 | 522 | 582 | 579 | 513 | 492 | 514 | 542 | 513 | 506 | 514 | 489 |
| 15 | 375 | 440 | 433 | 426 | 370 | 351 | 385 | 392 | 374 | 384 | 371 | 363 |
| 16 | 249 | 291 | 290 | 257 | 222 | 218 | 225 | 243 | 219 | 224 | 233 | 228 |
| 17 | 130 | 155 | 148 | 129 | 108 | 108 | 125 | 124 | 111 | 101 | 105 | 113 |
| 18 | 15 | 37 | 23 | 1 | 1 | 4 | 33 | 13 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Acumulada diaria | 3837 | 4136 | 4405 | 4519 | 4092 | 3946 | 4040 | 4189 | 4020 | 4001 | 3872 | 3733 |

2.9. Resumen De Información Obtenida Del Recurso Solar

En la

Tabla 2.14 y Tabla 2.15 se presenta el resumen del potencial solar de las subregiones del departamento del Cauca, allí se puede observar que la subregión Sur es la que presenta el mayor

potencial solar seguida de la subregión Norte. Igualmente en la Tabla 2.16 se presentan los principales municipios en términos de potencial solar por subregión, se tiene que los municipios con mayor potencial en el departamento son Mercaderes en la subregión Sur y Padilla en la subregión Norte.

Tabla 2.14. Resumen subregiones – Datos IDEAM

| Subregión | IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL PROMEDIO DIARIO ANUAL (kWh/m ² /día) | | DISTRIBUCIÓN DEL BRILLO SOLAR PROMEDIO DIARIO ANUAL (Horas Al Día) | |
|----------------------|--|-----|---|-----|
| | min | max | min | max |
| Norte | 3,5 | 5,0 | 3,0 | 6,0 |
| Centro | 3,0 | 4,5 | 2,0 | 5,0 |
| Macizo | 3,5 | 5,0 | 3,0 | 5,0 |
| Oriente | 2,5 | 4,5 | 2,0 | 5,0 |
| Sur | 4,0 | 5,0 | 4,0 | 6,0 |
| Pacífico (Occidente) | 3,0 | 4,5 | 2,0 | 5,0 |

Tabla 2.15. Resumen subregiones – Datos GLOBAL SOLAR ATLAS

| Subregión | IGH promedio del 10% del TMS (kWh/m ²) | IGH promedio del 50% del TMS (kWh/m ²) | IGP promedio del 100% del territorio (kWh/m ²) | IGH mínima (kWh/m ²) | IGH máxima (kWh/m ²) |
|------------|--|--|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Norte | 5,4 | 5,1 | 4,7 | 3,4 | 5,5 |
| Centro | 5,2 | 4,9 | 4,5 | 3,0 | 5,5 |
| Macizo | 4,9 | 4,3 | 3,8 | 2,8 | 5,5 |
| Oriente | 4,8 | 4,3 | 3,9 | 2,7 | 5,0 |
| Sur | 5,5 | 5,3 | 4,9 | 3,0 | 5,6 |
| Pacífico | 4,6 | 4,2 | 3,9 | 2,8 | 4,8 |
| Todo Cauca | 5,3 | 4,7 | 4,2 | 2,7 | 5,6 |

Tabla 2.16. Resumen municipios con mayor potencial por región – IGP (kWh/m²/día) - Datos PVGIS

| Subregión | Municipio | Promedio | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|-----------|-----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Norte | Miranda | 4,8 | 5,1 | 5,2 | 4,9 | 4,8 | 4,6 | 4,5 | 4,6 | 4,5 | 4,8 | 5,0 | 4,8 | 4,9 |
| | Padilla | 5,1 | 5,4 | 5,5 | 5,3 | 5,1 | 4,8 | 4,7 | 5,0 | 4,9 | 5,1 | 5,2 | 5,1 | 5,2 |
| Centro | Silvia | 4,5 | 4,6 | 4,4 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,7 | 5,0 | 4,7 | 4,8 | 4,4 | 4,0 | 4,2 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Morales | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,8 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 4,9 | 4,7 | 4,6 |
| Macizo | Sotará | 4,8 | 5,0 | 5,0 | 4,8 | 4,8 | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 4,6 | 4,6 |
| | Rosas | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,4 | 4,5 | 4,4 | 4,5 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 4,8 | 4,4 | 4,5 |
| Oriente | Páez | 4,3 | 4,5 | 4,4 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,4 | 4,5 | 4,3 | 4,4 | 4,2 | 3,9 | 4,2 |
| | Inzá | 4,5 | 5,0 | 4,9 | 4,6 | 4,6 | 4,4 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 4,4 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| Sur | Florencia | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,8 | 4,9 | 4,8 | 4,8 | 5,1 | 5,2 | 5,2 | 5,1 | 4,8 | 4,8 |
| | Mercaderes | 5,2 | 5,4 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,4 | 5,3 | 5,2 |
| Pacífico | López de Micay | 4,1 | 3,8 | 4,1 | 4,2 | 4,6 | 4,3 | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4,0 | 4,0 | 3,8 | 3,7 |
| | Guapi | 4,1 | 3,8 | 4,1 | 4,4 | 4,5 | 4,1 | 3,9 | 4,0 | 4,2 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,7 |

3. Energía eólica

3.1. Descripción

La energía eólica proviene de un proceso de conversión energética que transforma la energía cinética del viento, en energía eléctrica haciendo uso del principio de inducción electromagnética. Dado que este tipo de fuente de energía, no utiliza ningún tipo de energético primario diferente a la velocidad del viento para producir electricidad, entonces se puede afirmar que en su etapa de producción tiene un comportamiento limpio, libre de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, se debe aclarar que, a pesar de lo anterior cualquier tipo de fuente de energía renovable siempre va a necesitar de materiales de fabricación que son de tipo no renovable (acero, cobre, neodimio, etc.) y va a tener una vida útil finita, lo cual inherentemente conlleva un grado de contaminación y daño al medio ambiente.

A pesar de lo anterior, la energía eólica se considera una muy buena alternativa para dar solución a necesidades energéticas de pequeña, mediana y gran escala; siempre y cuando se evalúe correctamente su viabilidad técnico-económica, la cual dependerá de factores climáticos locales (e.g. la velocidad del viento, la rugosidad de la superficie y la densidad del aire, etc.), factores logísticos de la región (e.g. accesibilidad) y factores de riesgo (e.g. amenaza sísmica, orden público).

Para la estimación del potencial bruto de energía eólica se tendrán en cuenta solo los factores climáticos, lo cual permite conocer la cantidad de energía disponible. El cálculo del potencial bruto de energía eólica, requiere de conocimiento local de la calidad del viento y de la superficie, puesto que la energía extraíble del viento es directamente proporcional a la densidad del aire, al área impactada perpendicularmente por el viento (Área del rotor, depende del diámetro de las hélices) y al cubo de la velocidad del viento. A continuación, se presenta la expresión que permite determinar el valor de densidad de potencia eólica (DPE).

$$DPE = \frac{\text{Potencia Eólica}}{\text{Area del rotor}} = \frac{1}{2} \cdot (\text{Densidad del aire}) \cdot (\text{Velocidad del viento})^3$$

Lo anterior, implica que leves variaciones en la velocidad del viento pueden generar grandes variaciones en la energía disponible, lo cual no solo afecta la continuidad del servicio eléctrico, sino que podría generar condiciones de turbulencia que pongan en riesgo la integridad mecánica de los aerogeneradores.

Es por lo anterior, que se requiere información asociada a la variabilidad del recurso eólico en múltiples escalas de tiempo (horaria, diaria, mensual, anual), y a diferentes alturas sobre la superficie en la cual se ubicarán los equipos, esto para poder cuantificar y dimensionar, tanto el nivel de energía extraíble como los esfuerzos mecánicos en las estructuras. Una vez se tenga el potencial bruto, se estima la viabilidad de su explotación teniendo en cuenta los posibles sobrecostos o infactibilidades impuestas por aspectos asociados a la condición vial, el riesgo sísmico, el riesgo de orden público y a la disposición de uso del suelo que se tenga.

3.2. **Potencial energético eólico**

Para estimar apropiadamente el potencial energético eólico bruto, resulta conveniente establecer una clasificación de las subregiones del departamento en términos del grado de aprovechamiento, esto con el objeto de concentrar esfuerzos en la depuración de la información de aquellas subregiones que resulten de mayor interés. En la **Figura 17** se muestra el promedio anual de la velocidad del viento a diferentes alturas sobre la superficie de cada región del departamento del Cauca, esta información proviene del atlas de viento del IDEAM. Con el ánimo de actualizar la información asociada a la velocidad del viento del departamento del Cauca, se consultó la herramienta Global Wind Atlas, la cual se puede consultar en el siguiente link <https://globalwindatlas.info/>. Los resultados del análisis de la información mencionada se muestran en las siguientes secciones discriminados por sub regiones.

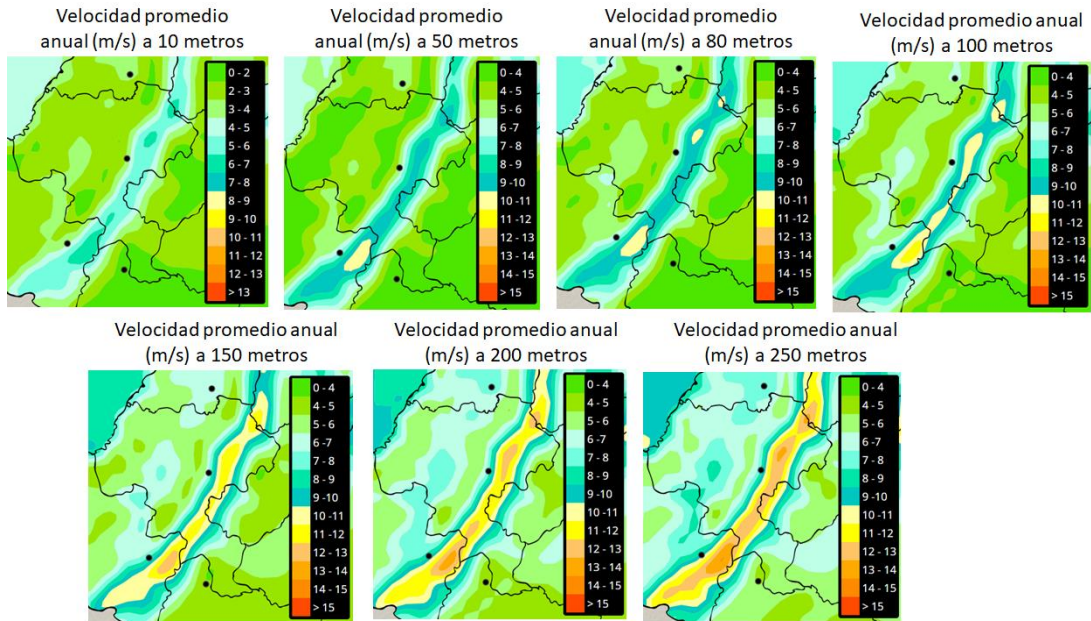


Figura 17 Velocidad promedio del viento (m/s) a múltiples alturas. Fuente: IDEAM

En la **Figura 18**, **Figura 19** y **Figura 20** se presentan la velocidad del viento (m/s) y el potencial de densidad de potencia (W/m^2) a 10m, 50m y 150m de altura respectivamente.

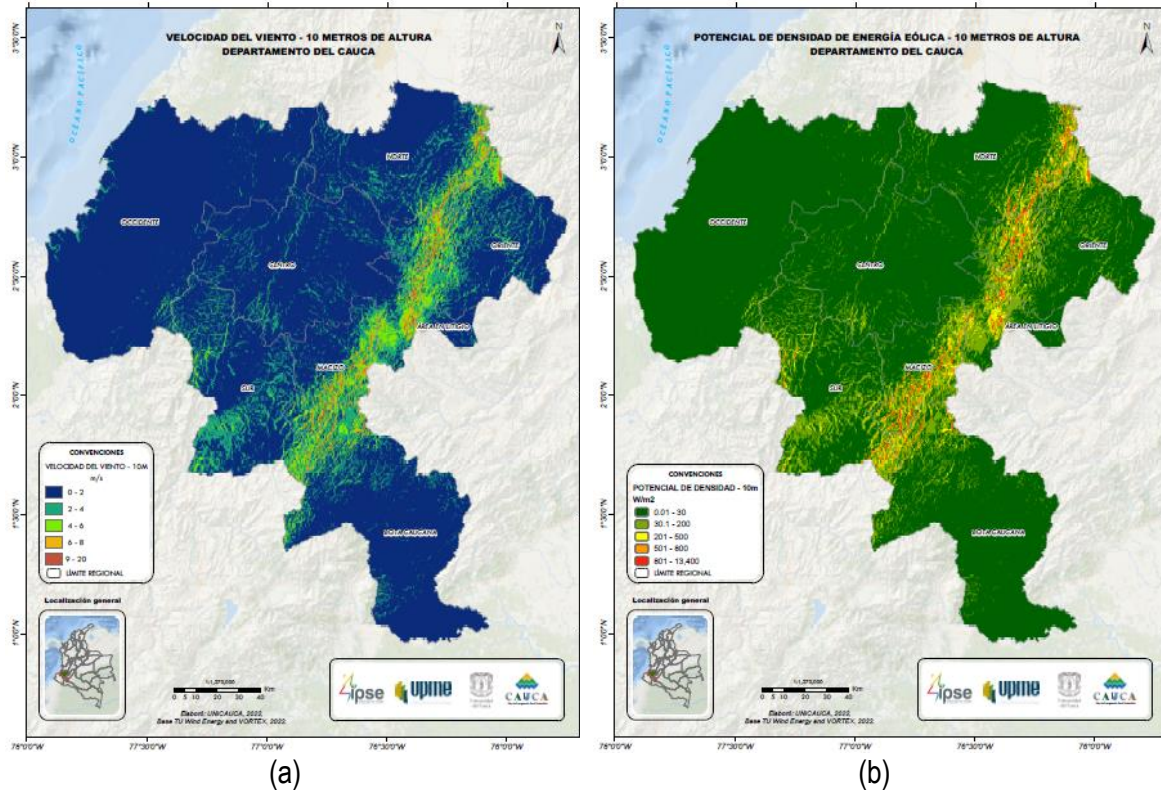


Figura 18 Potencial eólico a 10m de altura; (a)Velocidad promedio del viento (m/s), (b) Potencial de densidad de potencia (W/m^2). Fuente de datos: Global Wind Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA

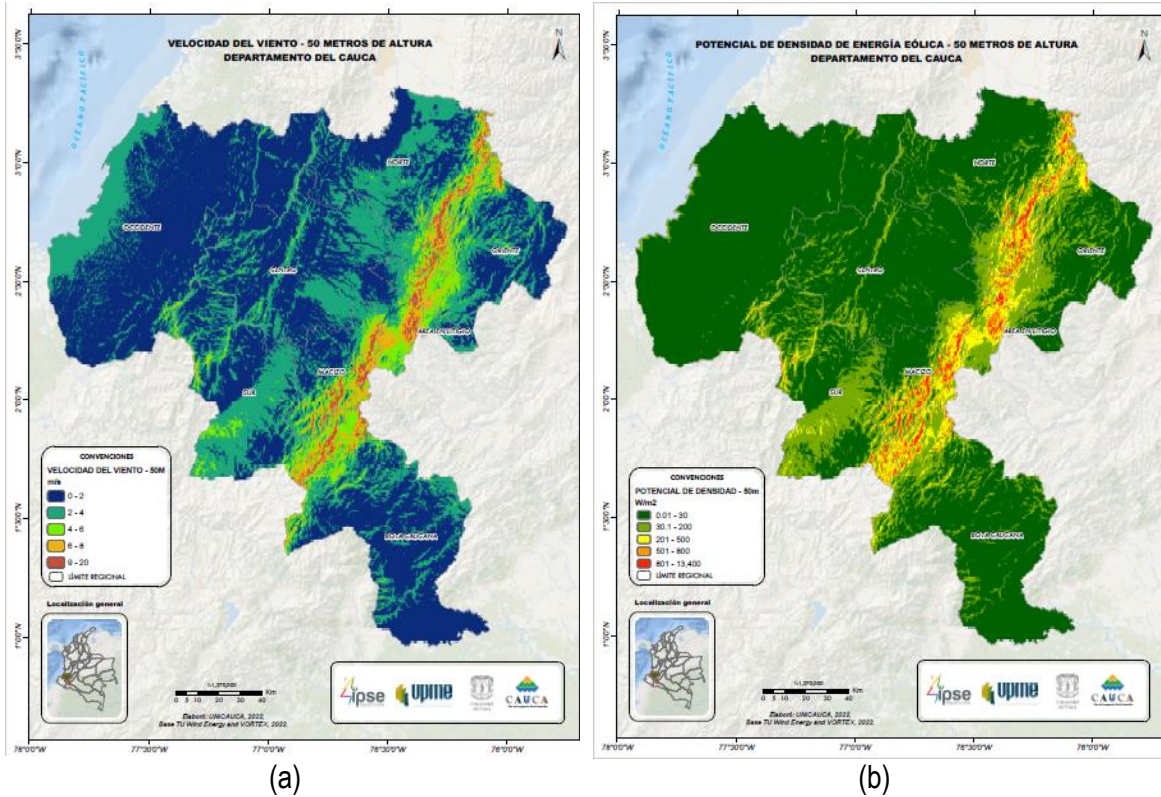


Figura 19 Potencial eólico a 50m de altura; (a)Velocidad promedio del viento (m/s), (b) Potencial de densidad de potencia (W/m^2). Fuente de datos: Global Wind Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA

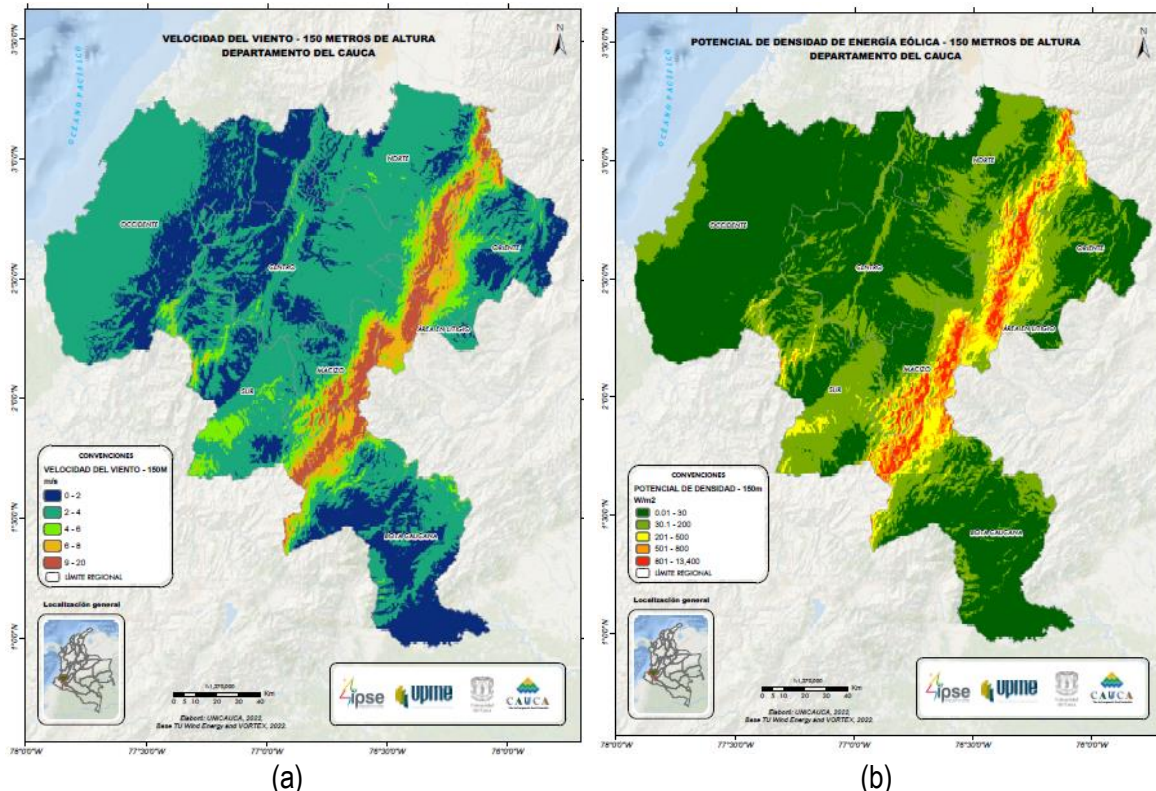


Figura 20 Potencial eólico a 150m de altura; (a) Velocidad promedio del viento (m/s), (b) Potencial de densidad de potencia (W/m^2). Fuente de datos: Global Wind Atlas, Elaboración: PERS-CAUCA

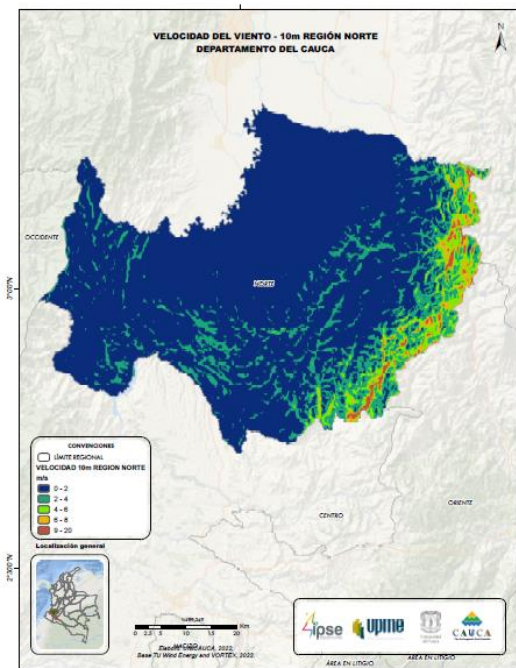
3.3. Eólico - Subregión Norte

En la **Figura 21** se presentan los mapas de distribución de la velocidad promedio del viento en la subregión norte, estos se muestran para diferentes alturas (10m, 50m y 150m) con la intención de caracterizar el potencial energético a diferentes escalas de capacidad, note que a medida que la altura incrementa, también lo hace la velocidad del viento y por ende la energía extraíble. En este sentido, resulta relevante determinar la distribución espacial del valor promedio de la velocidad del viento, para esto se presentan las curvas de velocidad promedio contra porcentaje del área del territorio con más viento, estas curvas se obtienen ordenando de mayor a menor todos los datos de velocidad de viento disponibles para cada subregión y cada altura, posteriormente se promedian los primeros N datos de velocidad del viento, donde N corresponde al número de datos equivalentes al P por ciento de los datos disponibles para la subregión bajo estudio; con esto se tiene el valor de viento promedio correspondiente al área que representa el P por ciento del territorio con más viento, y se repite el proceso para múltiples valores de P.

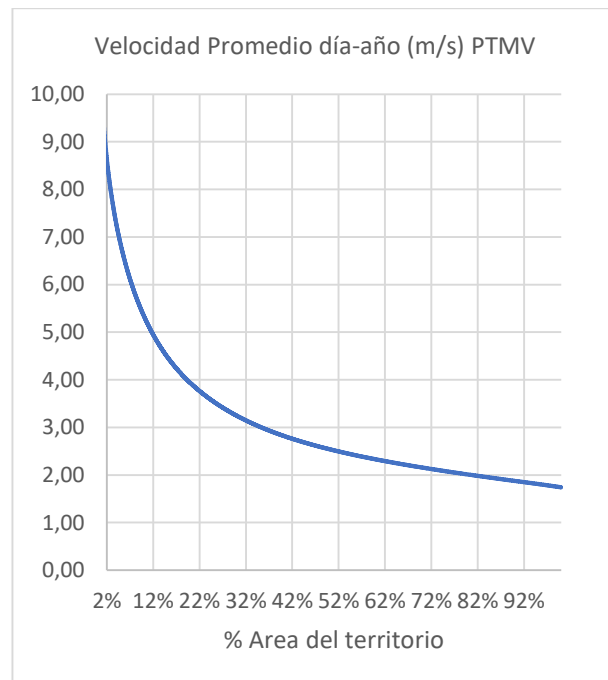
La **Figura 21(a-b)** contiene la información de velocidad del viento de las subregión Norte a una altura de 10m, se observa que los valores promedio de viento para el 10%, 50% y 100% del área con más viento de la subregión a dicha altura son 5,34m/s, 2,54m/s y 1,74m/s respectivamente, donde el valor asociado al 100% corresponde a la velocidad promedio de toda la subregión. Igualmente, se tiene que la ubicación de las áreas con más viento se encuentra en la zona oriental de la subregión Norte, puntualmente en los municipios de Corinto, Toribío y Jambaló. Este comportamiento se repite para las alturas de 50m y 150m, cuyos valores se presentan en la **Figura 21(c-d)** y **Figura 21(e-f)** respectivamente. En la Tabla 3.1 se presentan los valores de velocidad promedio y velocidad mínima y máxima de toda la subregión Norte a diferentes alturas.

Tabla 3.1. Velocidad del viento subregión Norte.

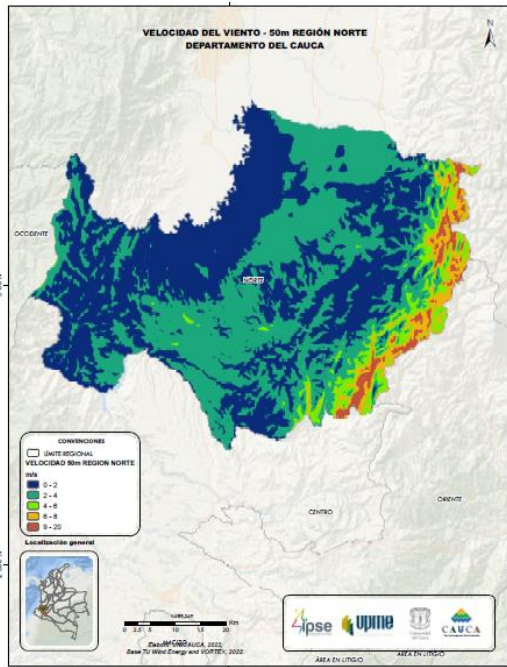
| Altura | Velocidad promedio del 10% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 50% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 100% del territorio (m/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|--------|--|--|--|------------------------|------------------------|
| 10m | 5,34 | 2,54 | 1,74 | 0,06 | 17,16 |
| 50m | 6,75 | 3,41 | 2,52 | 0,07 | 14,86 |
| 150m | 7,91 | 4,17 | 3,19 | 0,67 | 14,03 |



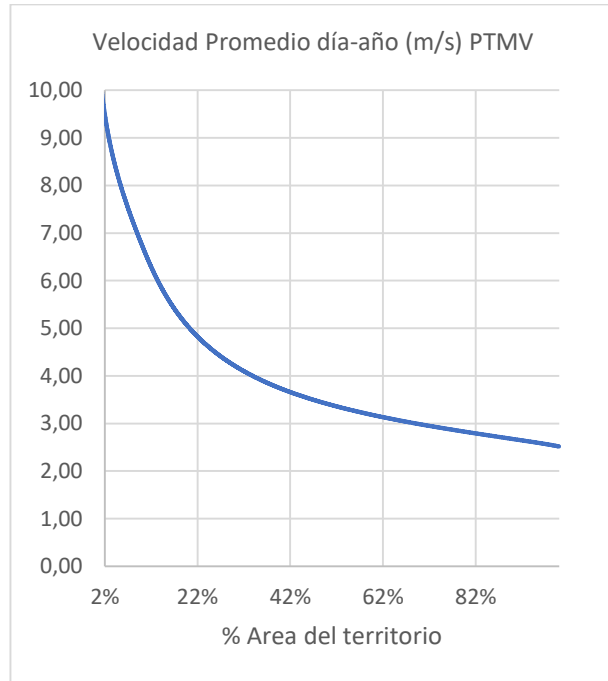
(a)



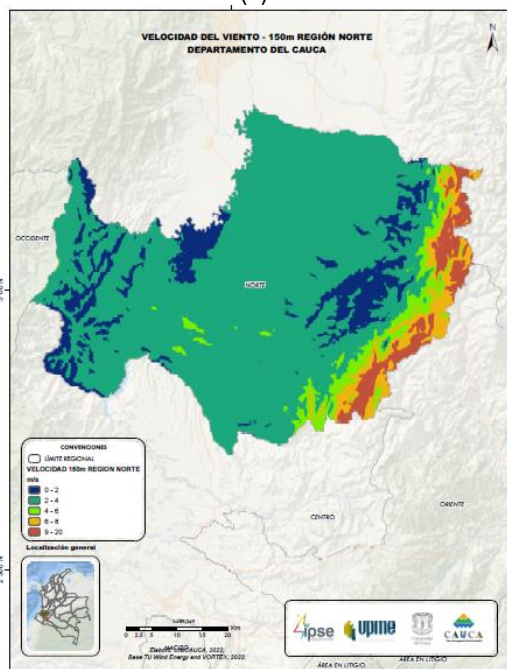
(b)



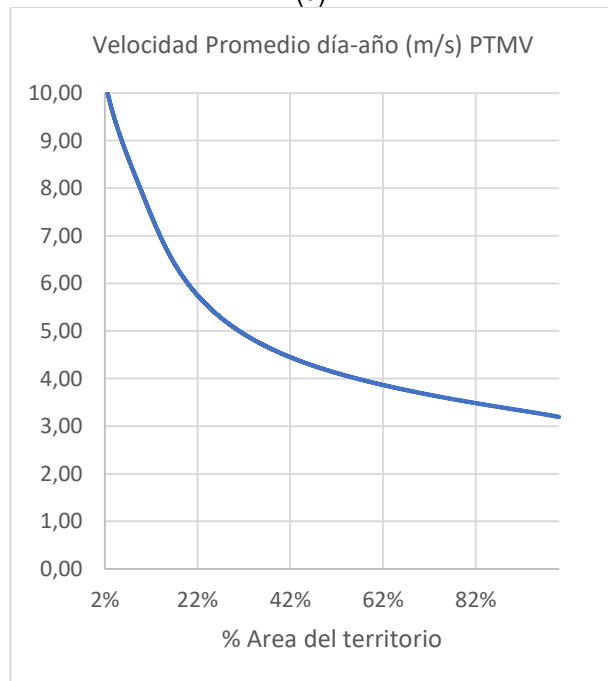
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 21 Velocidad promedio del viento (m/s) Norte; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la **Figura 22** se presenta el porcentaje de variación horario de la velocidad del viento, este porcentaje está referido al valor promedio anual de la velocidad de toda la subregión Norte, y se presenta para cada mes del año. Igualmente, la **Figura 23** muestra los datos de porcentaje de variación de la velocidad del viento, pero promediados a nivel anual, es decir muestra la variación de la velocidad del viento promedio anual para cada hora del día. Mientras que la **Figura 24**, presenta la variación promedio mensual de la velocidad del viento.



Figura 22 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Norte – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas

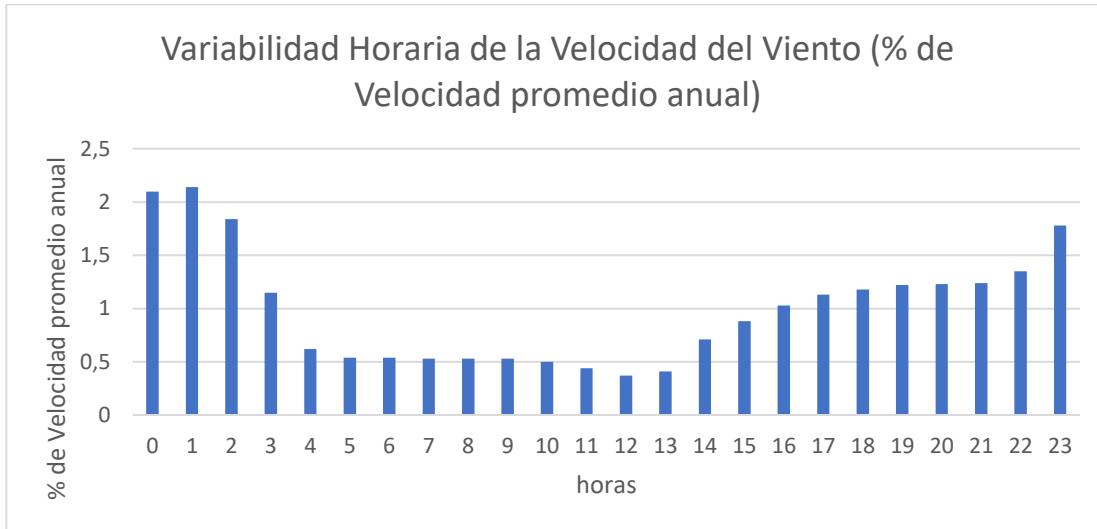


Figura 23 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Norte – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

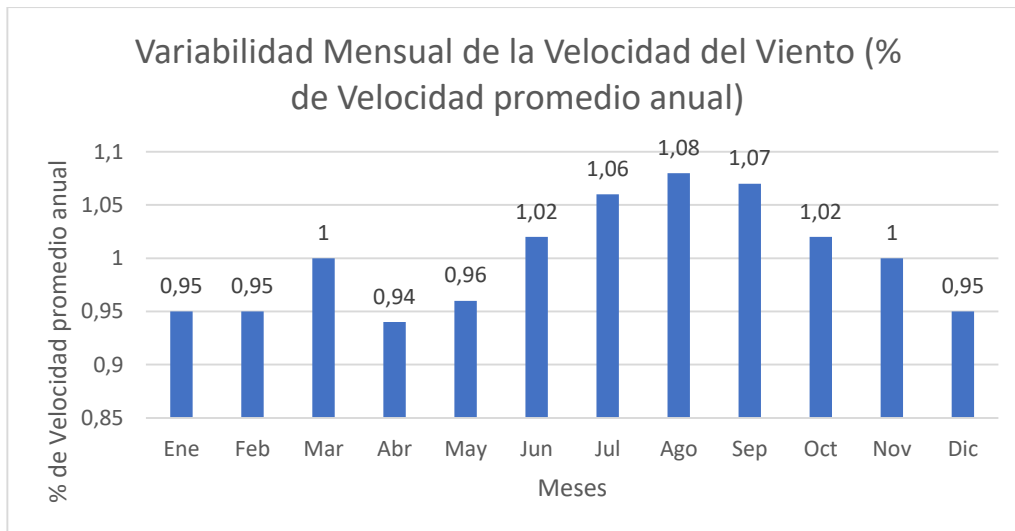


Figura 24 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Norte – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

De la información presente en las figuras anteriormente descritas, se tiene que la subregión Norte presenta un patrón de comportamiento donde predominan las velocidades altas en la noche, principalmente en la franja horaria entre la media noche y las 3am. De igual manera, se tiene que la intensidad del viento se mantiene relativamente uniforme durante el año, mostrando un leve incremento de intensidad de viento en los meses entre junio y noviembre.

Por otro lado, se tiene que a pesar de que la velocidad del viento es el factor que más influye en la cantidad de energía aprovechable del recurso eólico, no es el único, puesto que la potencia extraíble depende de forma directamente proporcional a la densidad del aire a la altura en la que se ubiquen los aerogeneradores, así como del área de contacto entre el viento y las aspas del generador. En este sentido, se tiene que para estimar el potencial energético del recurso eólico resulta conveniente calcular la densidad de potencia de cada ubicación espacial, dicha densidad es independiente de las características del aerogenerador (área transversal, ángulo de ataque de las aspas, etc.) y solo depende de la velocidad promedio del viento y de la densidad del aire a la altura de interés. En la **Figura 25** se muestra la densidad promedio de potencia para diferentes porcentajes del área con más viento del territorio de las subregión Norte para alturas de 10m, 50m, y 150m.

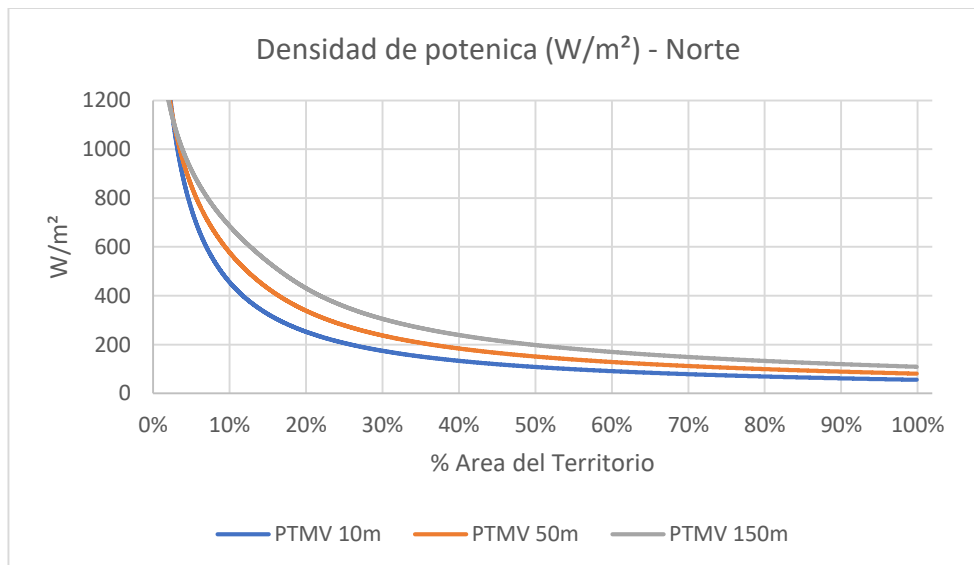


Figura 25 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Norte. Fuente datos: Global Wind Atlas

Se puede observar en la **Figura 25** que el efecto de la densidad para cada altura hace que la densidad de potencia disponible del recurso eólico para la subregión Norte sea muy similar para las tres alturas bajo estudio. En la Tabla 3.2 se muestran los valores promedio de la densidad de potencia para diferentes alturas y para el 10%, 50% y 100% de las áreas con más viento de la subregión. Note que para el 100% del territorio de esta subregión, se presentan promedios de densidad de potencia que difieren aproximadamente en $25 W/m^2$ entre alturas, lo cual sugiere que en la mayoría del territorio, la altura de 10m es la más conveniente para implementar infraestructura de aprovechamiento del recurso eólico, pues requiere de inversiones de menor costo y permite un aprovechamiento similar al de las demás alturas.

Tabla 3.2. Densidad promedio de potencia [W/m^2] subregión Norte.

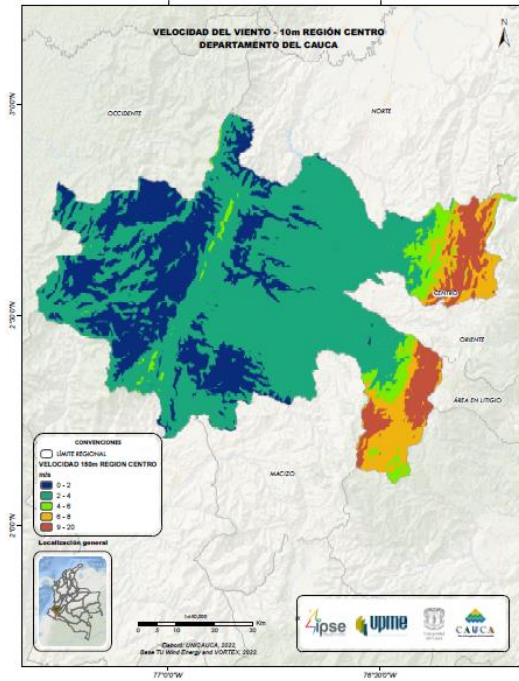
| Porcentaje [%] | 10m | 50m | 150m |
|----------------|--------|--------|--------|
| 10 | 459,17 | 581,04 | 689,02 |
| 50 | 108,44 | 151,35 | 198,36 |
| 100 | 55,65 | 80,71 | 109,00 |

3.4. Eólico - Subregión Centro

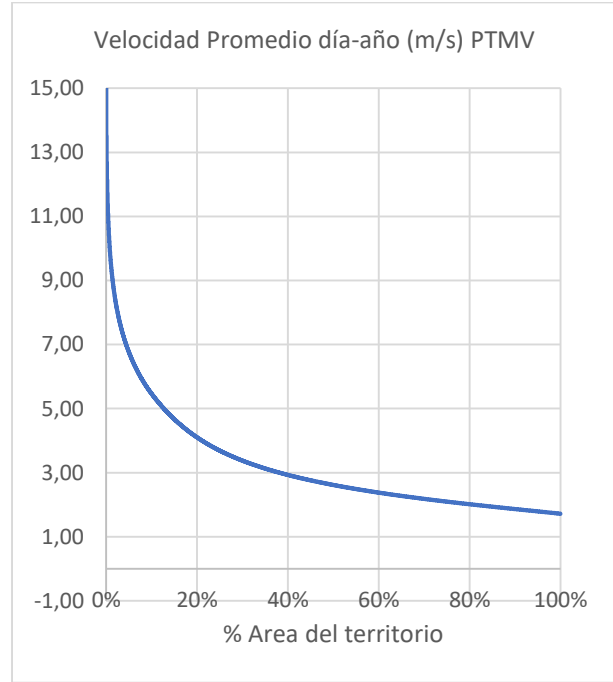
La **Figura 26(a-b)** contiene la información de velocidad del viento de las subregión Centro a una altura de 10m, se observa que los valores promedio de viento para el 10%, 50% y 100% del área con más viento de la subregión a dicha altura son 5,46m/s, 2,62m/s y 1,72m/s respectivamente, donde el valor asociado al 100% corresponde a la velocidad promedio de toda la subregión. Igualmente, se tiene que la ubicación de las áreas con más viento se encuentra en la zona oriental de la subregión Centro, puntualmente en los municipios de Silvia y Puracé. Este comportamiento se repite para las alturas de 50m y 150m, cuyos valores se presentan en la **Figura 26(c-d)** y **Figura 26(e-f)** respectivamente. En la **Tabla 3.3** se presentan los valores de velocidad promedio y velocidad mínima y máxima de toda la subregión Centro a diferentes alturas.

Tabla 3.3. Velocidad del viento subregión Centro.

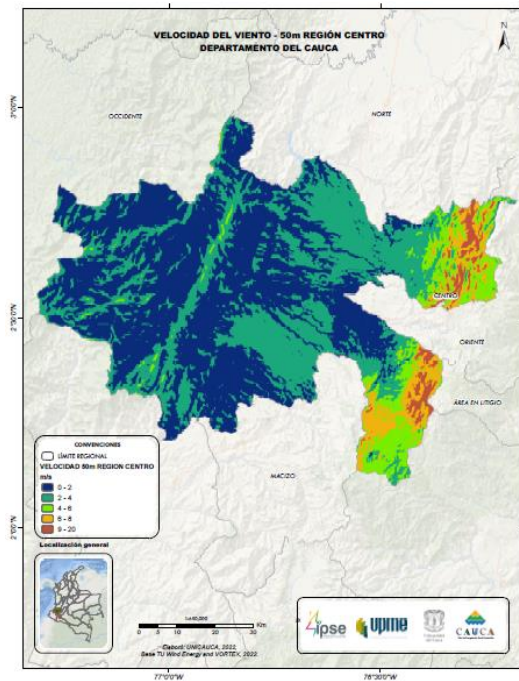
| Altura | Velocidad promedio del 10% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 50% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 100% del territorio (m/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|--------|--|--|--|------------------------|------------------------|
| 10m | 5,46 | 2,62 | 1,72 | 1,08 | 15,68 |
| 50m | 7,18 | 3,71 | 2,58 | 1,82 | 14,27 |
| 150m | 8,63 | 4,56 | 3,26 | 2,33 | 13,69 |



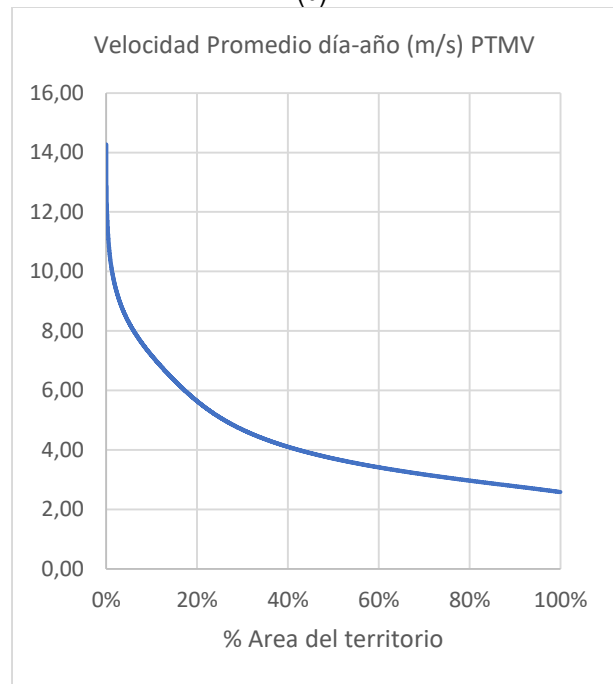
(a)



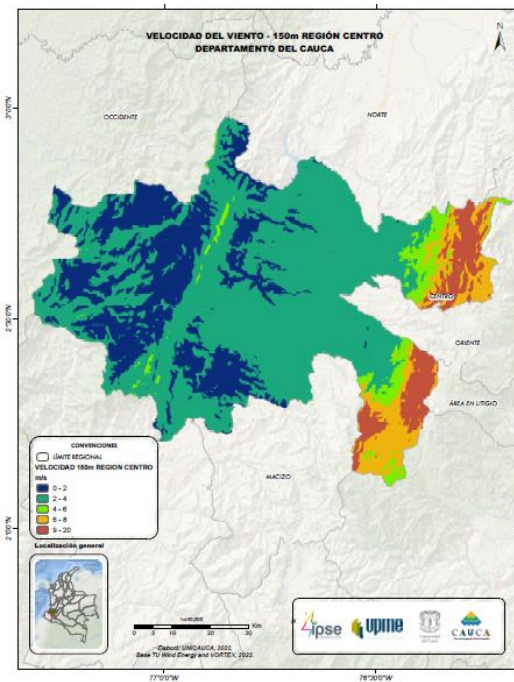
(b)



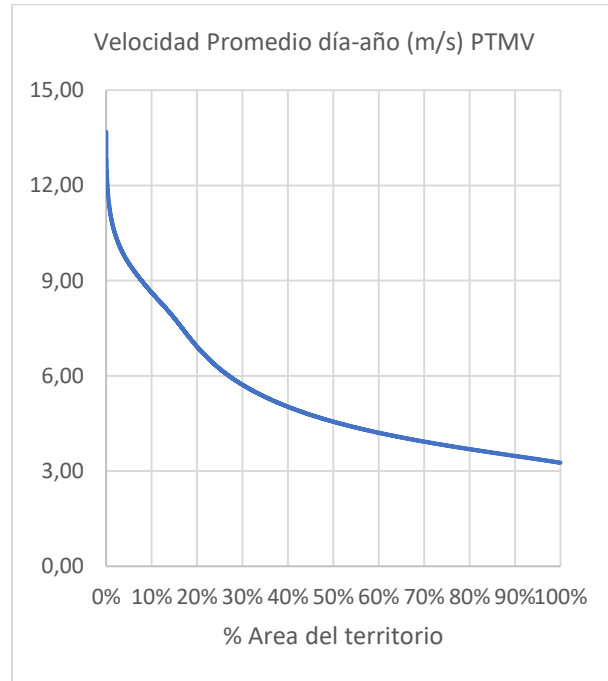
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 26 Velocidad promedio del viento (m/s) Centro; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la **Figura 27** se presenta el porcentaje de variación horario de la velocidad del viento, este porcentaje está referido al valor promedio anual de la velocidad de toda la subregión Centro, y se presenta para cada mes del año. Igualmente, la **Figura 28** muestra los datos de porcentaje de variación de la velocidad del viento, pero promediados a nivel anual, es decir muestra la variación de la velocidad del viento promedio anual para cada hora del día. Mientras que la **Figura 29**, presenta la variación promedio mensual de la velocidad del viento.

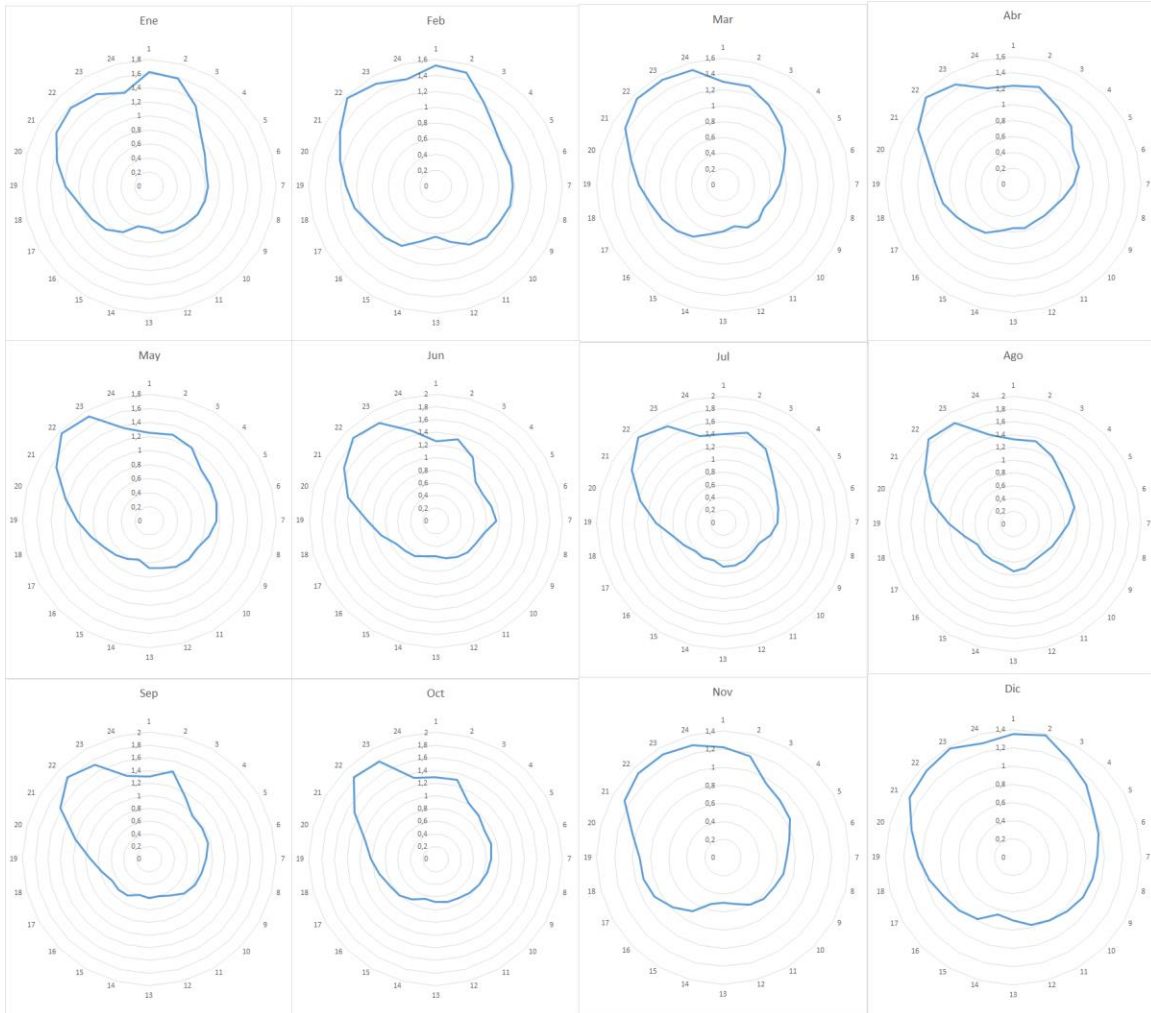


Figura 27 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Centro – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas

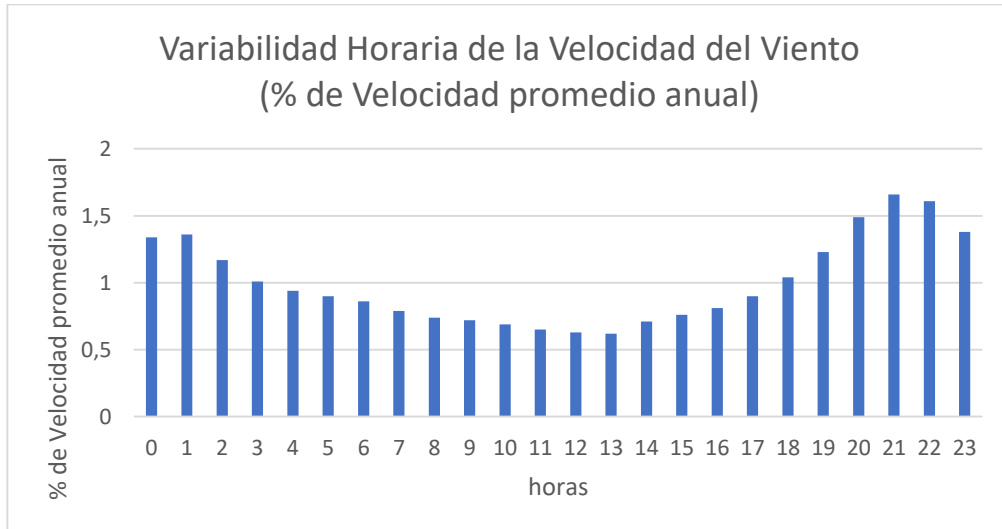


Figura 28 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Centro – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

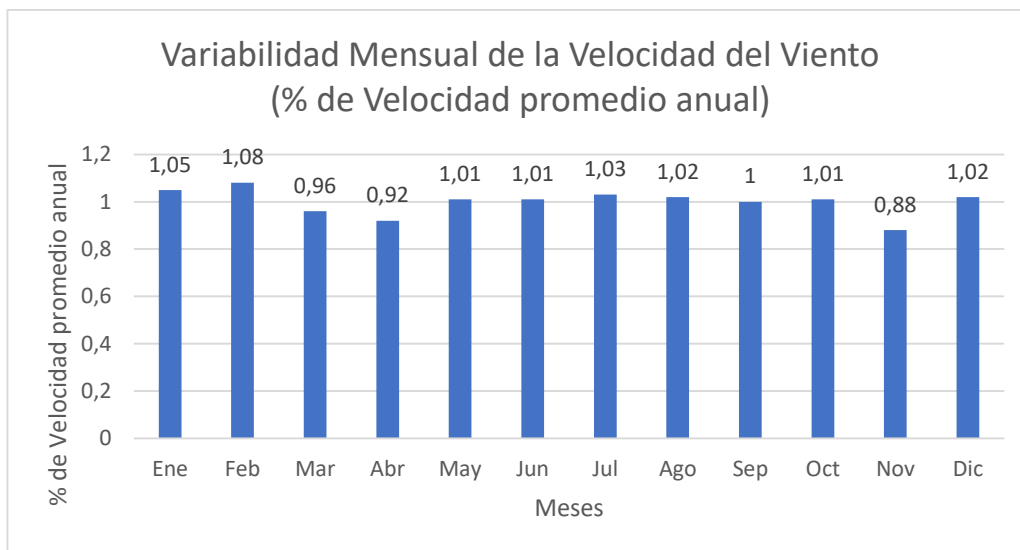


Figura 29 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Centro – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

De la información presente en las figuras anteriormente descritas, se tiene que la subregión Centro presenta un patrón de comportamiento donde predominan las velocidades altas en la noche,

principalmente en la franja horaria entre las 7pm las 2am. De igual manera, se tiene que la intensidad del viento se mantiene uniforme durante el año, exceptuando el mes de noviembre donde disminuye.

En la **Figura 30** se muestra la densidad promedio de potencia para diferentes porcentajes del área con más viento del territorio de las subregión Centro para alturas de 10m, 50m, y 150m.

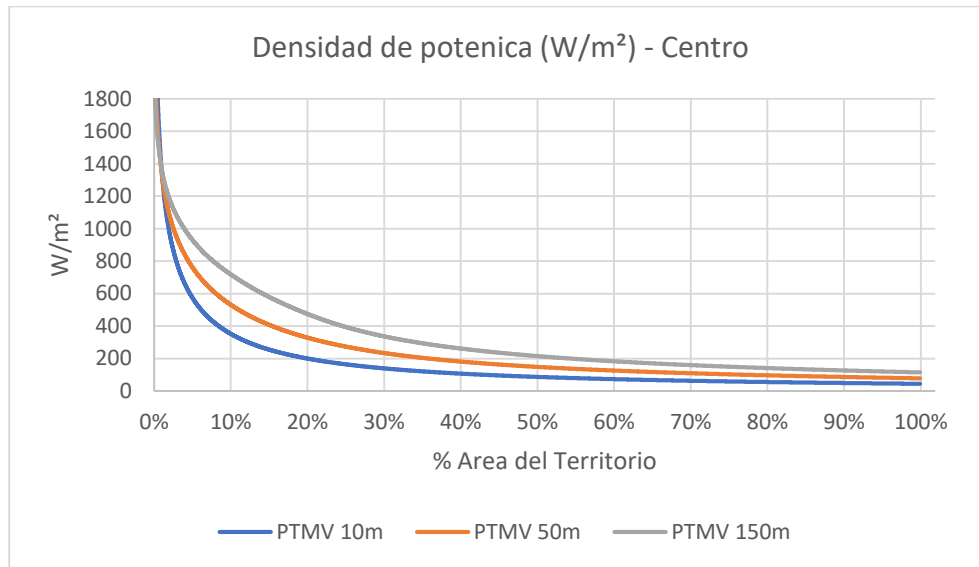


Figura 30 Densidad de potencia eólica (W/m²) – promedio anual – Centro. Fuente datos: Global Wind Atlas

Se puede observar en la **Figura 30** que el efecto de la densidad del aire para cada altura tiene un efecto considerable sobre la densidad de potencia disponible del recurso eólico en la subregión Centro. En la Tabla 3.4 se muestran los valores promedio de la densidad de potencia para diferentes alturas y para el 10%, 50% y 100% de las áreas con más viento de la subregión. Vale la pena resaltar, que para esta subregión el incremento de altura implica cambios en la densidad de potencia entre el 35% y el 76% de una altura a otra, esto significa que en las áreas de más viento podría ser interesante la implementación de infraestructura de generación eólica de gran altura. Mientras que para la mayoría del territorio la implementación más aconsejable resulta ser la de baja altura.

Tabla 3.4. Densidad promedio de potencia [W/m²] subregión Centro.

| Porcentaje [%] | 10m | 50m | 150m |
|----------------|--------|--------|--------|
| 10 | 354,83 | 534,44 | 721,37 |
| 50 | 87,00 | 148,79 | 215,41 |

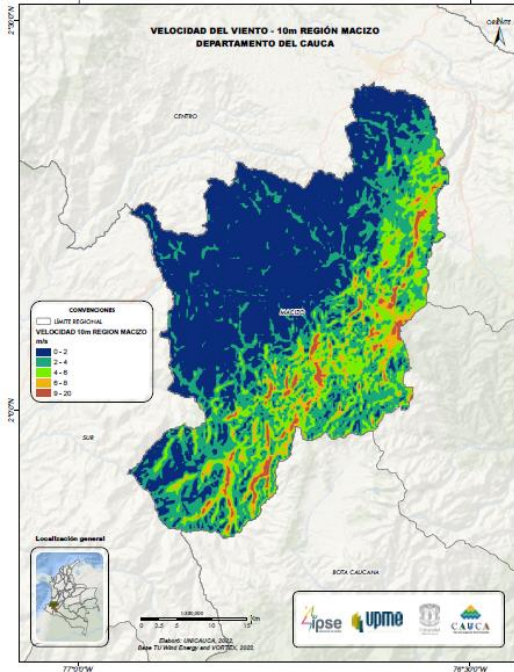
| | | | |
|-----|-------|-------|--------|
| 100 | 44,40 | 78,01 | 114,57 |
|-----|-------|-------|--------|

3.5. Eólico - Subregión Macizo

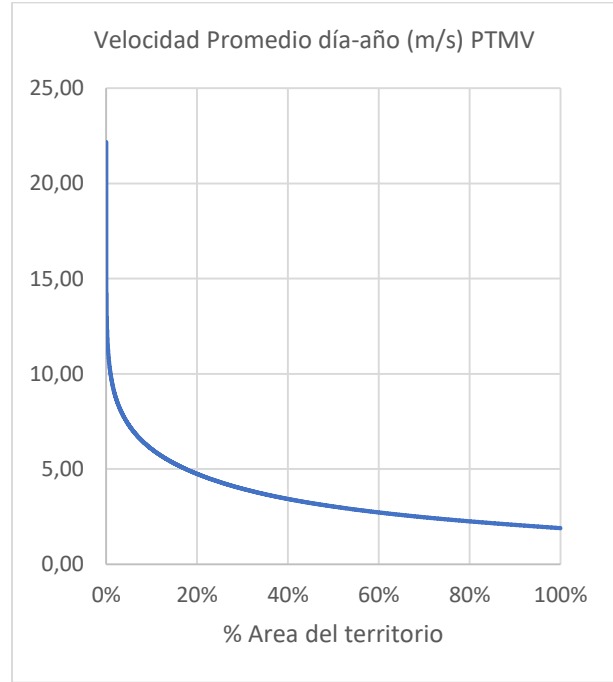
La **Figura 31(a-b)** contiene la información de velocidad del viento de las subregión Macizo a una altura de 10m, se observa que los valores promedio de viento para el 10%, 50% y 100% del área con más viento de la subregión a dicha altura son 6,05m/s, 3,03m/s y 1,89m/s respectivamente, donde el valor asociado al 100% corresponde a la velocidad promedio de toda la subregión. Igualmente, se tiene que la ubicación de las áreas con más viento se encuentra en la zona central (sobre la cordillera) de la subregión Macizo, puntualmente en los municipios de San Sebastián, Almaguer, La Vega (sur-oriente) y Sotará (sur-oriente). Este comportamiento se repite para las alturas de 50m y 150m, cuyos valores se presentan en la **Figura 31(c-d)** y **Figura 31(e-f)** respectivamente. En la Tabla 3.5 se presentan los valores de velocidad promedio y velocidad mínima y máxima de toda la subregión Macizo a diferentes alturas.

Tabla 3.5. Velocidad del viento subregión Macizo.

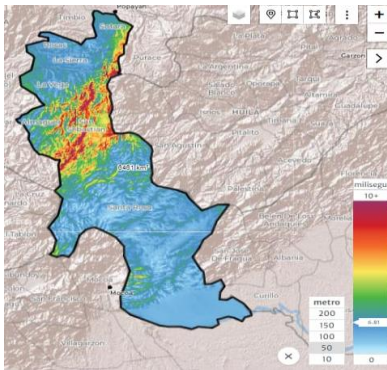
| Altura | Velocidad promedio del 10% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 50% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 100% del territorio (m/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|--------|--|--|--|------------------------|------------------------|
| 10m | 6,05 | 3,03 | 1,89 | 0,99 | 22,18 |
| 50m | 7,88 | 4,46 | 2,95 | 1,77 | 16,61 |
| 150m | 9,32 | 5,60 | 3,76 | 2,27 | 15,69 |



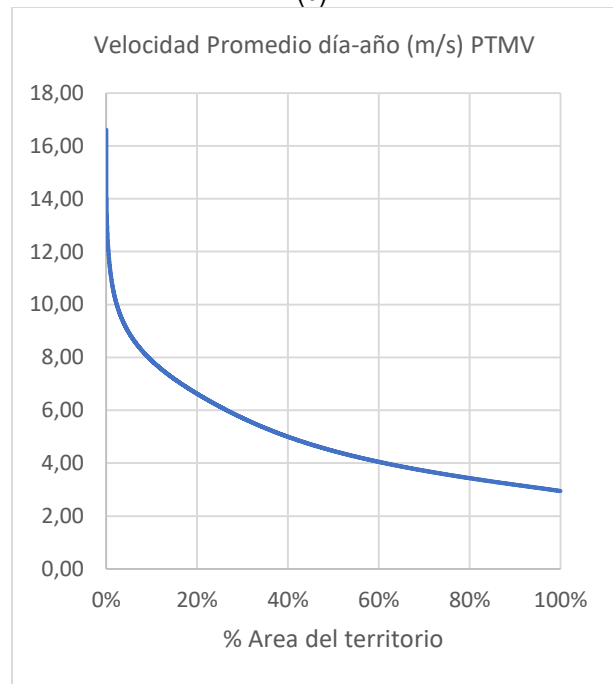
(a)



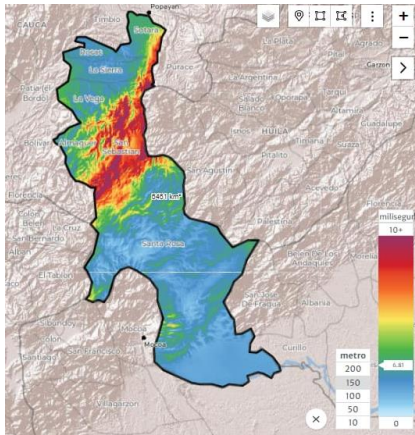
(b)



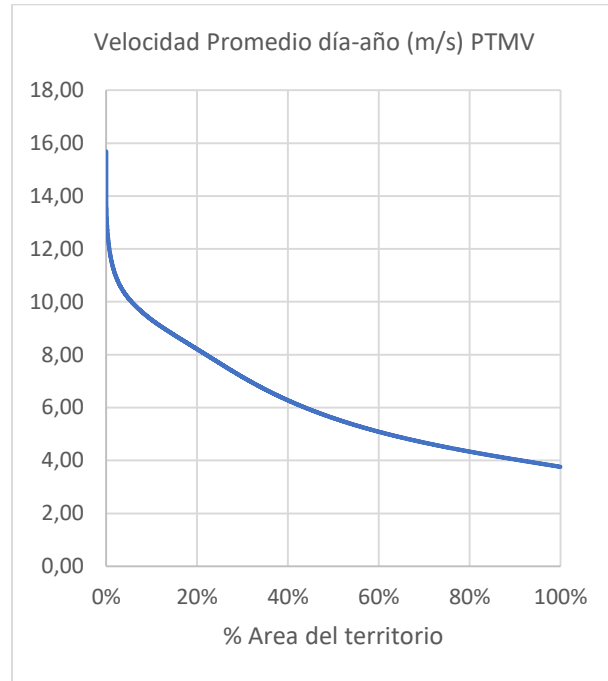
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 31 Velocidad promedio del viento (m/s) Macizo; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la **Figura 32** se presenta el porcentaje de variación horario de la velocidad del viento, este porcentaje está referido al valor promedio anual de la velocidad de toda la subregión Macizo, y se presenta para cada mes del año. Igualmente, la **Figura 33** muestra los datos de porcentaje de variación de la velocidad del viento, pero promediados a nivel anual, es decir muestra la variación de la velocidad del viento promedio anual para cada hora del día. Mientras que la **Figura 34**, presenta la variación promedio mensual de la velocidad del viento.

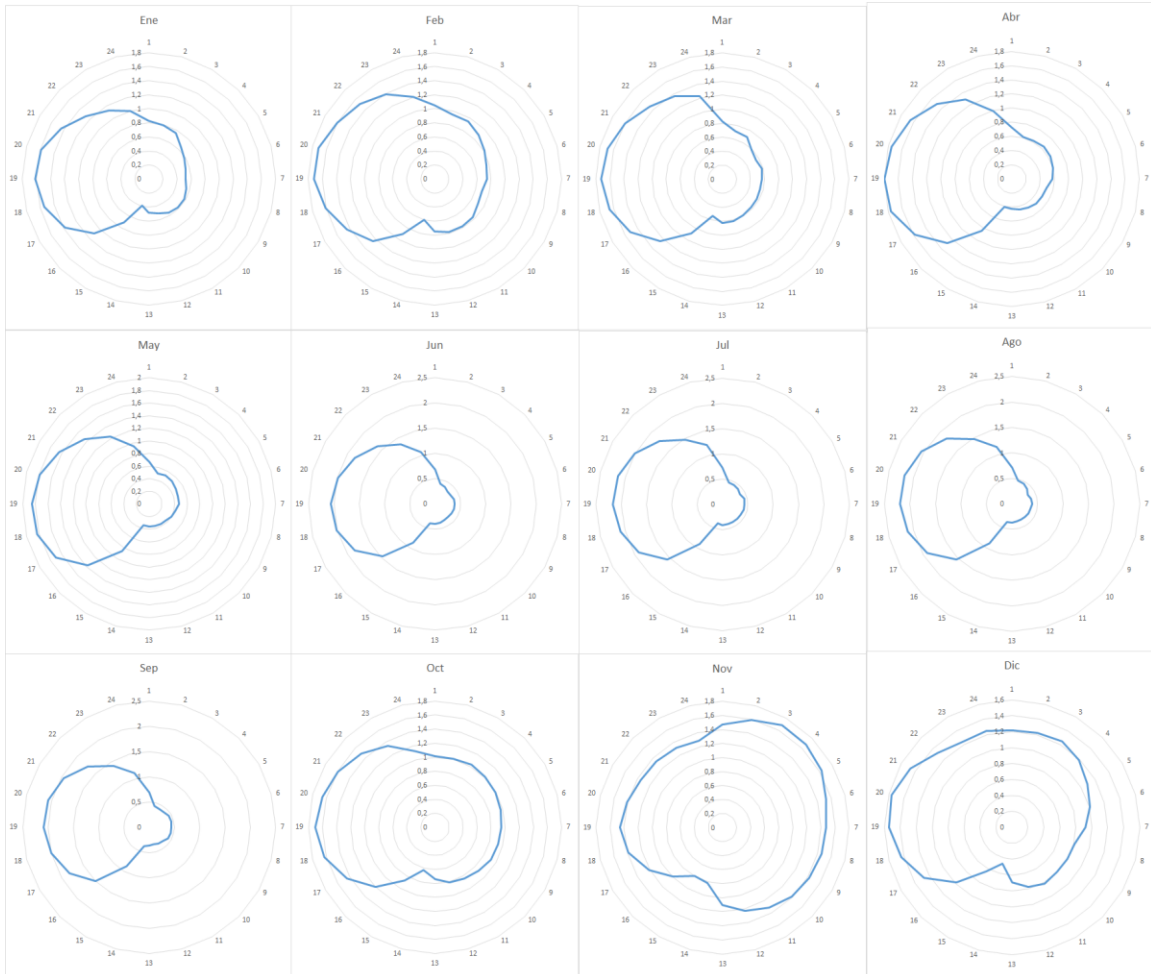


Figura 32 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Macizo – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas

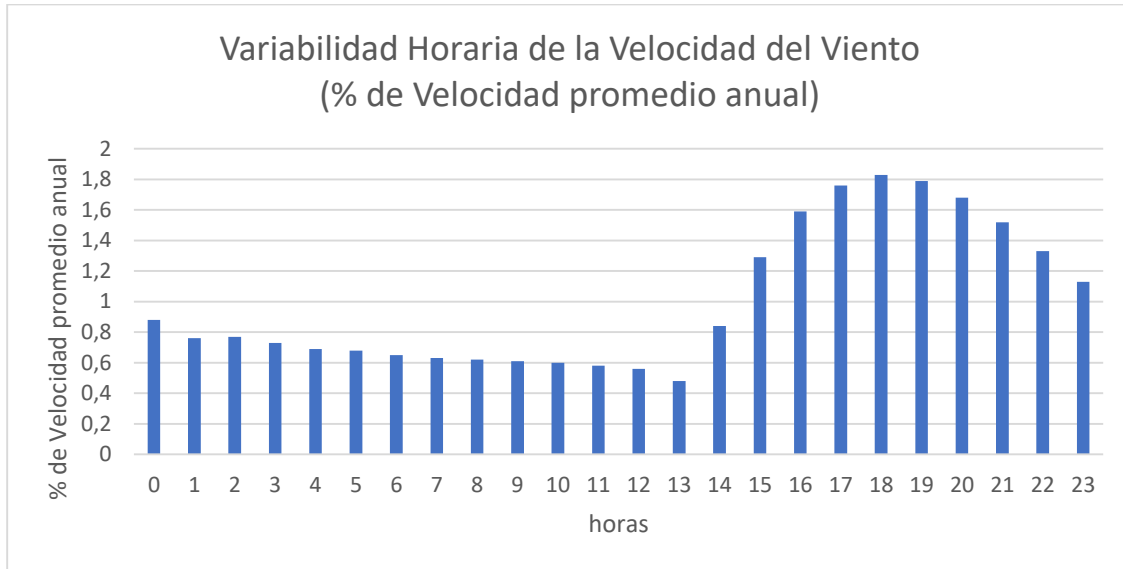


Figura 33 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Macizo – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

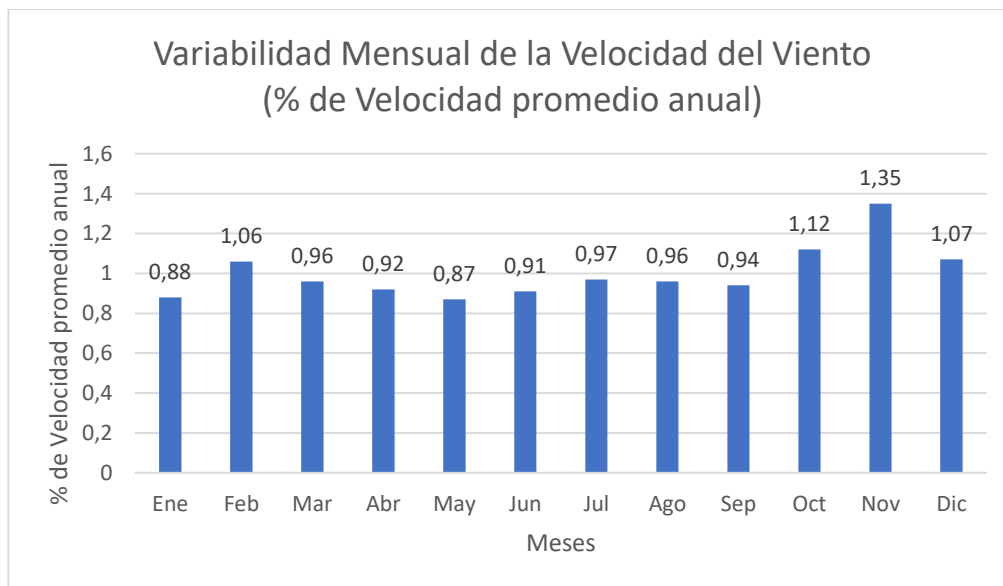


Figura 34 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Macizo – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

De la información presente en las figuras anteriormente descritas, se tiene que la subregión Macizo presenta un patrón de comportamiento donde predominan las velocidades altas finalizando la tarde y

comenzando la noche, principalmente en la franja horaria entre 3pm y las 10pm. De igual manera, se tiene que la temporada del año con mayor intensidad de viento corresponde a los meses de octubre y noviembre, presentando velocidades inferiores a la media en los otros meses del año.

En la **Figura 35** se muestra la densidad promedio de potencia para diferentes porcentajes del área con más viento del territorio de las subregión Macizo para alturas de 10m, 50m, y 150m.

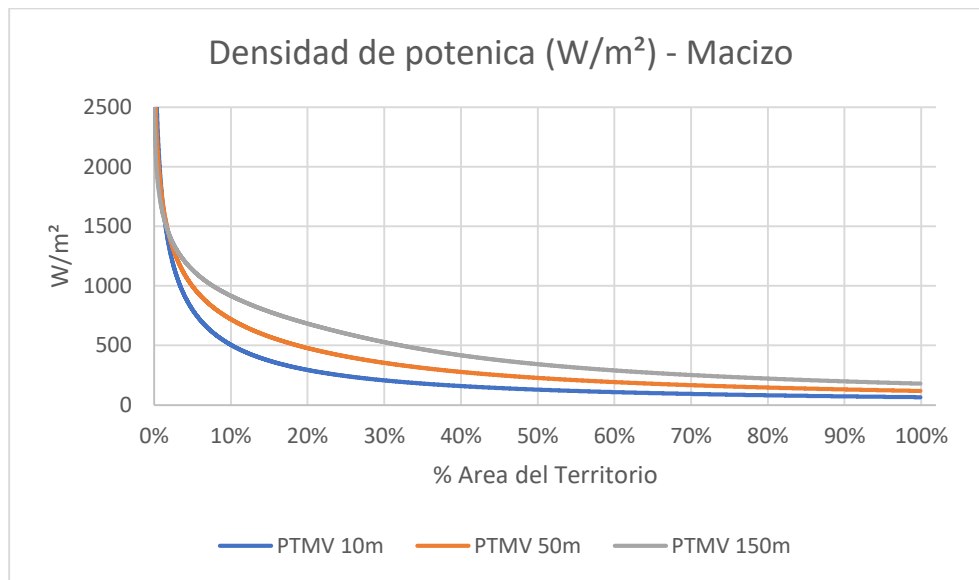


Figura 35 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Macizo. Fuente datos: Global Wind Atlas

Se puede observar en la **Figura 35** que el efecto de la densidad del aire para cada altura tiene un efecto considerable sobre la densidad de potencia disponible del recurso eólico en la subregión Macizo. En la Tabla 3.6 se muestran los valores promedio de la densidad de potencia para diferentes alturas y para el 10%, 50% y 100% de las áreas con más viento de la subregión. Vale la pena resaltar, que para esta subregión el incremento de altura implica cambios en la densidad de potencia entre el 27% y el 80% de una altura a otra, esto significa que en las áreas de más viento podría ser interesante la implementación de infraestructura de generación eólica de gran altura.

Tabla 3.6. Densidad promedio de potencia [W/m^2] subregión Macizo.

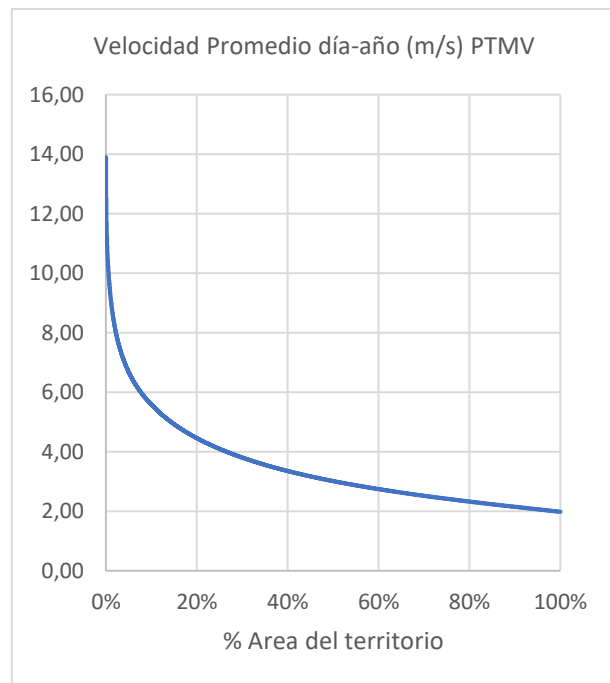
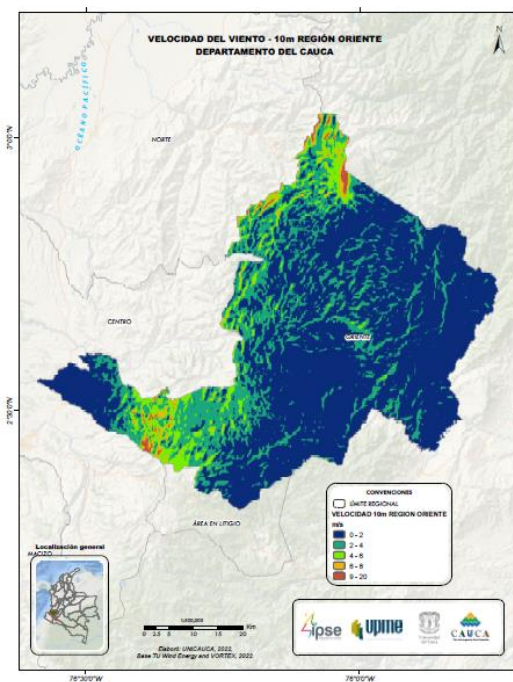
| Porcentaje [%] | 10m | 50m | 150m |
|----------------|--------|--------|--------|
| 10 | 509,27 | 724,22 | 920,22 |
| 50 | 129,21 | 228,02 | 343,43 |
| 100 | 65,47 | 118,03 | 179,26 |

3.6. Eólico - Subregión Oriente

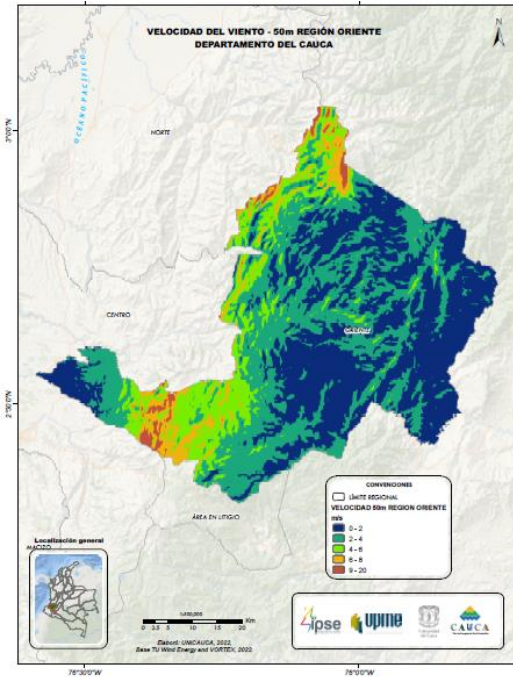
La **Figura 36(a-b)** contiene la información de velocidad del viento de las subregión Oriente a una altura de 10m, se observa que los valores promedio de viento para el 10%, 50% y 100% del área con más viento de la subregión a dicha altura son 5,58m/s, 3,01m/s y 1,98m/s respectivamente, donde el valor asociado al 100% corresponde a la velocidad promedio de toda la subregión. Igualmente, se tiene que la ubicación de las áreas con más viento se encuentra en las zonas norte y occidente de la subregión Oriente, puntualmente en los municipios de Totoró, y Páez. Este comportamiento se repite para las alturas de 50m y 150m, cuyos valores se presentan en la **Figura 36 (c-d)** y **Figura 36 (e-f)** respectivamente. En la **Tabla 3.7** se presentan los valores de velocidad promedio y velocidad mínima y máxima de toda la subregión Oriente a diferentes alturas.

Tabla 3.7. Velocidad del viento subregión Oriente.

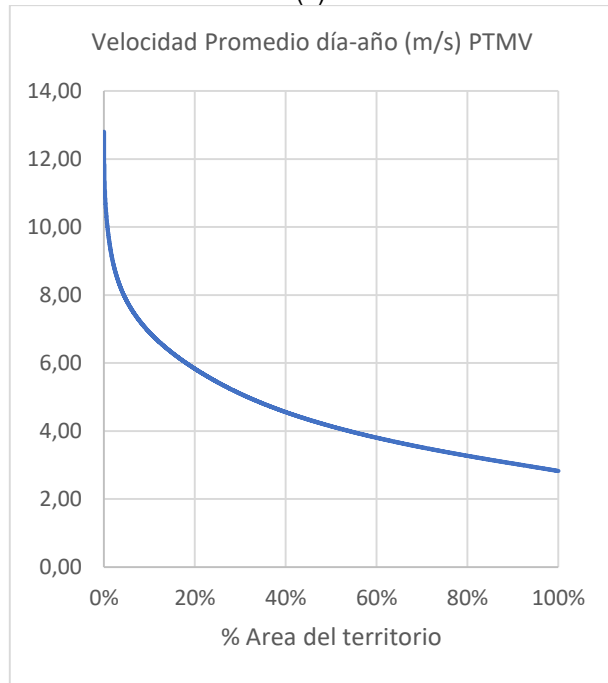
| Altura | Velocidad promedio del 10% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 50% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 100% del territorio (m/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|--------|--|--|--|------------------------|------------------------|
| 10m | 5,58 | 3,01 | 1,98 | 0,03 | 13,90 |
| 50m | 6,90 | 4,14 | 2,82 | 0,11 | 12,80 |
| 150m | 8,24 | 5,18 | 3,59 | 0,60 | 12,63 |



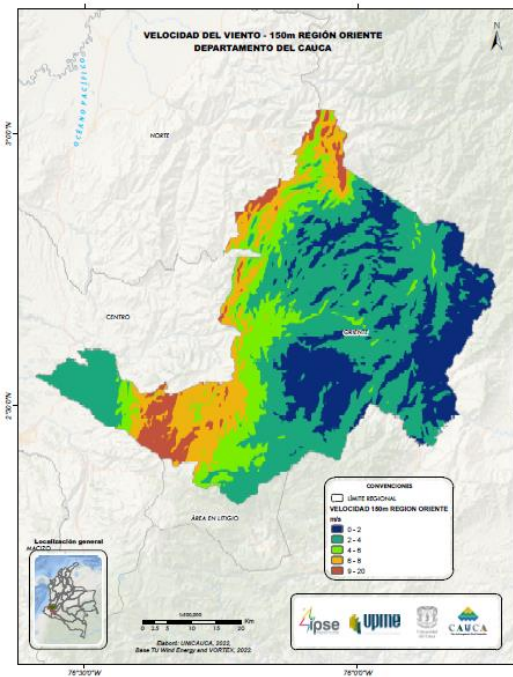
(a)



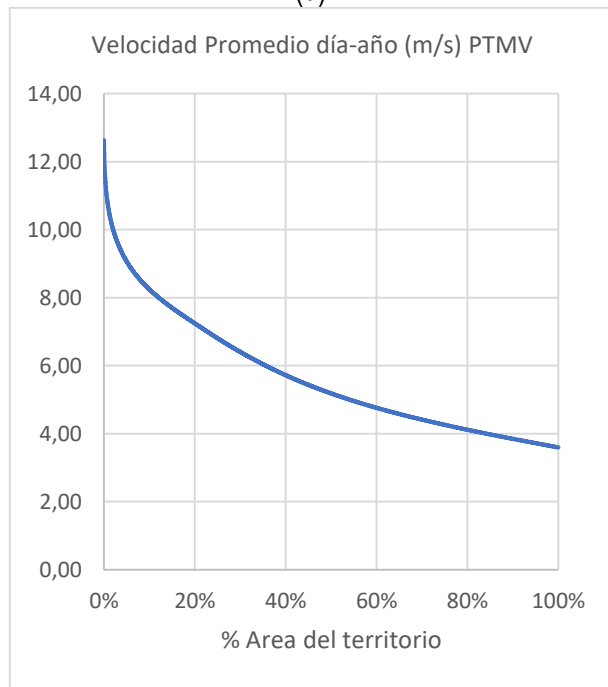
(b)



(c)



(d)



(e)

(f)

Figura 36 Velocidad promedio del viento (m/s) Oriente; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la **Figura 37** se presenta el porcentaje de variación horario de la velocidad del viento, este porcentaje está referido al valor promedio anual de la velocidad de toda la subregión Oriente, y se presenta para cada mes del año. Igualmente, la **Figura 38** muestra los datos de porcentaje de variación de la velocidad del viento, pero promediados a nivel anual, es decir muestra la variación de la velocidad del viento promedio anual para cada hora del día. Mientras que la **Figura 39**, presenta la variación promedio mensual de la velocidad del viento.

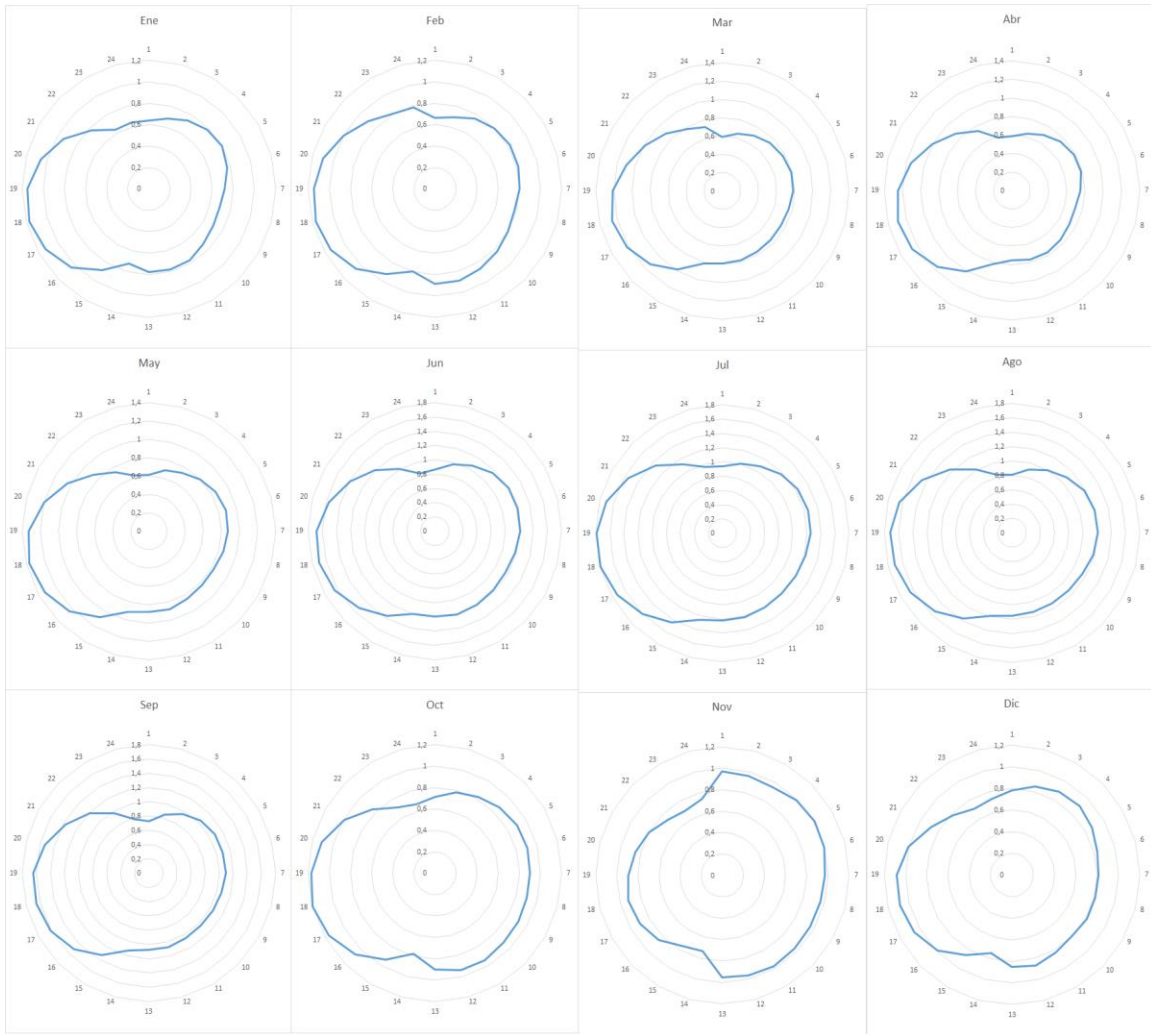


Figura 37 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Oriente – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas

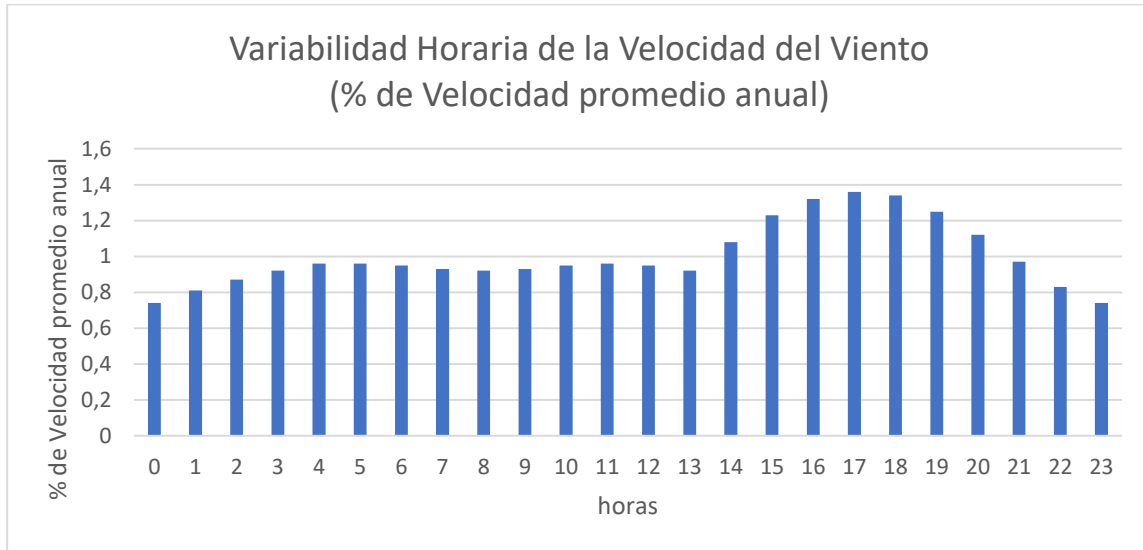


Figura 38 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Oriente – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

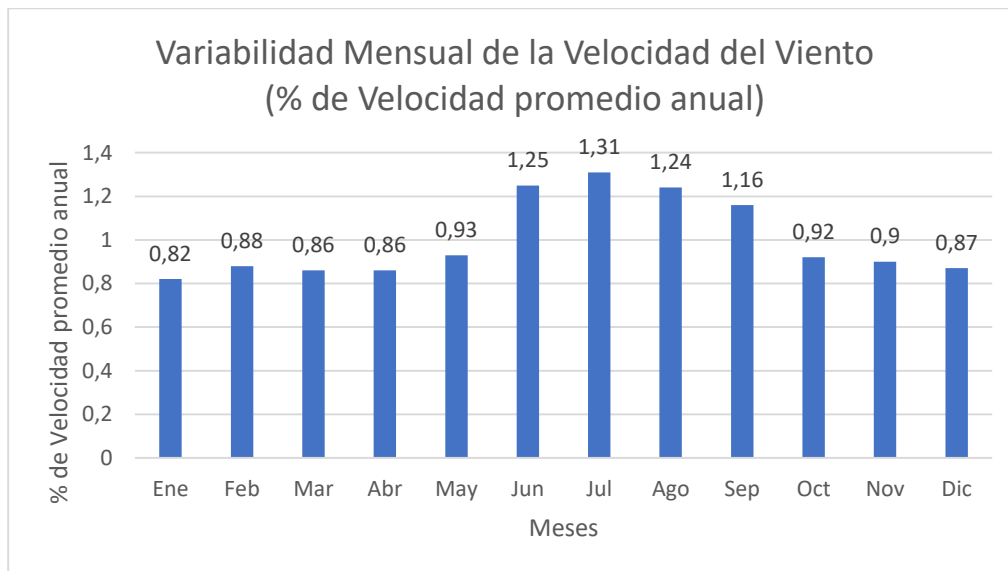


Figura 39 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Oriente – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

De la información presente en las figuras anteriormente descritas, se tiene que la subregión Oriente presenta un patrón de comportamiento donde predominan las velocidades altas en la tarde,

principalmente en la franja horaria entre las 3pm y las 7pm. De igual manera, se tiene que la temporada del año con mayor intensidad de viento corresponde a los meses entre junio y septiembre.

En la **Figura 40** se muestra la densidad promedio de potencia para diferentes porcentajes del área con más viento del territorio de las subregión Oriente para alturas de 10m, 50m, y 150m.

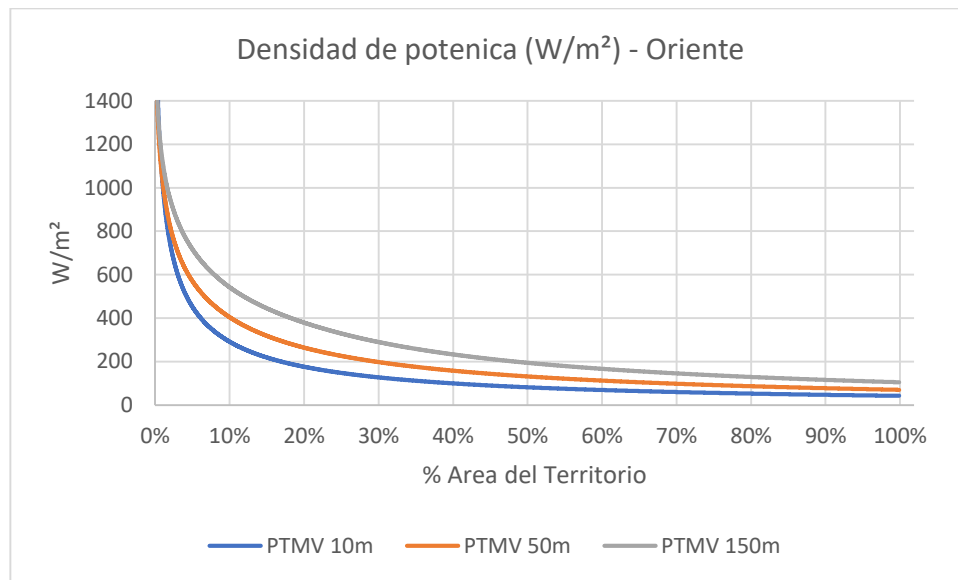


Figura 40 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Oriente. Fuente datos: Global Wind Atlas

Se puede observar en la **Figura 40** que el efecto de la densidad para cada altura hace que la densidad de potencia disponible del recurso eólico para la subregión Oriente varíe considerablemente para las tres alturas bajo estudio. En la Tabla 3.8 se muestran los valores promedio de la densidad de potencia para diferentes alturas y para el 10%, 50% y 100% de las áreas con más viento de la subregión. Vale la pena resaltar, que para esta subregión el incremento de altura implica cambios en la densidad de potencia entre el 34% y el 66% de una altura a otra, esto significa que en las áreas de más viento podría ser interesante la implementación de infraestructura de generación eólica de gran altura.

Tabla 3.8. Densidad promedio de potencia [W/m^2] subregión Oriente.

| Porcentaje [%] | 10m | 50m | 150m |
|----------------|--------|--------|--------|
| 10 | 293,30 | 406,49 | 544,58 |
| 50 | 81,69 | 131,66 | 194,59 |

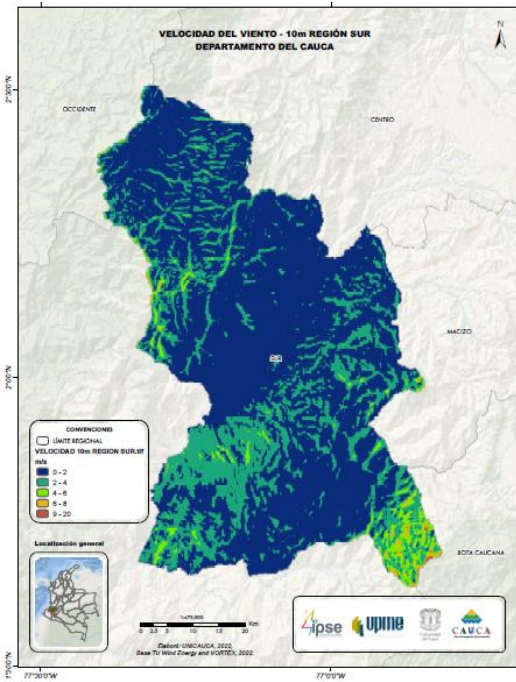
| | | | |
|-----|-------|-------|--------|
| 100 | 42,18 | 69,83 | 104,61 |
|-----|-------|-------|--------|

3.7. Eólico - Subregión Sur

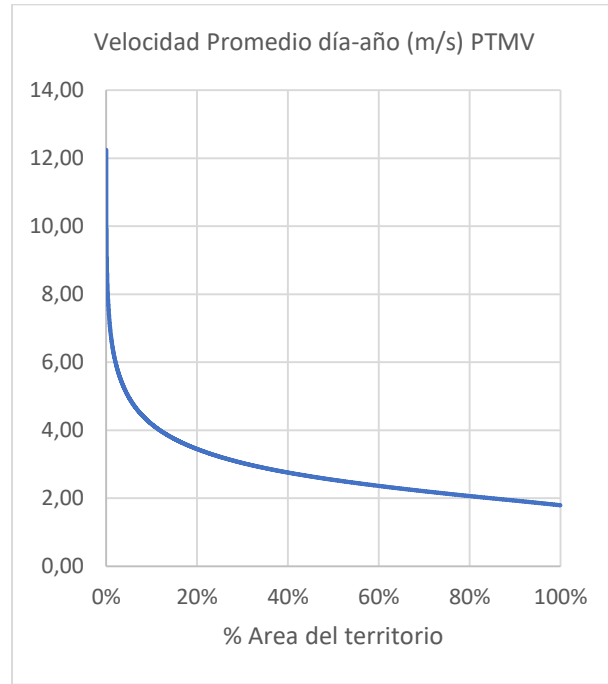
La **Figura 41(a-b)** contiene la información de velocidad del viento de las subregión Sur a una altura de 10m, se observa que los valores promedio de viento para el 10%, 50% y 100% del área con más viento de la subregión a dicha altura son 4,18m/s, 2,54m/s y 1,79m/s respectivamente, donde el valor asociado al 100% corresponde a la velocidad promedio de toda la subregión. Igualmente, se tiene que la ubicación de las áreas con más viento se encuentra en la zona sur-oriental de la subregión Sur, puntualmente en el municipio de Bolívar. Este comportamiento se repite para las alturas de 50m y 150m, cuyos valores se presentan en la **Figura 41 (c-d)** y **Figura 41 (e-f)** respectivamente. En la **Tabla 3.9** se presentan los valores de velocidad promedio y velocidad mínima y máxima de toda la subregión Sur a diferentes alturas.

Tabla 3.9. Velocidad del viento subregión Sur.

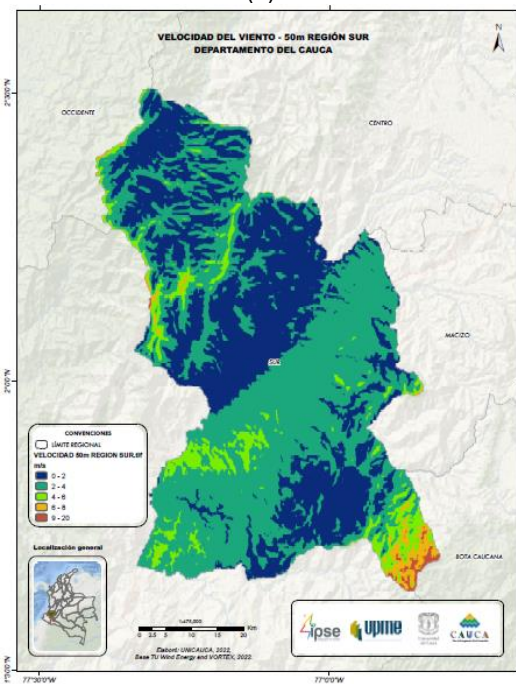
| Altura | Velocidad promedio del 10% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 50% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 100% del territorio (m/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|--------|--|--|--|------------------------|------------------------|
| 10m | 4,18 | 2,54 | 1,79 | 0,42 | 12,25 |
| 50m | 5,24 | 3,37 | 2,50 | 0,81 | 12,94 |
| 150m | 6,04 | 4,06 | 3,10 | 1,34 | 12,43 |



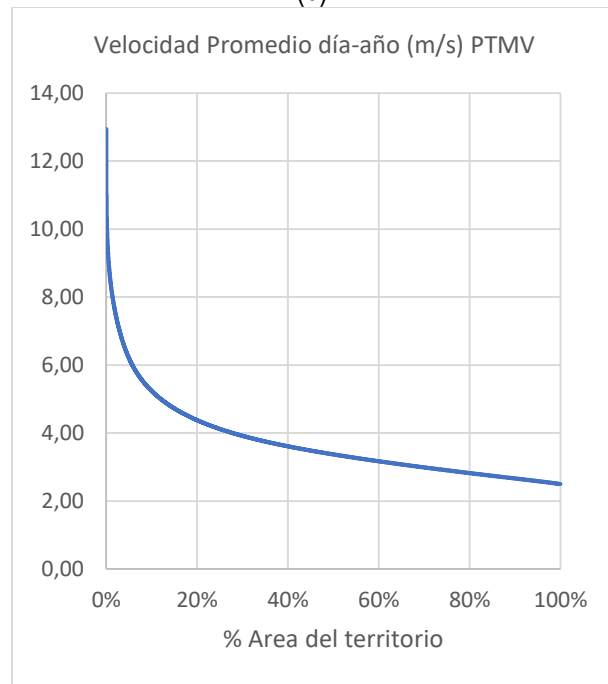
(a)



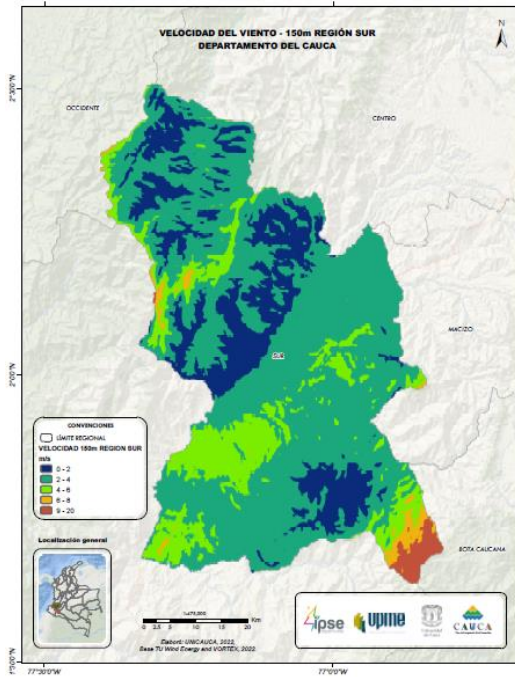
(b)



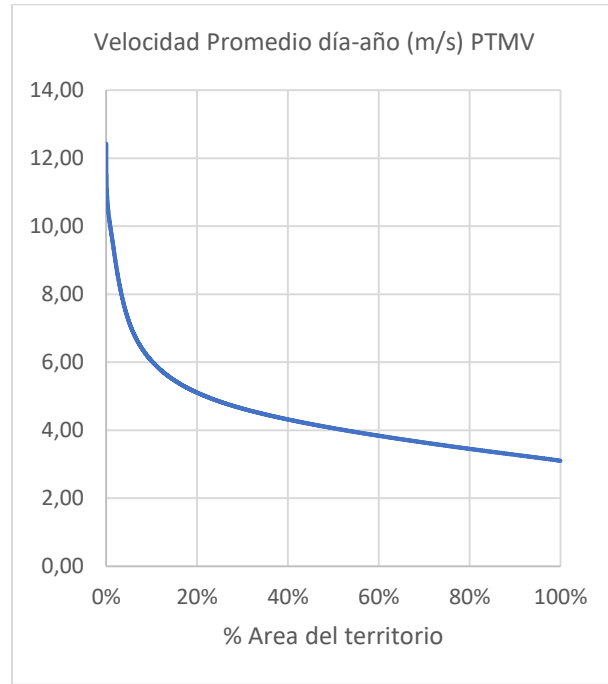
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 41 Velocidad promedio del viento (m/s) Sur; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la **Figura 42** se presenta el porcentaje de variación horario de la velocidad del viento, este porcentaje está referido al valor promedio anual de la velocidad de toda la subregión Sur, y se presenta para cada mes del año. Igualmente, la **Figura 43** muestra los datos de porcentaje de variación de la velocidad del viento, pero promediados a nivel anual, es decir muestra la variación de la velocidad del viento promedio anual para cada hora del día. Mientras que la **Figura 44**, presenta la variación promedio mensual de la velocidad del viento.

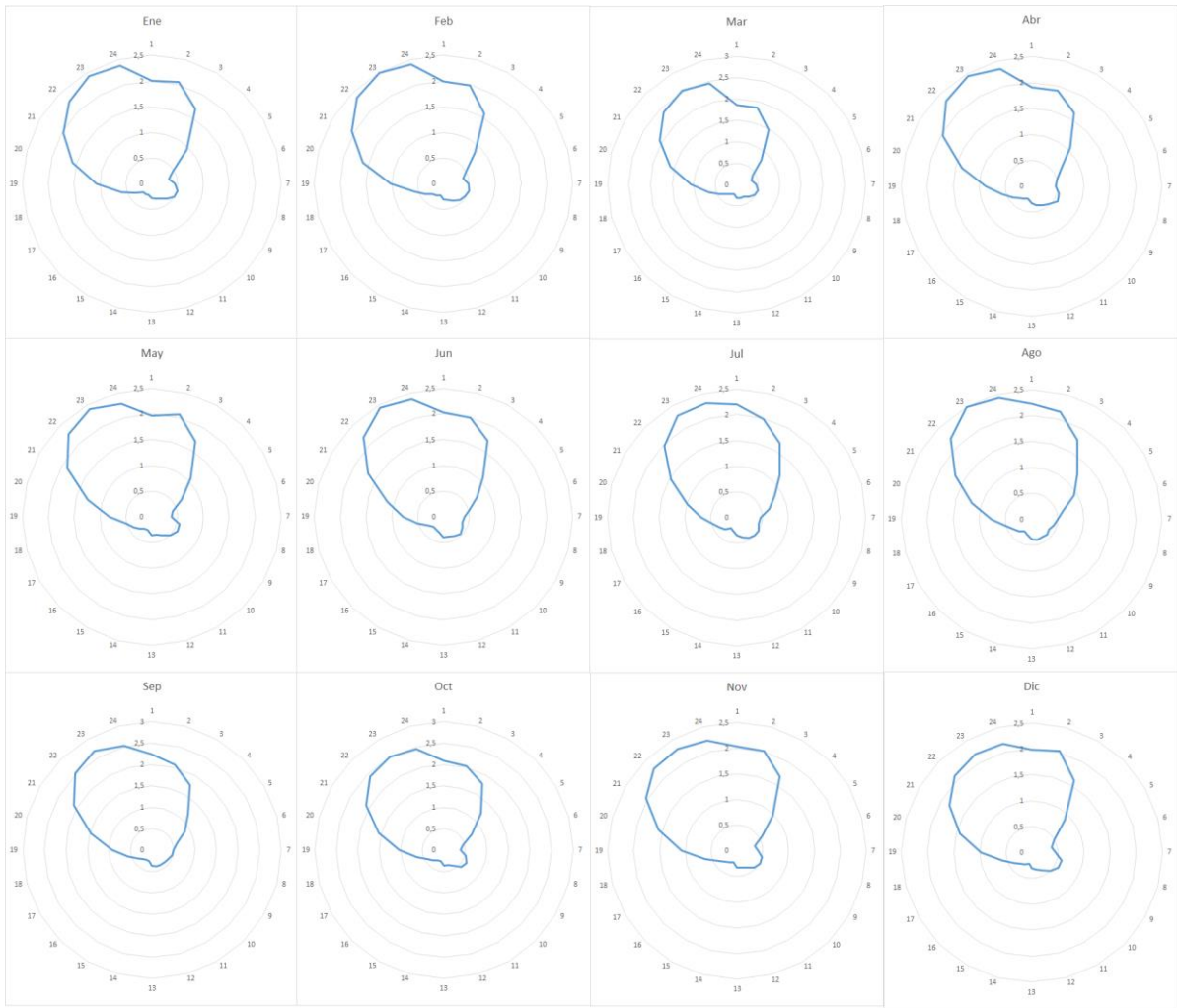


Figura 42 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Sur – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas

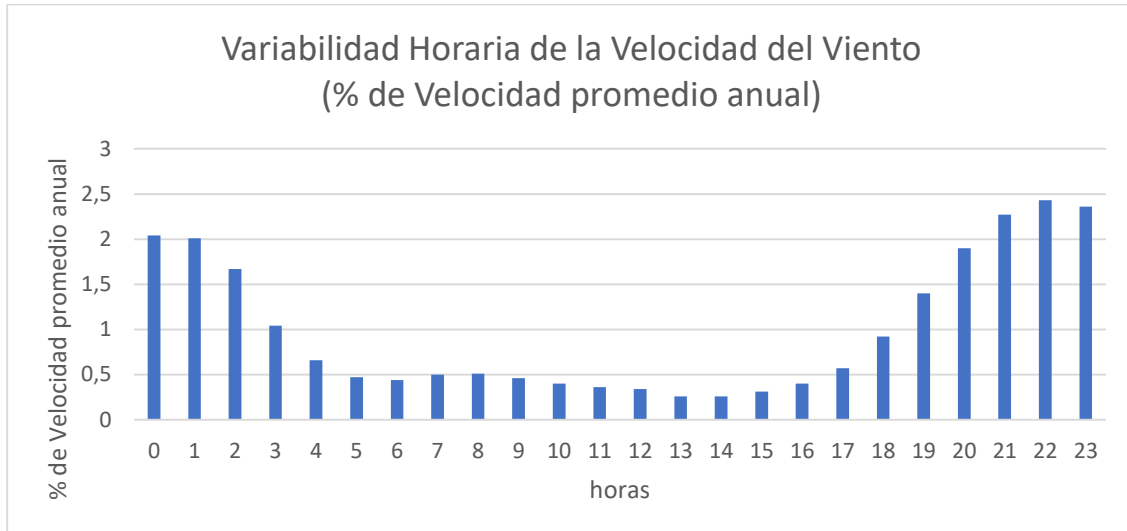


Figura 43 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Sur – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

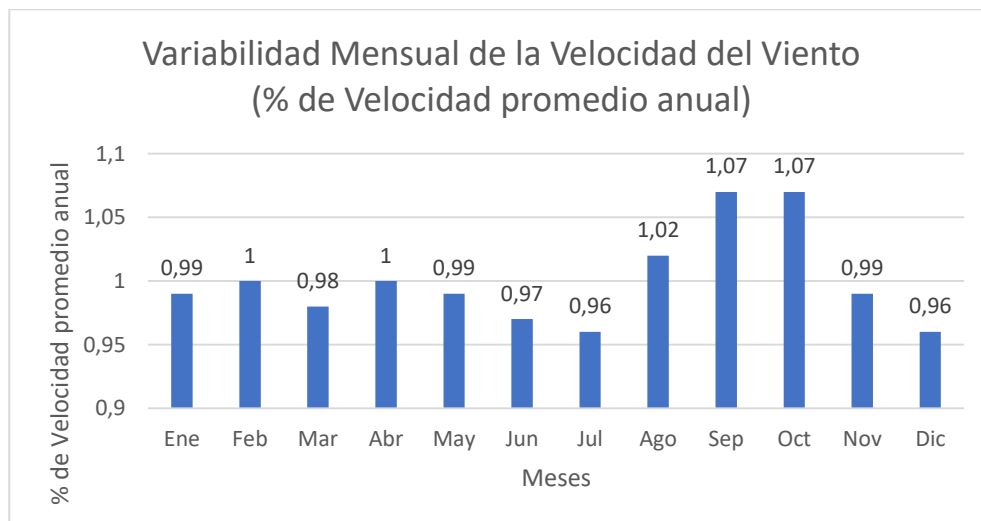


Figura 44 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Sur – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

De la información presente en las figuras anteriormente descritas, se tiene que la subregión Sur presenta un patrón de comportamiento donde predominan las velocidades altas en la noche, principalmente en la franja horaria entre las 8pm y las 3am. De igual manera, se tiene que la intensidad del viento se mantiene relativamente uniforme durante el año, mostrando un leve incremento de intensidad de viento en los meses entre agosto y octubre.

En la **Figura 45** se muestra la densidad promedio de potencia para diferentes porcentajes del área con más viento del territorio de las subregión Sur para alturas de 10m, 50m, y 150m.

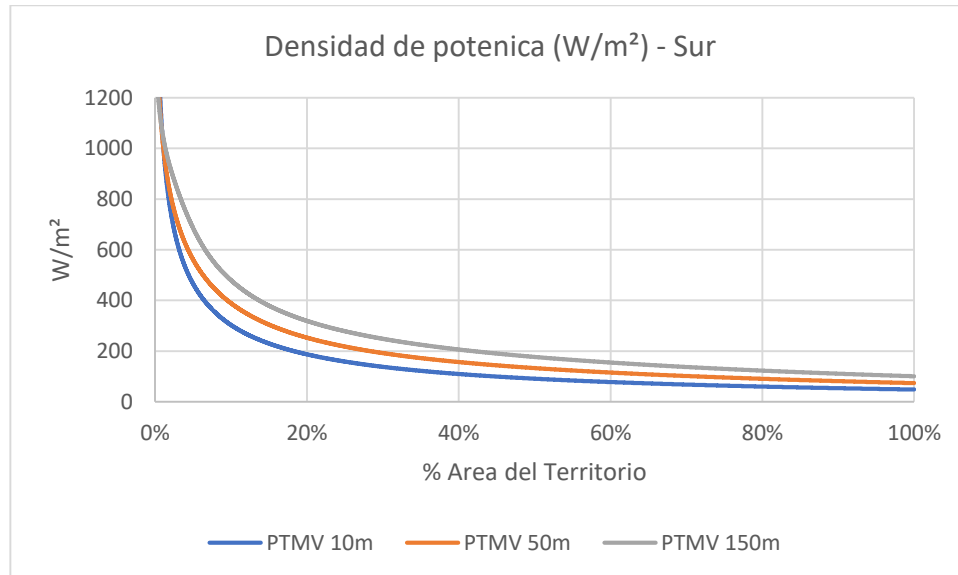


Figura 45 Densidad de potencia eólica (W/m²) – promedio anual – Sur. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la Tabla 3.10 se muestran los valores promedio de la densidad de potencia para diferentes alturas y para el 10%, 50% y 100% de las áreas con más viento de la subregión. Vale la pena resaltar, que para esta subregión el incremento de altura implica cambios en la densidad de potencia entre el 23% y el 52% de una altura a otra, esto significa que en las áreas de más viento podría ser interesante la implementación de infraestructura de generación eólica de gran altura.

Tabla 3.10. Densidad promedio de potencia [W/m²] subregión Sur.

| Porcentaje [%] | 10m | 50m | 150m |
|----------------|--------|--------|--------|
| 10 | 303,11 | 389,09 | 479,76 |
| 50 | 91,33 | 133,15 | 177,16 |
| 100 | 48,57 | 73,88 | 100,85 |

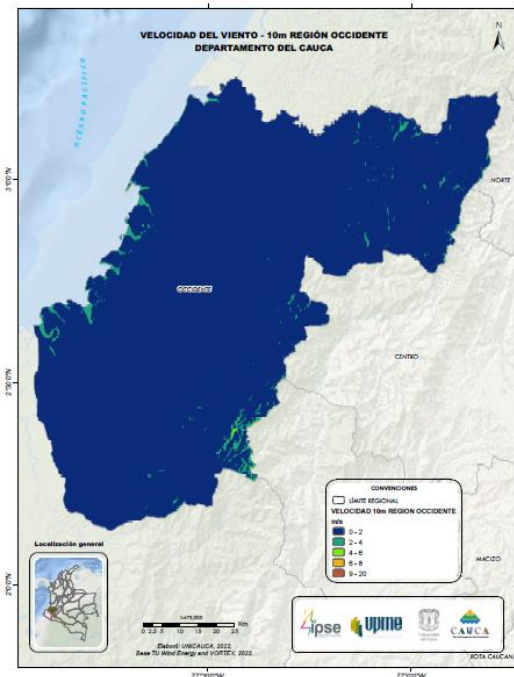
3.8. Eólico - Subregión Pacífico (Occidente)

La **Figura 46(a-b)** contiene la información de velocidad del viento de las subregión Pacífico a una altura de 10m, se observa que los valores promedio de viento para el 10%, 50% y 100% del área con más viento de la subregión a dicha altura son 1,84m/s, 1,206m/s y 0,89m/s respectivamente, donde el valor asociado al 100% corresponde a la velocidad promedio de toda la subregión. Igualmente, se

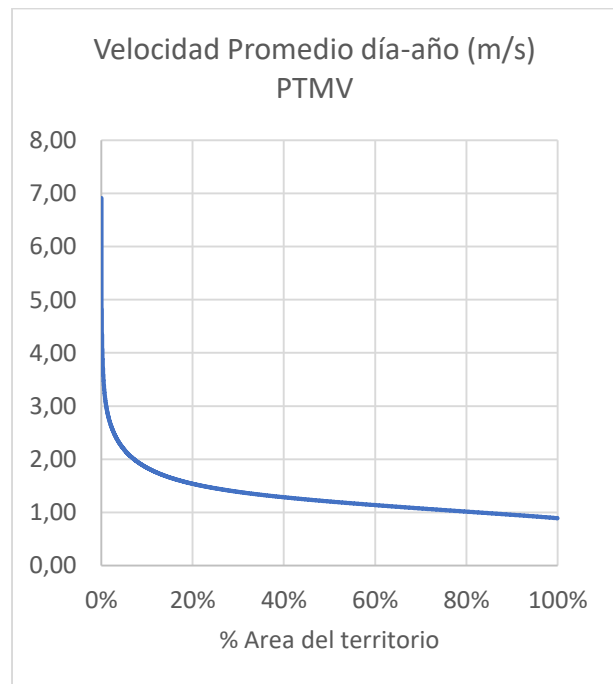
tiene que en general esta subregión presenta un potencial de energía eólica bajo, donde el área con más viento se encuentra en el municipio de Guapi. Este comportamiento se repite para las alturas de 50m y 150m, cuyos valores se presentan en la **Figura 46(c-d)** y **Figura 46(e-f)** respectivamente. En la Tabla 3.11 se presentan los valores de velocidad promedio y velocidad mínima y máxima de toda la subregión Pacífico a diferentes alturas.

Tabla 3.11. Velocidad del viento subregión Pacífico.

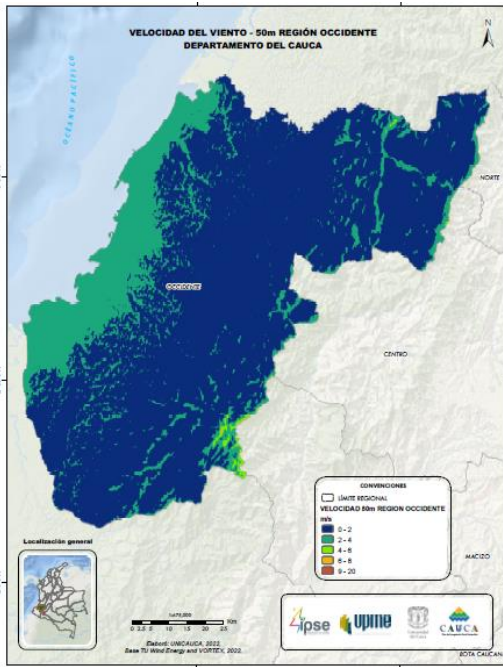
| Altura | Velocidad promedio del 10% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 50% del territorio con más viento (m/s) | Velocidad promedio del 100% del territorio (m/s) | Velocidad mínima (m/s) | Velocidad máxima (m/s) |
|--------|--|--|--|------------------------|------------------------|
| 10m | 1,84 | 1,20 | 0,89 | 0,89 | 6,92 |
| 50m | 2,82 | 2,13 | 1,71 | 1,79 | 7,81 |
| 150m | 3,48 | 2,76 | 2,27 | 2,34 | 7,27 |



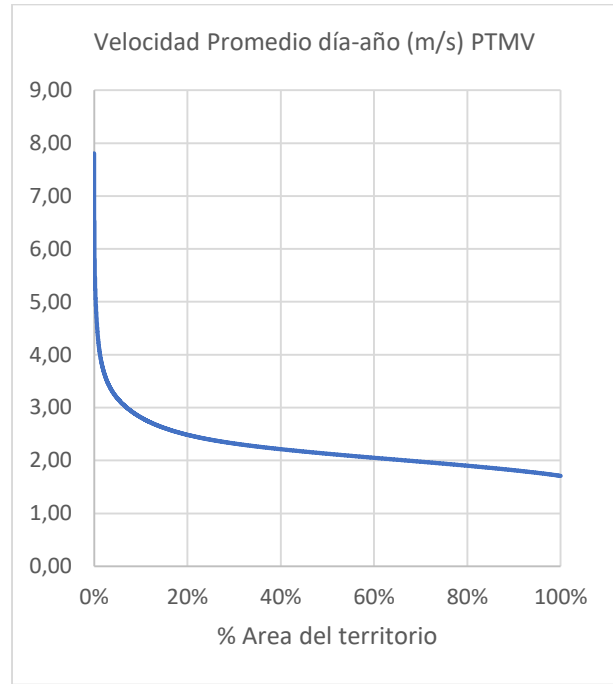
(a)



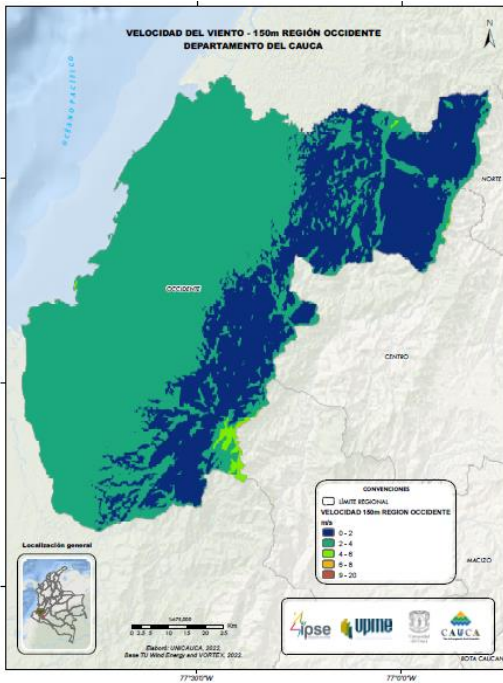
(b)



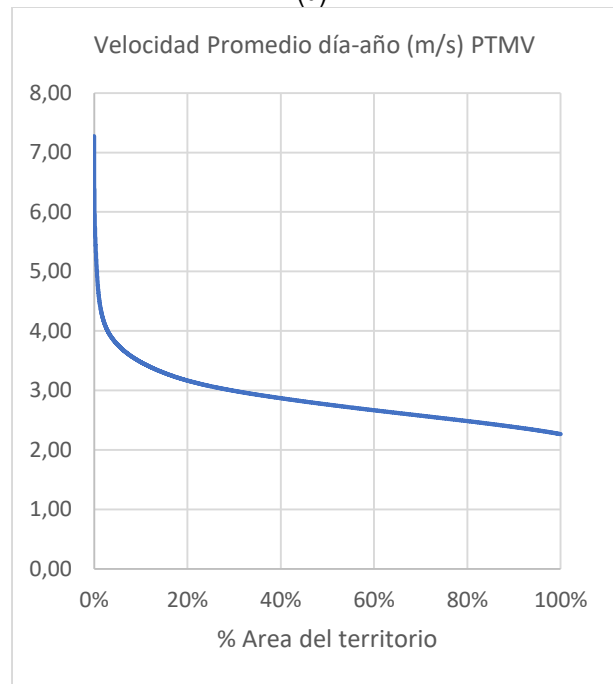
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 46 Velocidad promedio del viento (m/s) Pacífico; (a) distribución espacial a 10m, (b) promedio del área territorial a 10m, (c) distribución espacial a 50m, (d) promedio del área territorial a 50m, (e) distribución espacial a 150m, (f) promedio del área territorial a 150m. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la **Figura 47** se presenta el porcentaje de variación horario de la velocidad del viento, este porcentaje está referido al valor promedio anual de la velocidad de toda la subregión Pacífico, y se presenta para cada mes del año. Igualmente, la **Figura 48** muestra los datos de porcentaje de variación de la velocidad del viento, pero promediados a nivel anual, es decir muestra la variación de la velocidad del viento promedio anual para cada hora del día. Mientras que la **Figura 49**, presenta la variación promedio mensual de la velocidad del viento.

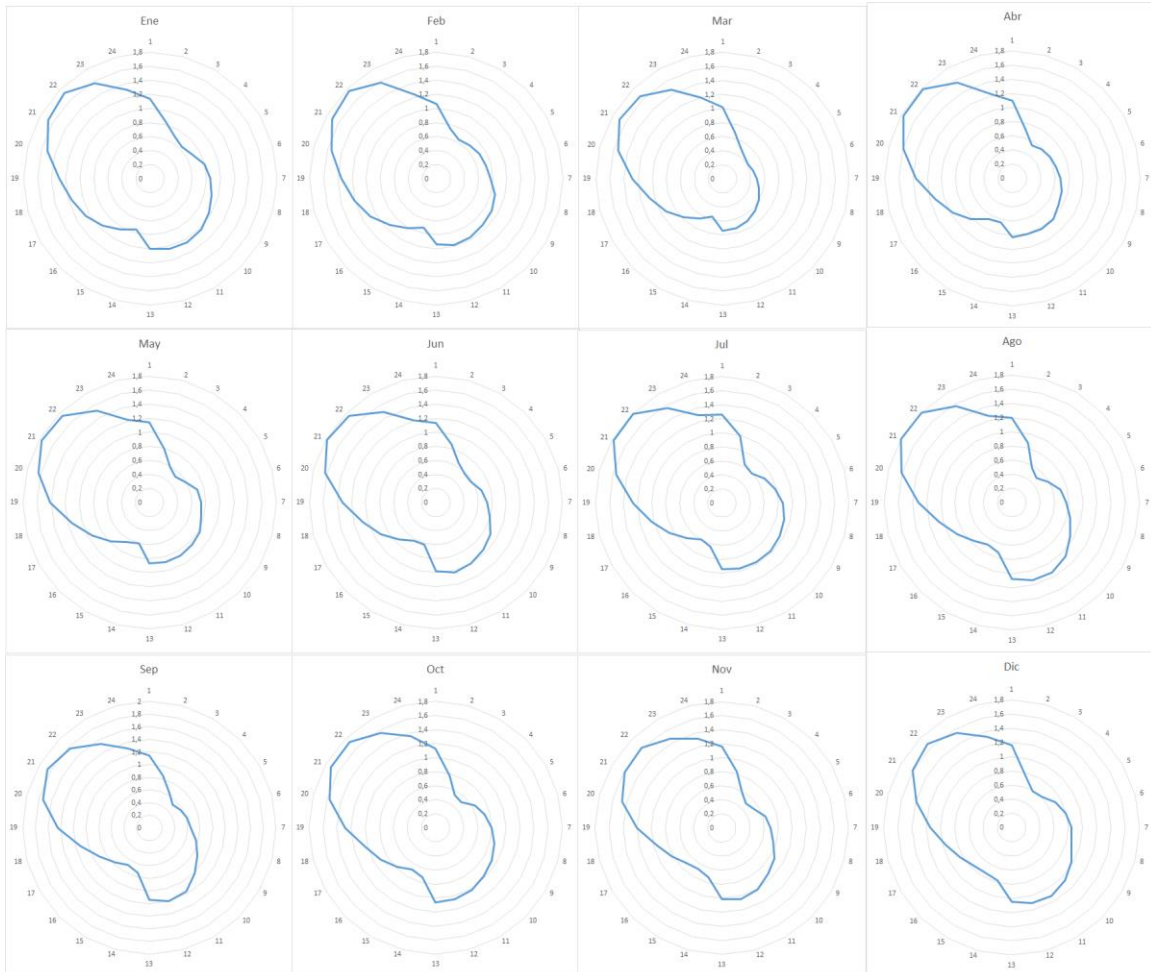


Figura 47 Variación horaria de la velocidad del viento (% de Velocidad promedio anual) – Pacífico – altura 100m. Fuente datos: Global Wind Atlas

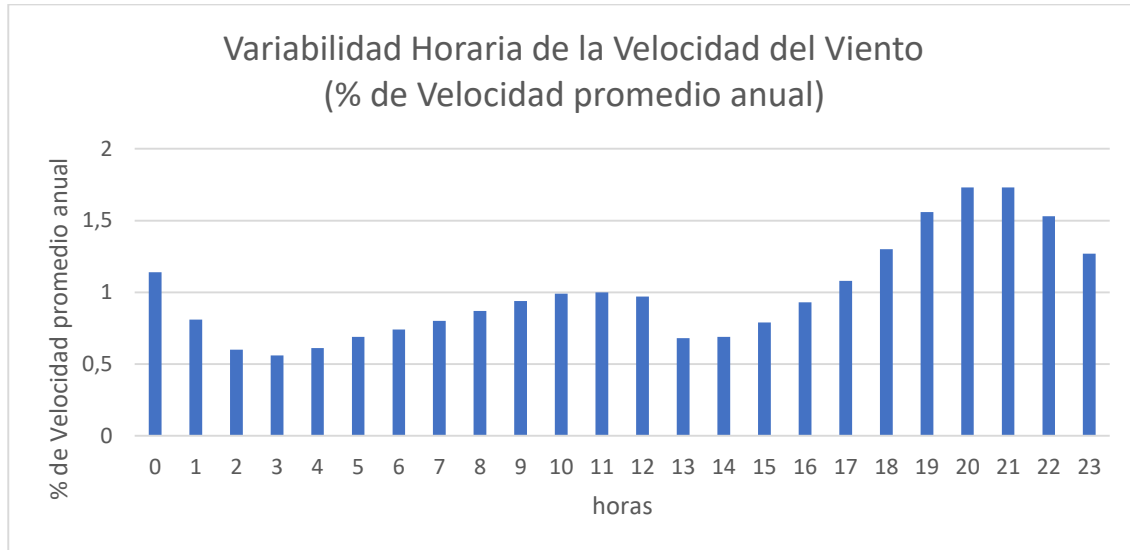


Figura 48 Variabilidad horaria de la velocidad del viento – promedio anual - Pacífico – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

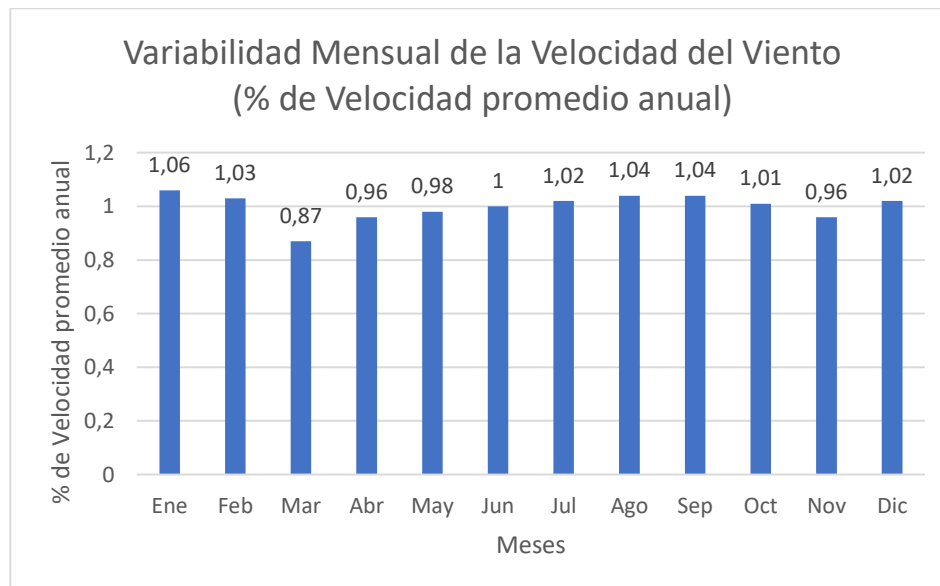


Figura 49 Variabilidad mensual de la velocidad del viento – promedio anual - Pacífico – altura 100m.
Fuente datos: Global Wind Atlas

De la información presente en las figuras anteriormente descritas, se tiene que la subregión Pacífico presenta un patrón de comportamiento donde predominan las velocidades altas en la noche, principalmente en la franja horaria entre las 7pm y las 11pm. De igual manera, se tiene que la

intensidad del viento se mantiene relativamente uniforme durante el año, mostrando un leve incremento de intensidad de viento en los meses entre julio y septiembre.

En la **Figura 50** se muestra la densidad promedio de potencia para diferentes porcentajes del área con más viento del territorio de las subregión Pacífico para alturas de 10m, 50m, y 150m.

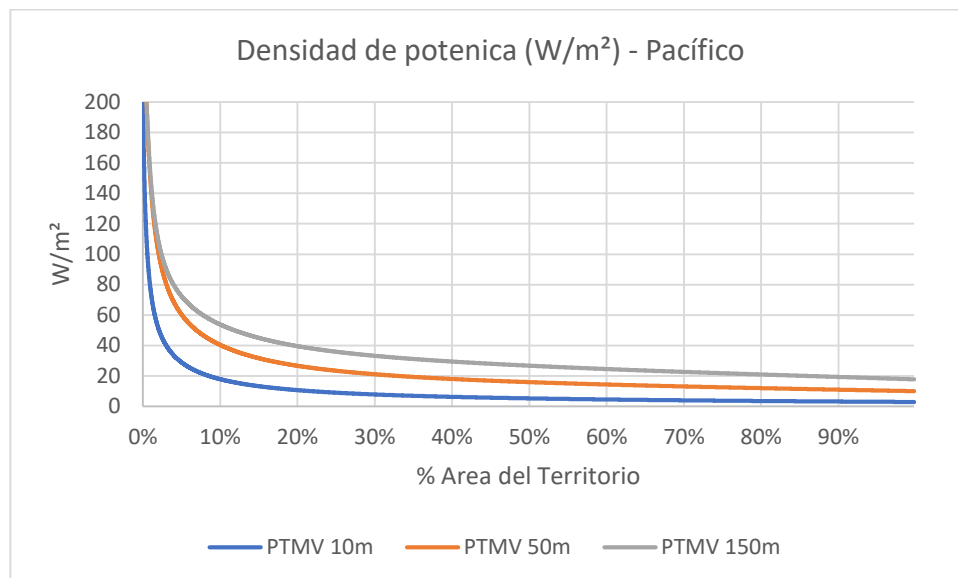


Figura 50 Densidad de potencia eólica (W/m^2) – promedio anual – Pacífico. Fuente datos: Global Wind Atlas

En la Tabla 3.12 se muestran los valores promedio de la densidad de potencia para diferentes alturas y para el 10%, 50% y 100% de las áreas con más viento de la subregión. Note que la densidad de potencia promedio de la subregión Pacífico es muy baja incluso para las áreas con más viento y a mayor altura, lo cual sugiere que este recurso no resulta atractivo en esta subregión.

Tabla 3.12. Densidad promedio de potencia [W/m^2] subregión Pacífico.

| Porcentaje [%] | 10m | 50m | 150m |
|----------------|-------|-------|-------|
| 10 | 18,07 | 40,79 | 54,25 |
| 50 | 5,21 | 15,92 | 26,74 |
| 100 | 2,83 | 9,94 | 17,71 |

3.9. Resumen de información del recurso eólico

En la Tabla 3.13 se muestran el resumen de valores de velocidad del viento y densidad de potencia para cada subregión del departamento del Cauca, así como los municipios con mayor velocidad del

viento. Es de resaltar, que las subregiones con mayor potencial son Oriente y Macizo, mientras que la de menor potencial el Pacífico.

Tabla 3.13. Resumen potencial de recurso eólico.

| Subregión | Altura (m) | Velocidad del viento (m/s) | | | | | Densidad de potencia [W/m ²] | | | Municipios con más viento |
|-----------|------------|----------------------------|----------|---------------------|------|-------|--|----------|--------|--|
| | | 10% TMV* | 50% TMV* | 100% del territorio | Mín | Máx | 10% TMV* | 50% TMV* | 100% | |
| Norte | 10 | 5,34 | 2,54 | 1,74 | 0,06 | 17,16 | 459,17 | 108,44 | 55,65 | Corinto Toribío Jambaló |
| | 50 | 6,75 | 3,41 | 2,52 | 0,07 | 14,86 | 581,04 | 151,35 | 80,71 | |
| | 150 | 7,91 | 4,17 | 3,19 | 0,67 | 14,03 | 689,02 | 198,36 | 109,00 | |
| Centro | 10 | 5,46 | 2,62 | 1,72 | 1,08 | 15,68 | 354,83 | 87,00 | 44,40 | Silvia Puracé |
| | 50 | 7,18 | 3,71 | 2,58 | 1,82 | 14,27 | 534,44 | 148,79 | 78,01 | |
| | 150 | 8,63 | 4,56 | 3,26 | 2,33 | 13,69 | 721,37 | 215,41 | 114,57 | |
| Macizo | 10 | 6,05 | 3,03 | 1,89 | 0,99 | 22,18 | 509,27 | 129,21 | 65,47 | San Sebastián Almaguer La Vega Sotará |
| | 50 | 7,88 | 4,46 | 2,95 | 1,77 | 16,61 | 724,22 | 228,02 | 118,03 | |
| | 150 | 9,32 | 5,60 | 3,76 | 2,27 | 15,69 | 920,22 | 343,43 | 179,26 | |
| Oriente | 10 | 5,58 | 3,01 | 1,98 | 0,03 | 13,90 | 293,30 | 81,69 | 42,18 | Totoró Páez |
| | 50 | 6,90 | 4,14 | 2,82 | 0,11 | 12,80 | 406,49 | 131,66 | 69,83 | |
| | 150 | 8,24 | 5,18 | 3,59 | 0,60 | 12,63 | 544,58 | 194,59 | 104,61 | |
| Sur | 10 | 4,18 | 2,54 | 1,79 | 0,42 | 12,25 | 303,11 | 91,33 | 48,57 | Bolívar |
| | 50 | 5,24 | 3,37 | 2,50 | 0,81 | 12,94 | 389,09 | 133,15 | 73,88 | |
| | 150 | 6,04 | 4,06 | 3,10 | 1,34 | 12,43 | 479,76 | 177,16 | 100,85 | |
| Pacífico | 10 | 1,84 | 1,20 | 0,89 | 0,89 | 6,92 | 18,07 | 5,21 | 2,83 | Guapi |
| | 50 | 2,82 | 2,13 | 1,71 | 1,79 | 7,81 | 40,79 | 15,92 | 9,94 | |
| | 150 | 3,48 | 2,76 | 2,27 | 2,34 | 7,27 | 54,25 | 26,74 | 17,71 | |

*TMV: Territorio con más viento

4. Energía hidráulica

4.1. Descripción

La energía hidráulica proviene de la transformación de energía potencial en energía cinética y posteriormente a energía eléctrica. Es considerada un tipo de fuente de energía renovable y se puede afirmar que es limpia en términos de la producción de electricidad, pues su fuente primaria depende fundamentalmente de las diferencias de altura del terreno y de los ciclos de lluvias, y por lo tanto se considera inagotable (siempre y cuando se protejan las cuencas hidrológicas) y libre de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, se debe aclarar que la energía hidráulica a gran escala presenta importantes afectaciones ambientales, pues modifica el cauce natural de los ríos alterando su ecosistema, afecta a la flora y fauna de la región donde se encuentra el embalse, altera el caudal del río aguas abajo y debido a la descomposición de la materia vegetal que yace en el fondo del embalse, se producen importantes cantidades de metano (potente gas de efecto invernadero) en las primeras etapas de vida de la central. Es por esto que, para realizar un aprovechamiento sostenible del recurso hidráulico, se debe hacer un análisis multicriterio que considere de manera ponderada factores ambientales, sociales, técnicos y económicos, dando prioridad a los dos primeros, dada la condición de importancia de la protección del fluido vital.

4.2. Potencial energético hidráulico

En el Cauca se sitúa el nudo cordillerano andino del Macizo Colombiano. Allí nacen las cordilleras central y occidental de Colombia, al igual que los dos grandes ríos interandinos colombianos el Cauca y el Magdalena. Esto hace al departamento del Cauca una de las regiones con más fuentes de agua de Colombia y con mayor potencial para la generación de energía hidráulica.

Los valles cálidos del río Patía que desemboca en el océano Pacífico, el Cauca y la llanura del pacífico, cubierta de selva lluviosa tropical, completan las regiones naturales del departamento. El departamento del Cauca está bañado por cinco grandes cuencas: Alto Cauca, Pacífico, Alto Magdalena, Patía y Caquetá (Gobernación del Cauca, 2019). En la **Figura 51** se muestran las zonas hidrológicas clasificadas por el IDEAM donde se encuentran las 5 cuencas del departamento.

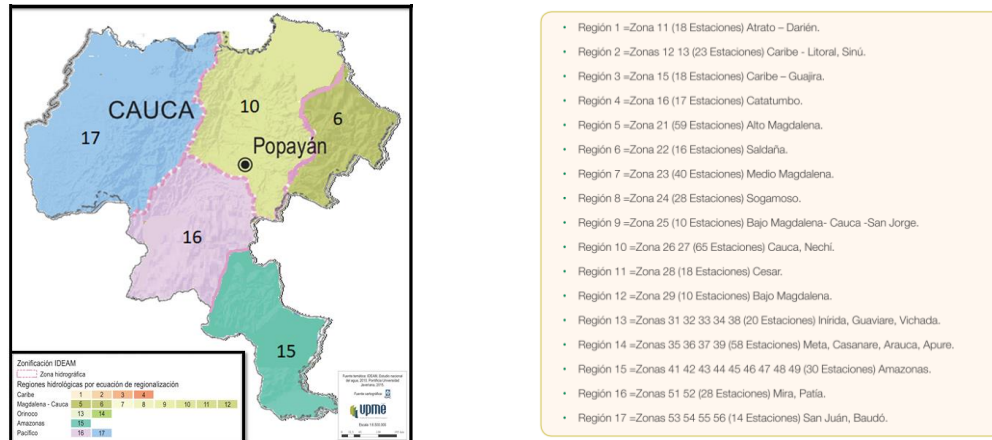


Figura 51 Zonas hidrográficas IDEAM mensual. Fuente: UPME

- La cuenca del Alto Cauca: está conformada por el río Cauca y sus afluentes, los ríos Palo, Guengué, Negro, Teta, Desbaratado, Quilichao, Mondomo, Ovejas, Pescador, Robles, Piedras, Sucio, Palacé, Cofre, Honda, Cajibío, Piendamó, Tunia, Molino, Timbío y Blanco.
- La cuenca del Pacífico: está conformada principalmente por los ríos Guapi, Timbiquí, Saija y Micay.
- La cuenca del Alto Magdalena: tiene como su principal fuente de drenaje al río Páez al que confluyen los ríos San Vicente, Moras, Ullucos, Negro y Negro de Narváez, y las quebradas Tóez, Símbola, Salado, Gualcar, Gallo, Macana, Honda y Totumo.
- La cuenca del Patía: está conformada por el río Patía y sus tributarios: los ríos Guachinoco, Ismita, Bojoleo, El Guaba, Sambingo y Mayo.
- La cuenca del Caquetá: está conformada principalmente por el río Caquetá, al cual confluyen los ríos Cusiyaco, Cascabelito, Verdeyaco, Mandiyaco, Fragua, Cascabel, Curiaco y Pacayaco.

Como se mencionó en la sección 4.1, los ciclos de lluvias son fundamentales para garantizar el potencial hidráulico de una región. La distribución de lluvias en el departamento del Cauca registra una gran variabilidad territorial. En la **Figura 52** se muestra a precipitación promedio anual en cada región del departamento, se tiene que las mayores lluvias ocurren hacia la vertiente del Pacífico en los municipios de López, Timbiquí y Guapi, con volúmenes superiores a los 7000 mm anuales. Los menores valores se registran en sectores de la cuenca del Patía, en municipios como Rosas, El Bordo y La Fonda, entre otros, con cantidades anuales menores a los 1000 mm en promedio. El régimen de lluvias predominante en el departamento es bimodal con una temporada seca muy marcada hacia los

meses de junio, julio y agosto y una temporada lluviosa principal en los meses de octubre, noviembre y diciembre (ver **Figura 53**). Adicionalmente, se registran dos temporadas secundarias: en los meses de enero y febrero las lluvias disminuyen y en el periodo de marzo a mayo, se incrementan. En la vertiente del Pacífico, no existe una temporada seca definida y las lluvias predominan durante todo el año (Gobernación del Cauca, 2019).

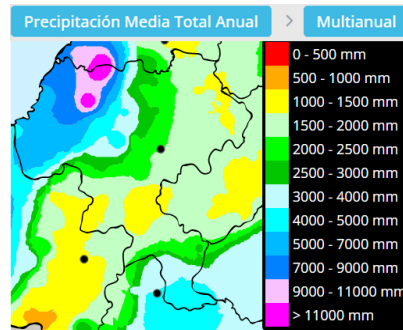


Figura 52 Precipitación media anual (mm). Fuente: IDEAM

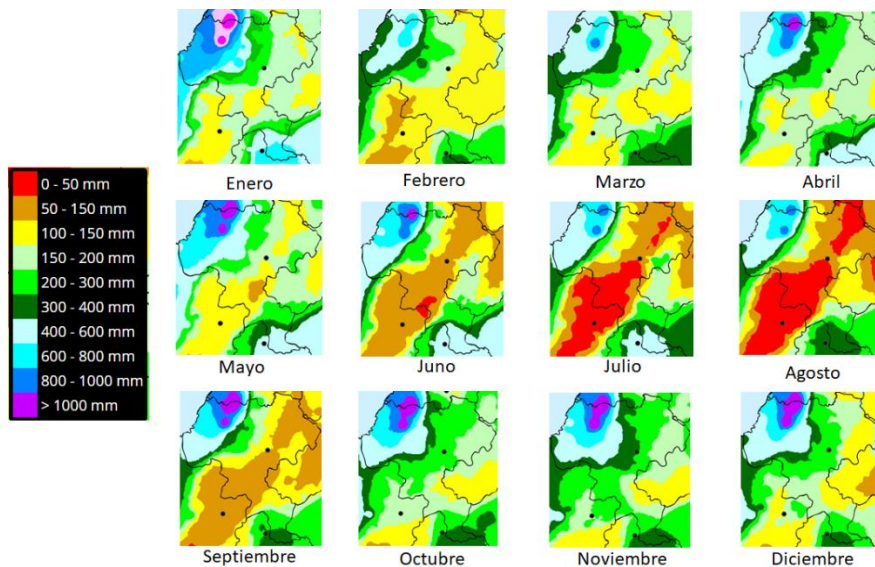


Figura 53 Precipitación media mensual (mm). Fuente: IDEAM

En la **Figura 54** se presenta la información de caudal promedio anual de las zonas hidrológicas del departamento del Cauca, es de resaltar que los mayores caudales se localizan en las regiones del pacífico, macizo y piedemonte amazónico con caudales que oscilan entre los 500m³/s y 2000m³/s. La información de caudal promedio se combina con la información de los histogramas adimensionales por cuenca y las curvas de duración de caudal para determinar el potencial hidráulico de cada región (ver **Figura 55**).

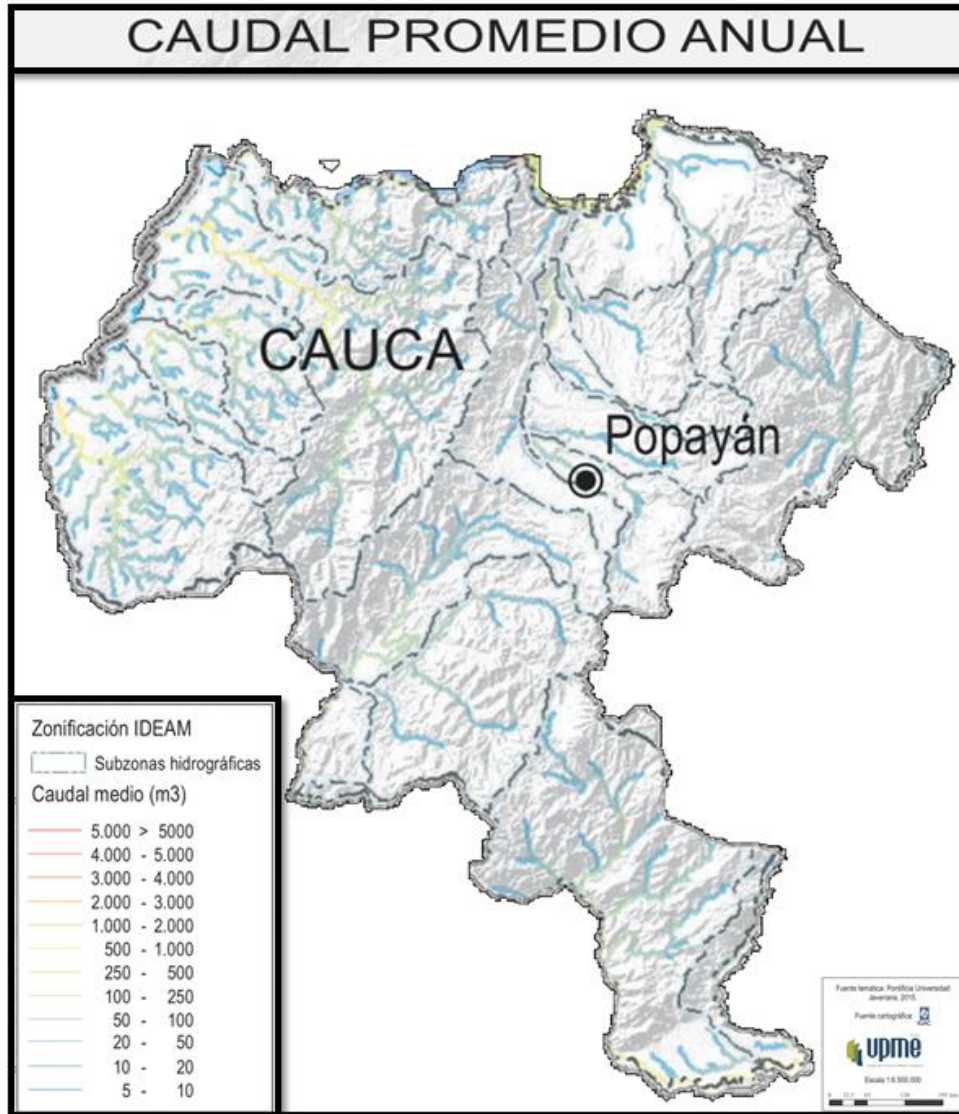


Figura 54 Caudal promedio anual (m3/s). Fuente: UPME

En la **Figura 55** se presentan los histogramas y las curvas de duración de caudal adimensional de cada zona hidrográfica, se observa que en general las 5 zonas hidrográficas presentan curvas de duración de carga similares donde el caudal promedio se presenta al menos el 40% del tiempo, y el caudal que se presenta el 80% del año es equivalente al 50% del caudal promedio de cada río.

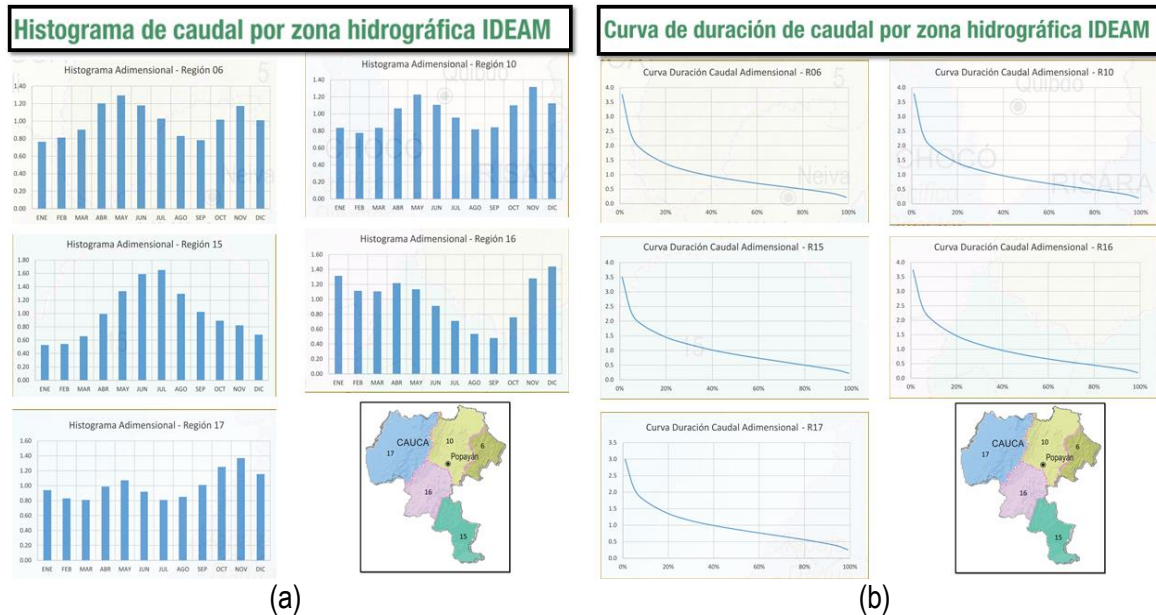


Figura 55 Caudal adimensional por zona hidrográfica; (a) histograma, (b) curvas de duración de caudal adimensional. Fuente: UPME

En la **Figura 56** se presenta el potencial hidroenergético por zona hidrográfica. Allí se puede observar que se presenta un patrón en la distribución geográfica del recurso hidráulico, el cual permite identificar regiones de alto (A), medio (M) y bajo (B) potencial de aprovechamiento. Por último, en la **Figura 57** se muestra la ubicación de diferentes proyectos potenciales de aprovechamiento hidrológico.

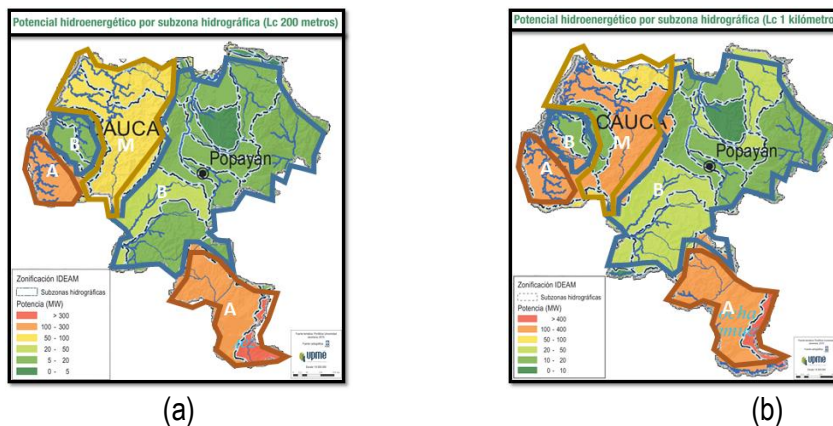


Figura 56 Potencial hidroenergético por zona hidrográfica (MW); (a) a una longitud de conducción de 200m, (b) a una longitud de conducción de 1km. Fuente: UPME

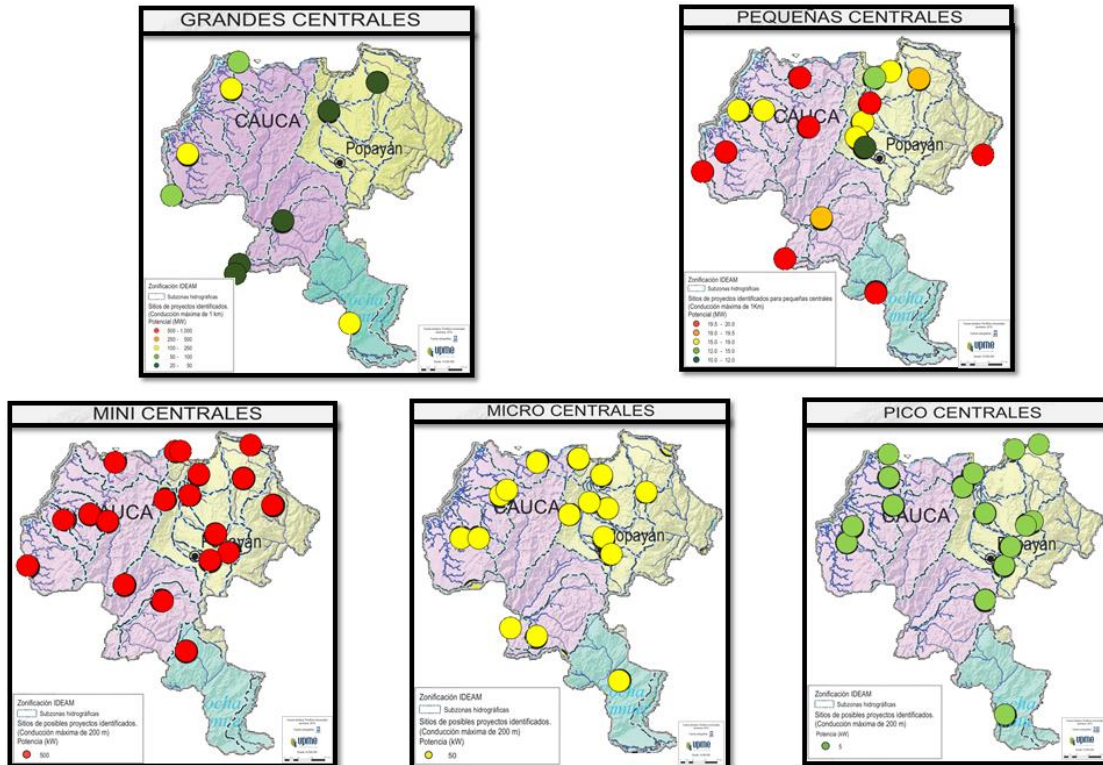


Figura 57 Potenciales proyectos hidroeléctricos. Fuente: UPME

La Corporación Autónoma Regional del Cauca-CRC desarrolló en el año 2018 y 2019 campañas de monitoreo de calidad de fuentes hídricas superficiales en zonas hidrográficas del Departamento del Cauca. En estos se consideran las subzonas hidrográficas que a continuación se presentan y son empleadas en el estudio realizado por el PERS Cauca. En la Tabla 4.1 se observan los valores de caudal obtenidos en la campaña de monitoreo y en la Figura 58 se presenta el mapa con la ubicación de estas zonas.

Tabla 4.1 Caudales en Subzonas hidrográficas del Departamento del Cauca

| Nombre de la Subzona | Área Km ² | Oferta total año medio m ³ /s | Oferta total año seco m ³ /s | Oferta total año húmedo m ³ /s | Oferta disponible año medio m ³ /s | Oferta disponible año seco m ³ /s | Oferta disponible año húmedo m ³ /s |
|----------------------|----------------------|--|---|---|---|--|--|
| Río Páez | 5203 | 5691,8 | 2514,5 | 11262,5 | 2839,4 | 1254,4 | 5618,3 |
| Alto río Cauca | 854 | 751,5 | 336,9 | 1594,3 | 355,4 | 159,3 | 754,1 |
| Río Palacé | 934 | 791,4 | 343,3 | 1780,1 | 361,9 | 157 | 813,9 |

| | | | | | | | |
|---|-------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Río Salado y otros directos Cauca | 1247 | 1567,9 | 564,2 | 3543 | 996,4 | 358,5 | 2251,7 |
| Río Palo | 1651 | 1137,3 | 334,9 | 2799,1 | 692,8 | 204 | 1705,2 |
| Río Timba | 485 | 681,4 | 228 | 1449,2 | 394,6 | 132 | 839,2 |
| Río Ovejas | 924 | 718,3 | 270,9 | 1663,2 | 406,1 | 153,2 | 940,4 |
| Río Desbaratado | 191 | 112,3 | 37,1 | 324,5 | 56,7 | 18,8 | 163,8 |
| Río Piendamó | 601 | 529,4 | 209,2 | 1178,6 | 291 | 115 | 647,9 |
| Río Quinamayo y otros directos al Cauca | 811 | 656,5 | 165,6 | 1616,7 | 426,7 | 107,6 | 1050,8 |
| Alto Caqueta | 5811 | 12984,4 | 6390,3 | 24752 | 6296,2 | 3098,7 | 12002,4 |
| Río Caquetá Medio | 15579 | 33495,6 | 17310,3 | 61948,8 | 15265,9 | 7889,3 | 28233,8 |
| Río Patía Alto | 3218 | 3018,8 | 854,5 | 6727,6 | 1841,3 | 521,2 | 4103,6 |
| Río Guachicono | 2626 | 1673,6 | 601,2 | 3665,6 | 976,1 | 350,7 | 2138 |
| Río Mayo | 874 | 659,9 | 299 | 1303,6 | 321 | 145,5 | 634,2 |
| Río Guapi | 2623 | 16002,4 | 7263,6 | 28089 | 9013,9 | 4091,4 | 15822 |
| Río Timbiquí | 808 | 4303,4 | 2000,3 | 8270,6 | 2117,3 | 984,2 | 4069,3 |
| Río Sajja | 1088 | 6625,7 | 2895,3 | 11754,7 | 3379,7 | 1476,9 | 5995,9 |
| Río San Juan del Micay | 4452 | 20364,3 | 8446,8 | 36777,3 | 10931,7 | 4534,3 | 19742,4 |
| Río Naya - Yuru-manguí | 2665 | 17567 | 7183,3 | 33844 | 11000,8 | 4498,3 | 21193,7 |

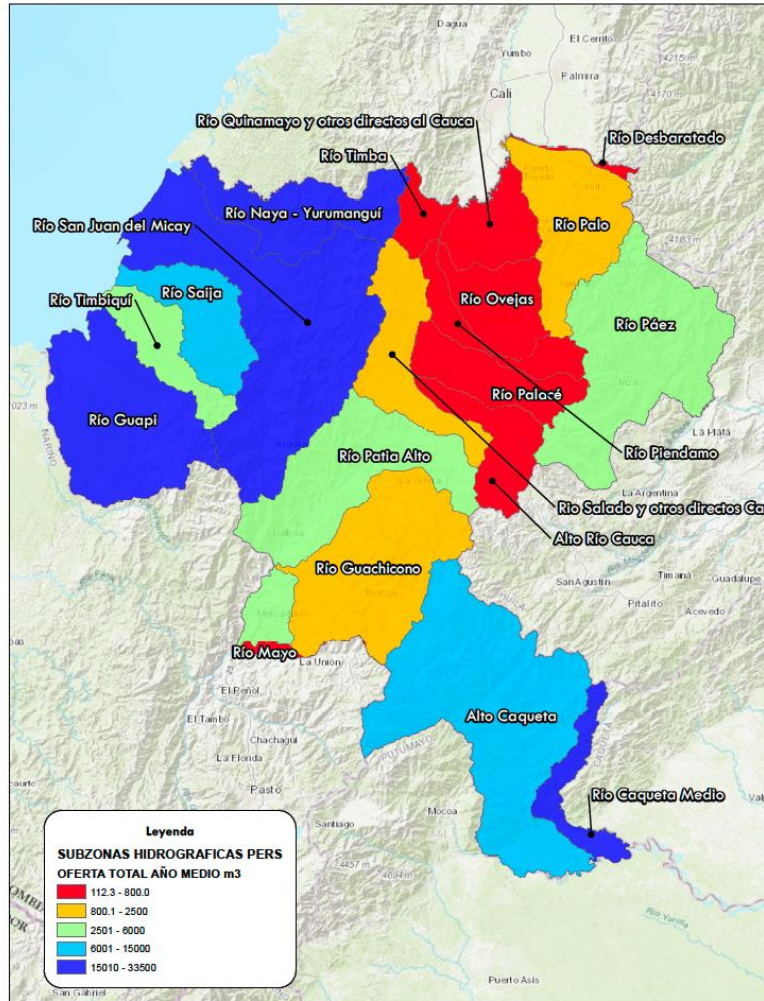


Figura 58. Subzonas Hidrográficas Departamento del Cauca Elaboración: PERS-CAUCA

Dentro de estas subzonas hidrográficas se han priorizado 32 fuentes hídricas, lo anterior se realizó considerando las más caudalosas. Para el año 2019 se tenían setenta y cinco (84) puntos de monitoreo en las diferentes fuentes hídricas priorizadas y hasta la fecha esta información no se ha actualizado por parte de la CRC.

Tabla 4.2 Valores de caudales en las fuentes hídricas priorizadas del Departamento del Cauca

| FUENTE HÍDRICAS | PUNTOS DE MONITOREO | CORRIENTE | PUNTO DE MONITOREO | CAUDAL m^3/s (Q) |
|-----------------|---------------------|-------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | 1 | Río Mandivá | Río Mandivá k0 + 00 | 0,35 |
| | 2 | | Río Mandivá Desembocadura | 1,27 |

| | | | | |
|---|----|----------------------|--|---------------|
| 2 | 3 | Quebrada La Chapa | Quebrada la Chapa antes de Rayanderias | 0,04 |
| | 4 | | Quebrada la Chapa Desembocadura | 0,44 |
| 3 | 5 | Río Quinamayo | Puente Panamericana | 1,60 |
| | 6 | | Estacion C.V.C Puente Via a Timba | 4,06 |
| | 7 | | Rio Quinamayo despues de Japio | 5,62 |
| | 8 | | Desembocadura a Rio Cauca | 3,11 |
| 4 | 9 | Zanjón Japio | Zanjón Japio puente via al CIAT | 0,75 |
| 5 | 10 | Quebrada Agua Sucia | Quebrada Agua Sucia antes de Santander | 0,11 |
| | 11 | | Puente Vaiante Santander | 0,33 |
| | 12 | | Desembocadura Rio Quinamayó | 0,62 |
| 6 | 13 | Zanjón Oscuro | Corregimiento de Santa Ana | 0,14 |
| | 14 | | Puente via Puerto Tejada- Candelaria (INCAUCA) | 0,83 |
| | 15 | | Desembocadura | 2,50 |
| 7 | 16 | Río Palo | Bocatoma corregimiento El Palo | No registrado |
| | 17 | | Antes PTAR Guachené | 9,28 |
| | 18 | | Despues de PTAR Guachené | No registrado |
| | 19 | | Puente del Maiz | No registrado |
| | 20 | | Puente PICC | No registrado |
| | 21 | | Puente Perico Negro | No registrado |
| | 22 | | Puente Puerto Tejada | No registrado |
| | 23 | | Desembocadura a Cauca | No registrado |
| 8 | 24 | Río La Paila | Antes de Puerto Tejada | No registrado |
| | 25 | | Desembocadura a R. Palo | 5,26 |
| 9 | 26 | Quebrada La Quebrada | Puente Crucero de Guali | 2,40 |
| | 27 | | Puente Panamericana antes de peaje | 2,44 |

| | | | | |
|----|----|-------------------|--|---------------|
| 10 | 28 | Quebrada La Tabla | Antes de Parque sur | 0,61 |
| | 29 | | Despues de la Y Entrada a Parque Sur | 0,62 |
| 11 | 30 | Río Ejido | Antes de Barrio Avellinon Ull | 0,05 |
| | 31 | | Barrio Junin Antes de R. Molino | 0,71 |
| 12 | 32 | Río Molino | Antes de Pueblito | 0,45 |
| | 33 | | Puente Edificio Negret | 0,69 |
| | 34 | | Antes de R. Ejido | 0,90 |
| | 35 | | Despues de Ejido | 1,62 |
| 13 | 36 | Río Vinagre | Sector de Puracé | No registrado |
| | 37 | | Desembocadura Rio Vinagre a Cauca | 3,15 |
| 14 | 38 | Río Piedras | Antes de Piscifactoria El Diviso | 0,60 |
| | 39 | | Despues de piscifactoria El Diviso | 0,94 |
| | 40 | | Puente via a Quintana | 2,07 |
| 15 | 41 | Río Cauca | Antes de Vinagre Bocatoma Florida II | No registrado |
| | 42 | | Puente Metalico Vivero | No registrado |
| | 43 | | Estacion Julumito | No registrado |
| | 44 | | Puente Metalico, Barrio Comuneros (Suarez) | No registrado |
| | 45 | | Puente La Balsa (Via Timba) | No registrado |
| | 46 | | Puente Valencia (Puerto Tejada) | No registrado |
| | 47 | | Puente Hormiguero | No registrado |
| 16 | 48 | Río Ovejas | Puente Panamericana | 4,27 |
| | 49 | | Desembocadura | 8,48 |
| 17 | 50 | Río Blanco | Antes de Penitenciara San Isidro | 0,34 |
| | 51 | | Puente Panamericana | 0,77 |
| 18 | 52 | Río Palace | Antes de bocatoma Popayan | 3,97 |
| | 53 | | Puente Panamericana | 4,49 |

| | | | | |
|----|----|-----------------|--|---------------|
| 19 | 54 | Quebrada Ñimbe | Antes de tío Piendamó | 1,31 |
| 20 | 55 | Río Piendamó | Después de Quebrada Ñimbe (trucha) | 2,00 |
| | 56 | | Después de Silvia | 4,17 |
| | 57 | | Puente Panamericana | 4,97 |
| 21 | 58 | Río Timbio | Antes de Timbio | 0,40 |
| | 59 | | Puente Panamericana | 1,03 |
| | 60 | | Después de Timbio | 1,54 |
| 22 | 61 | Río Quilcacé | Puente Panamericana | 3,34 |
| 23 | 62 | Río Esmita | Puente Panamericana | 4,13 |
| 24 | 63 | Río Guachicono | Puente Fierro | 12,09 |
| | 64 | | Puente via Sucre | 14,25 |
| 25 | 65 | Río Patía | Puente Via a Olaya | No registrado |
| | 66 | | Puente La Barca, via a Balboa | No registrado |
| 26 | 67 | Unión Dos Ríos | Unión Río San Jorge con Río Guachicono, antes de río Patía | No registrado |
| 27 | 68 | Río Teta | Sector Higuerrillos, antes de minería | 1,75 |
| | 69 | | Sector Santa Catalina después de minería de filón | 2,27 |
| | 70 | | Sector Lomitas Bajas desembocadura al Cauca | 3,52 |
| 28 | 71 | Río Cofre | Antes de Totoró | 0,21 |
| | 72 | | Después de ventimientos (PTAR) | 0,82 |
| | 73 | | Desembocadura | 3,89 |
| 29 | 74 | Río Timba | Sector la Arabia | 2,17 |
| | 75 | | Sector el Palmar | 5,82 |
| | 76 | | Desembocadura La Berta | 5,93 |
| 30 | 77 | Río Güengüe | Puente viejo Miranda | 3,38 |
| | 78 | | Desembocadura a río Paila | 3,53 |
| 31 | 79 | Río Desbaratado | Antes de bocatoma Cabecera Miranda | 2,66 |

| | | | | |
|----|----|---------------|---|------|
| | 80 | | Antes de Porcicola (Pte Jordan) | 1,80 |
| | 81 | | Puente Ortigal | 1,81 |
| 32 | 82 | Río Quilichao | Antes de bacatoma vereda San Pedro | 0,51 |
| | 83 | | Antes de cabecera municipal, después de captaciones | 0,50 |
| | 84 | | Después de vertimientos Municipales | 0,62 |

A partir de los caudales mostrados en la Tabla 4.2 y con el apoyo del atlas de potencial hidroenergético de Colombia publicado en el año 2015 se realiza el ejercicio de proyección de potencial energético para el recurso hídrico en el Departamento del Cauca.

La potencia hidráulica se calcula a partir del caudal y de la caída hidráulica. Para el Departamento del Cauca se han considerado 4 valores de caída hidráulica: 5, 10, 15 y 25 m.

Con el valor del caudal (Q) donde se tiene registro y con el valor de la caída hidráulica se calcula la potencia teórica, obteniéndola con el producto de estas variables y la eficiencia del sistema.

$$Ph = 9.81 \times Hest \times Q$$

Ph =Potencial hidroenergético en kilovatios (kW)

$Hest$ =caída hidráulica en metros (m)

Q =caudal promedio en metros cubicos por segundo (m³/s)

9.81 es el valor calculado entre la multiplicación de la densidad del agua (1000 kg/m³) y la gravedad (9.8 m/s²)

La Tabla 4.3 presenta los resultados del potencial hidroenergético en las fuentes hídricas priorizadas del Departamento del Cauca.

Tabla 4.3 Potencial hidroenergético en fuentes priorizadas

| FUENTE HÍDRICAS | PUNTOS DE MONITOREO | CORRIENTE | Potencia en kW Hest=5m | Potencia en kW Hest=10m | Potencia en kW Hest=15m | Potencia en kW Hest=25m |
|-----------------|---------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | 1 | Río Mandivá | 17,15 | 34,3 | 51,45 | 85,75 |
| | 2 | | 62,23 | 124,46 | 186,69 | 311,15 |
| 2 | 3 | Quebrada La Chapa | 1,96 | 3,92 | 5,88 | 9,8 |
| | 4 | | 21,56 | 43,12 | 64,68 | 107,8 |
| 3 | 5 | Río Quinamayo | 78,4 | 156,8 | 235,2 | 392 |

| | | | | | | |
|----|----|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 6 | | 198,94 | 397,88 | 596,82 | 994,7 |
| | 7 | | 275,38 | 550,76 | 826,14 | 1376,9 |
| | 8 | | 152,39 | 304,78 | 457,17 | 761,95 |
| 4 | 9 | Zanjón Japio | 36,75 | 73,5 | 110,25 | 183,75 |
| 5 | 10 | Quebrada Agua Sucia | 5,39 | 10,78 | 16,17 | 26,95 |
| | 11 | | 16,17 | 32,34 | 48,51 | 80,85 |
| | 12 | | 30,38 | 60,76 | 91,14 | 151,9 |
| 6 | 13 | Zanjón Oscuro | 6,86 | 13,72 | 20,58 | 34,3 |
| | 14 | | 40,67 | 81,34 | 122,01 | 203,35 |
| | 15 | | 122,5 | 245 | 367,5 | 612,5 |
| 7 | 16 | Río Palo | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 17 | | 454,72 | 909,44 | 1364,16 | 2273,6 |
| | 18 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 19 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 20 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 21 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 22 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 23 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| 8 | 24 | Río La Paila | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 25 | | 257,74 | 515,48 | 773,22 | 1288,7 |
| 9 | 26 | Quebrada La Quebrada | 117,6 | 235,2 | 352,8 | 588 |
| | 27 | | 119,56 | 239,12 | 358,68 | 597,8 |
| 10 | 28 | Quebrada La Tabla | 29,89 | 59,78 | 89,67 | 149,45 |
| | 29 | | 30,38 | 60,76 | 91,14 | 151,9 |
| 11 | 30 | Río Ejido | 2,45 | 4,9 | 7,35 | 12,25 |
| | 31 | | 34,79 | 69,58 | 104,37 | 173,95 |
| 12 | 32 | Río Molino | 22,05 | 44,1 | 66,15 | 110,25 |
| | 33 | | 33,81 | 67,62 | 101,43 | 169,05 |
| | 34 | | 44,1 | 88,2 | 132,3 | 220,5 |
| | 35 | | 79,38 | 158,76 | 238,14 | 396,9 |
| 13 | 36 | Río Vinagre | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 37 | | 154,35 | 308,7 | 463,05 | 771,75 |
| 14 | 38 | Río Piedras | 29,4 | 58,8 | 88,2 | 147 |
| | 39 | | 46,06 | 92,12 | 138,18 | 230,3 |

| | | | | | | |
|----|----|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 40 | | 101,43 | 202,86 | 304,29 | 507,15 |
| 15 | 41 | Río Cauca | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 42 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 43 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 44 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 45 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 46 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 47 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| 16 | 48 | Río Ovejas | 209,23 | 418,46 | 627,69 | 1046,15 |
| | 49 | | 415,52 | 831,04 | 1246,56 | 2077,6 |
| 17 | 50 | Río Blanco | 16,66 | 33,32 | 49,98 | 83,3 |
| | 51 | | 37,73 | 75,46 | 113,19 | 188,65 |
| 18 | 52 | Río Palace | 194,53 | 389,06 | 583,59 | 972,65 |
| | 53 | | 220,01 | 440,02 | 660,03 | 1100,05 |
| 19 | 54 | Quebrada Ñimbe | 64,19 | 128,38 | 192,57 | 320,95 |
| 20 | 55 | Río Piendamó | 98 | 196 | 294 | 490 |
| | 56 | | 204,33 | 408,66 | 612,99 | 1021,65 |
| | 57 | | 243,53 | 487,06 | 730,59 | 1217,65 |
| 21 | 58 | Río Timbio | 19,6 | 39,2 | 58,8 | 98 |
| | 59 | | 50,47 | 100,94 | 151,41 | 252,35 |
| | 60 | | 75,46 | 150,92 | 226,38 | 377,3 |
| 22 | 61 | Río Quilcacé | 163,66 | 327,32 | 490,98 | 818,3 |
| 23 | 62 | Río Esmita | 202,37 | 404,74 | 607,11 | 1011,85 |
| 24 | 63 | Río Guachicono | 592,41 | 1184,82 | 1777,23 | 2962,05 |
| | 64 | | 698,25 | 1396,5 | 2094,75 | 3491,25 |
| 25 | 65 | Río Patía | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| | 66 | | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| 26 | 67 | Unión Dos Ríos | No Registra | No Registra | No Registra | No Registra |
| 27 | 68 | Río Teta | 85,75 | 171,5 | 257,25 | 428,75 |
| | 69 | | 111,23 | 222,46 | 333,69 | 556,15 |
| | 70 | | 172,48 | 344,96 | 517,44 | 862,4 |
| 28 | 71 | Río Cofre | 10,29 | 20,58 | 30,87 | 51,45 |
| | 72 | | 40,18 | 80,36 | 120,54 | 200,9 |
| | 73 | | 190,61 | 381,22 | 571,83 | 953,05 |
| 29 | 74 | Río Timba | 106,33 | 212,66 | 318,99 | 531,65 |
| | 75 | | 285,18 | 570,36 | 855,54 | 1425,9 |

| | | | | | | |
|----|-------|---------------|-----------------|--------|--------|---------|
| | 76 | | 290,57 | 581,14 | 871,71 | 1452,85 |
| 30 | 77 | Río Güengüe | 165,62 | 331,24 | 496,86 | 828,1 |
| | 78 | | 172,97 | 345,94 | 518,91 | 864,85 |
| | 79 | | Río Desbaratado | 130,34 | 260,68 | 391,02 |
| 80 | 88,2 | 176,4 | | 264,6 | 441 | |
| 81 | 88,69 | 177,38 | | 266,07 | 443,45 | |
| 32 | 82 | Río Quilichao | 24,99 | 49,98 | 74,97 | 124,95 |
| | 83 | | 24,5 | 49 | 73,5 | 122,5 |
| | 84 | | 30,38 | 60,76 | 91,14 | 151,9 |

La Figura 59 muestra el potencial hidroenergético para un Hest=5m, la Figura 60 muestra el potencial hidroenergético para un Hest=10m, la Figura 61 muestra el potencial hidroenergético para un Hest=15m, y la Figura 62 muestra el potencial hidroenergético para un Hest=25m.

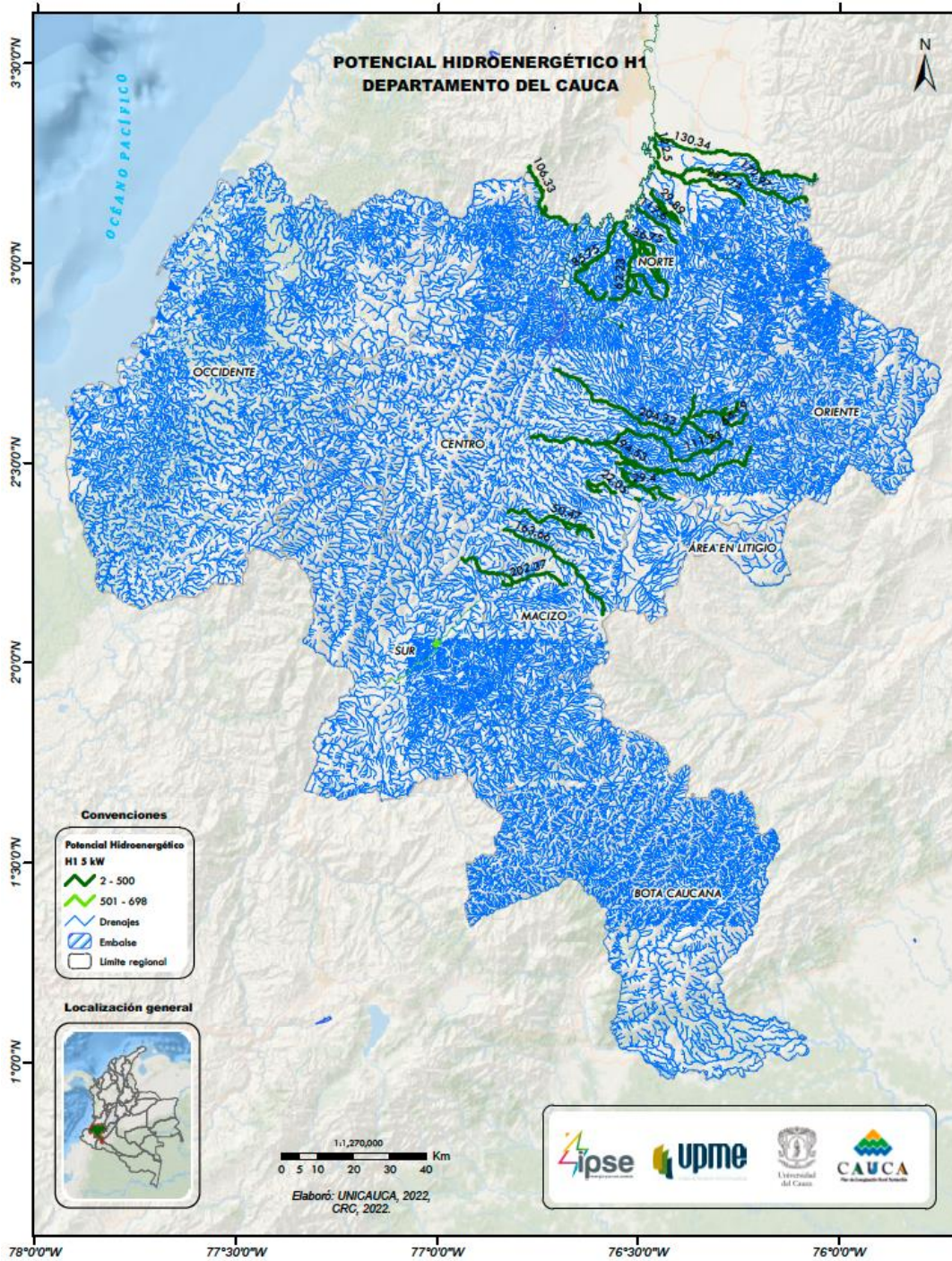


Figura 59 Potencial hidroenergético para una Hest=5m

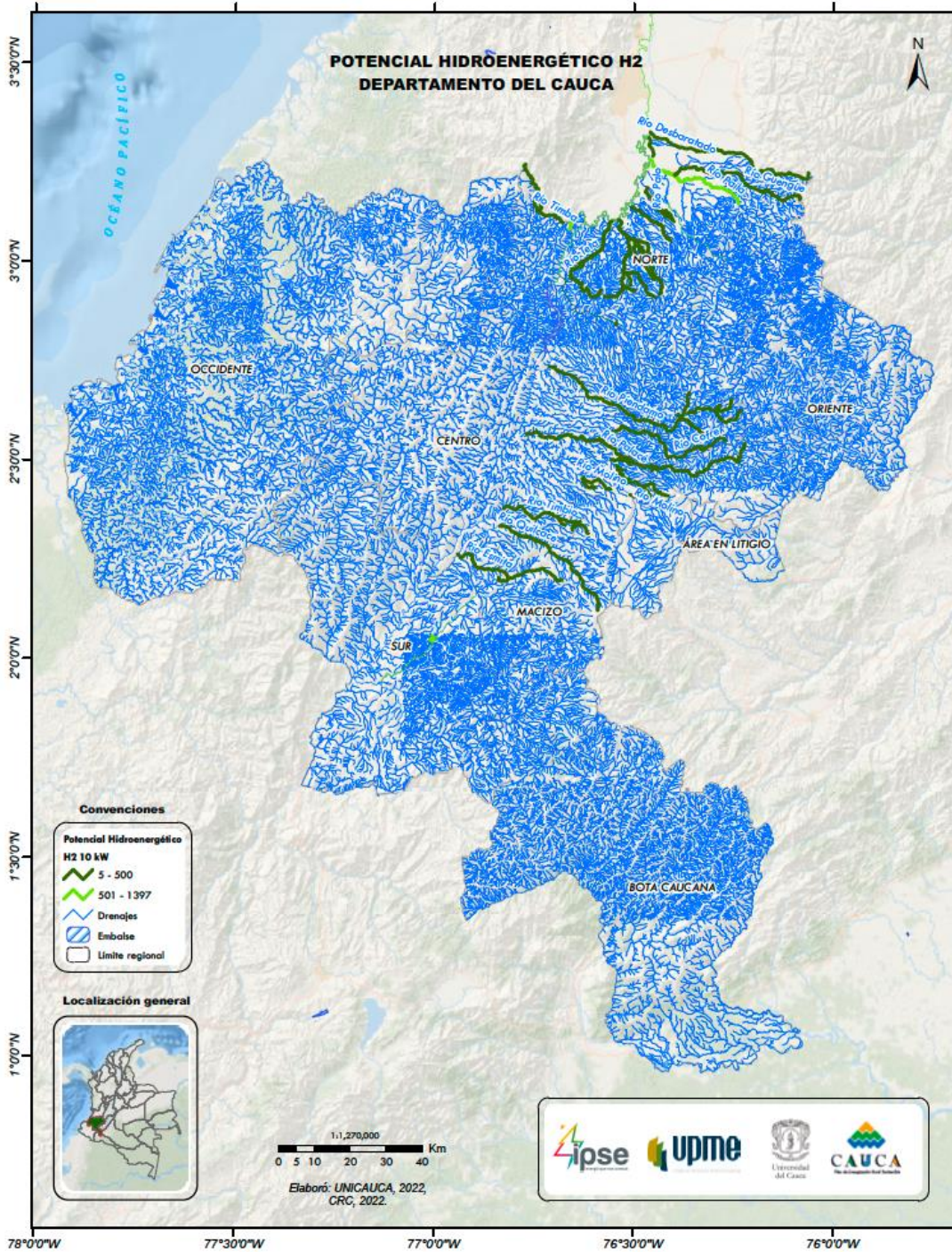


Figura 60 Potencial hidroenergético para una Hest=10 m

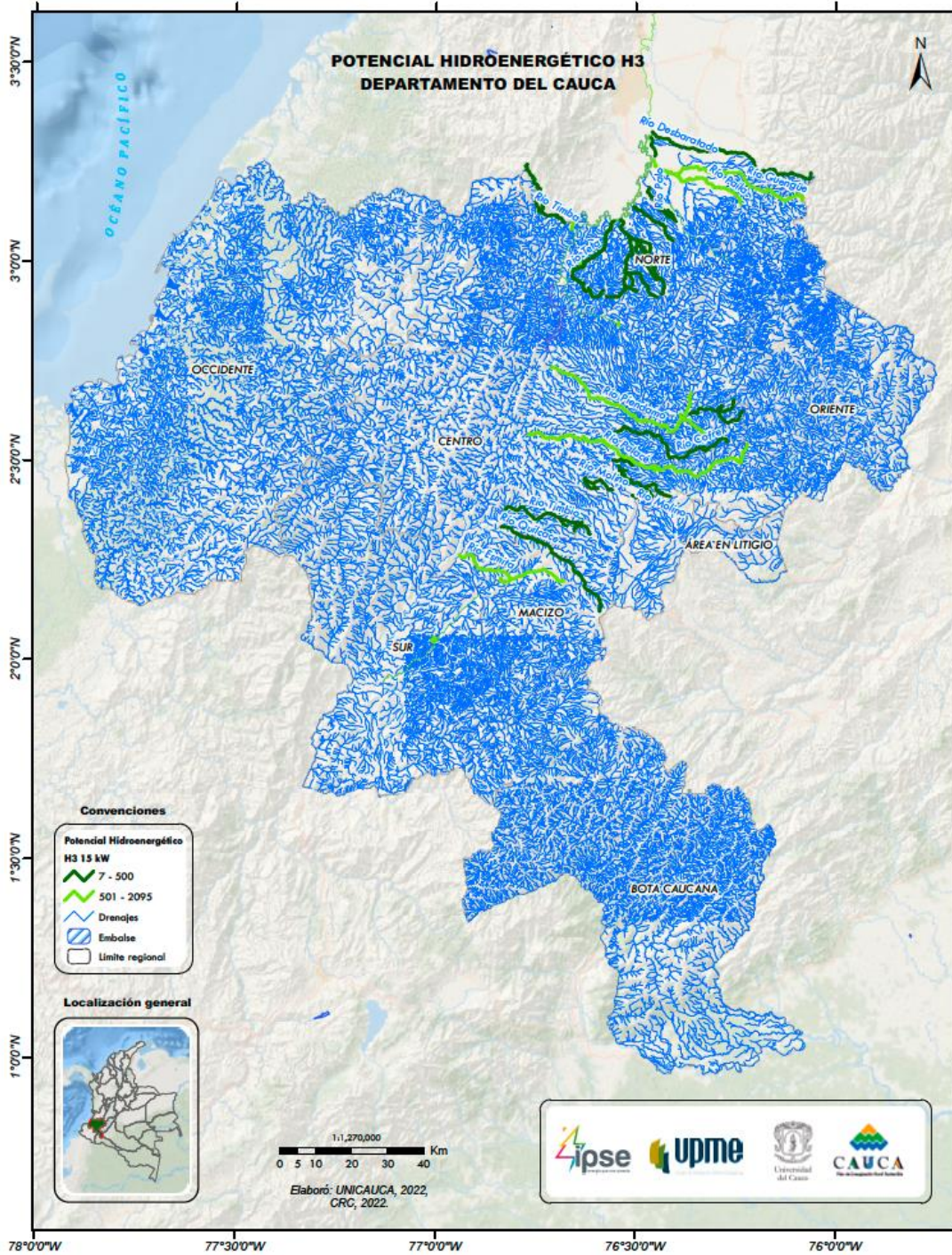


Figura 61 Potencial hidroenergético para una Hest=15m

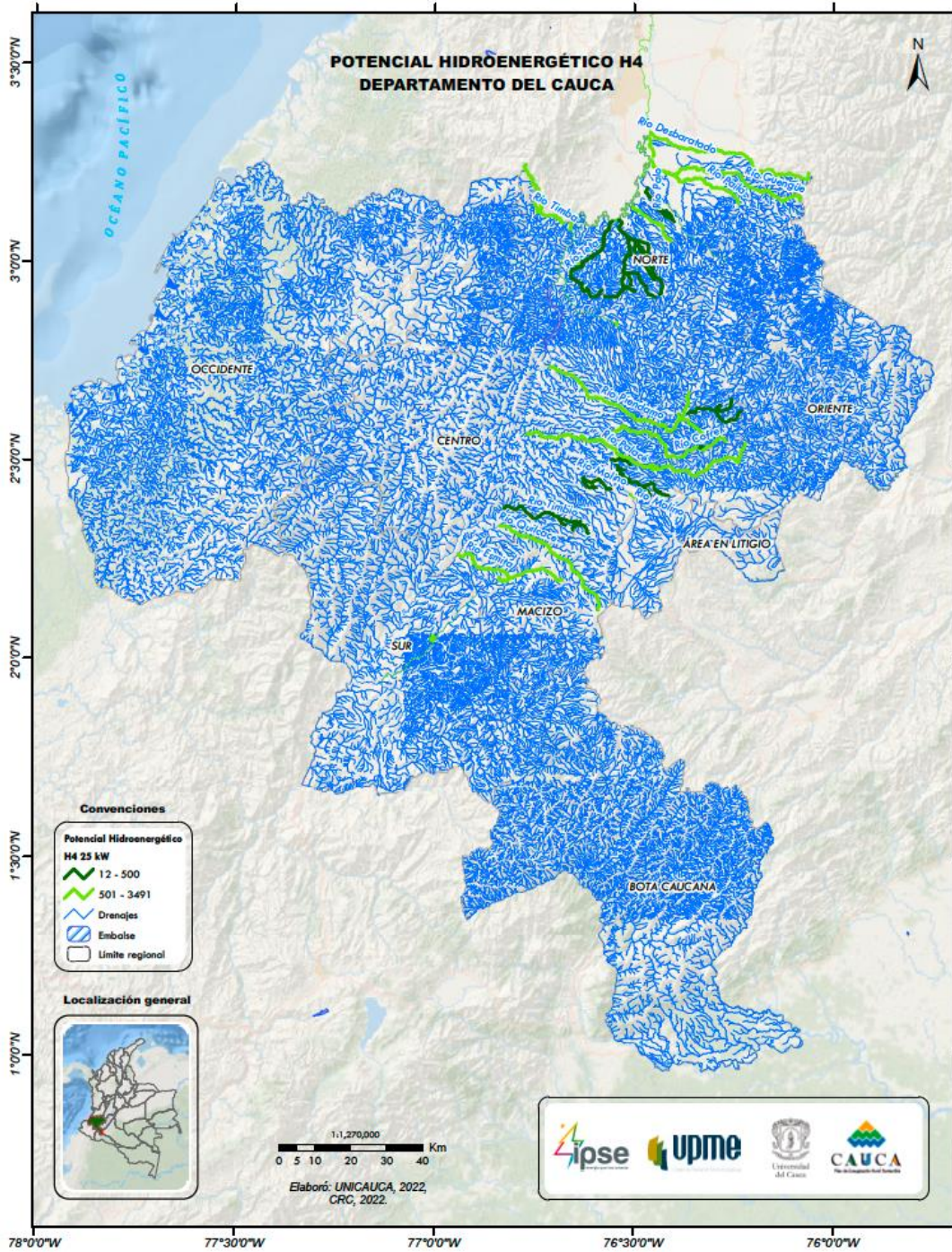


Figura 62 Potencial hidroenergético para una Hest=25m

5. Biomasa

5.1. Descripción

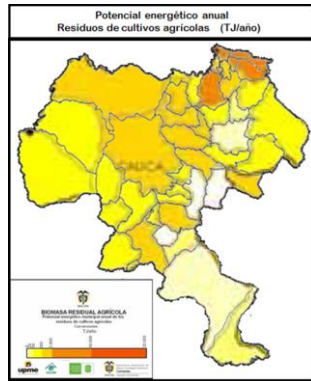
El término biomasa, hace referencia a la materia orgánica que se obtuvo a partir de la transformación de nutrientes y energía de solar realizada por animales excrementos) o plantas (residuos no aprovechables). Dicha materia orgánica almacena energía, y esta puede ser obtenida mediante la combustión directa, mediante la obtención de gas metano producto de la descomposición o mediante diferentes tratamientos químicos para obtener biocombustibles. Otro uso de la biomasa, es la obtención de fertilizantes orgánicos.

La biomasa se puede clasificar en tres macro categorías, las cuales son: 1) biomasa natural, que es aquella que se produce en bosques y selvas, usualmente se asocia a leña y hojarasca; 2) biomasa agrícola residual, es aquella que se obtiene de excrementos de animales y de residuos no aprovechables de cultivos; 3) biomasa de cultivos energéticos, es aquella que se obtiene de la siembra específica de algún tipo de cereal o fruta para la producción exclusiva de biocombustibles.

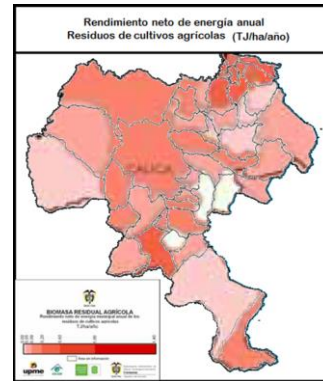
5.2. Potencial energético biomasa

El departamento del Cauca presenta una actividad agrícola compuesta principalmente por el cultivo productos permanentes (caña de azúcar, caña de panela, café y plátano), y cultivos transitorios (maíz y arroz). En esta sección se presenta la información reportada en el atlas de biomasa publicado por la UPME en el año 2006, en el cual se hizo un análisis nacional de los residuos agrícolas predominantes, vale la pena mencionar que, dadas las características locales del departamento del Cauca, hace falta información de cultivos permanentes relevantes como es el caso de la yuca y la piña, así como de cultivos transitorios como la papa, el tomate, el frijol y el ulluco.

En la **Figura 63** se muestra la distribución del potencial energético promedio anual y el rendimiento neto total, de la biomasa resultante de los residuos agrícolas de los cultivos de caña de azúcar, caña de panela, café, plátano, maíz, arroz y banano, del departamento del Cauca. El total de área sembrada para el año 2006 de estos productos fue de 129.520ha, con una producción total de 695.941 toneladas de producto por año y una cantidad de residuos anual de 4.079.220 toneladas, la cual equivale a un potencial energético total de 26.589,72TJ/año.



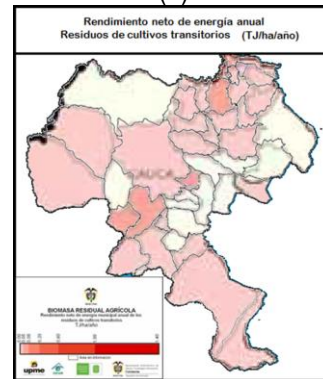
(a)



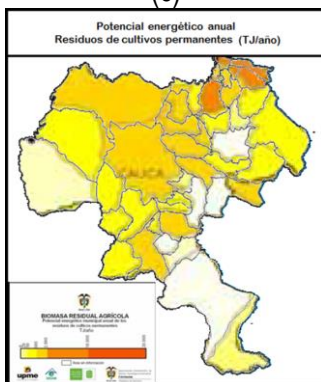
(b)



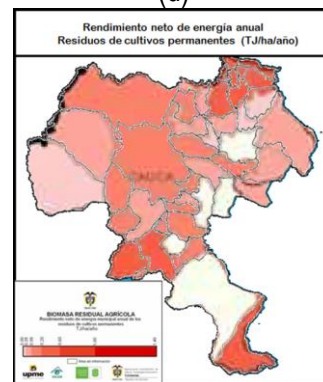
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 63 Biomasa a partir de residuos agrícolas; (a) potencial energético total anual (TJ/año), (b) rendimiento neto total de energía anual (TJ/ha/año), (c) potencial energético cultivos transitorios anual (TJ/año), (d) rendimiento neto de energía cultivos transitorios anual (TJ/ha/año), (e) potencial energético cultivos permanentes anual (TJ/año), (f) rendimiento neto de energía cultivos permanentes anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME

En la **Figura 64** se muestra el potencial energético y el rendimiento neto de energía anual del cultivo de caña de azúcar, se observa que la mayor concentración de potencial se encuentra en la región Norte, especialmente en los municipios de Santander de Quilichao, Guachené, Puerto Tejada, Padilla, Miranda y Corinto. El total de área sembrada para el año 2006 de caña de azúcar fue de 34.486ha, con una producción total de 390.142 toneladas de producto por año y una cantidad de residuos anual de 2.317.443 toneladas, la cual equivale a un potencial energético total de 17.689,55TJ/año. Lo anterior permite afirmar que este residuo agrícola corresponde al más relevante en términos energéticos a nivel departamental (66,5% del potencial total agrícola).

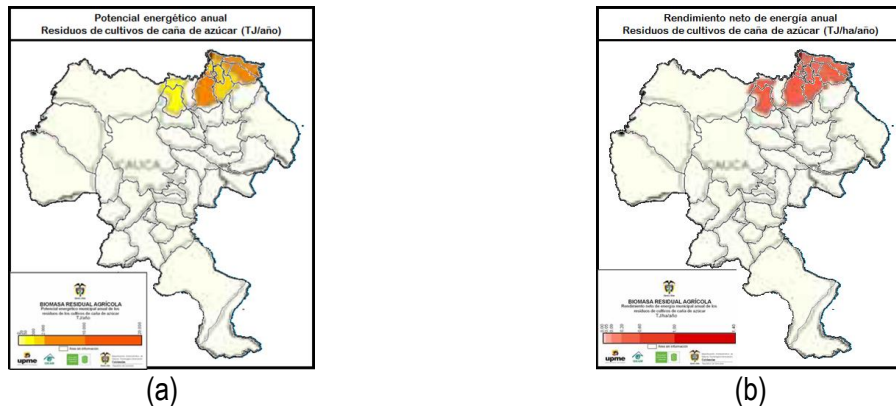


Figura 64 Biomasa a partir de residuos del cultivo de caña de azúcar; (a) potencial energético anual (TJ/año), (b) Rendimiento neto de energía anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME

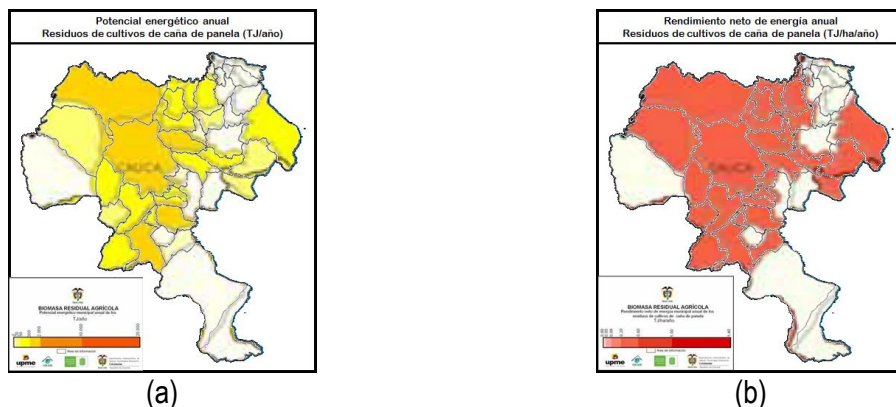


Figura 65 Biomasa a partir de residuos del cultivo de caña de panela; (a) potencial energético anual (TJ/año), (b) rendimiento neto de energía anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME

En la **Figura 65** se muestra el potencial energético y el rendimiento neto de energía anual del cultivo de caña de panela, se observa que la mayor concentración de potencial se encuentra en la región Pacífico-Norte, Centro y Sur, especialmente en los municipios de López, El Tambo, Cajibío y Bolívar. El total de área sembrada para el año 2006 de este producto fue de 17.426ha, con una producción

total de 94.263 toneladas de producto por año y una cantidad de residuos anual de 591.969 toneladas, la cual equivale a un potencial energético total de 5.043,58TJ/año. Lo cual ubica a este cultivo en el segundo puesto en términos de potencial energético de biomasa (18,96% del potencial total agrícola).

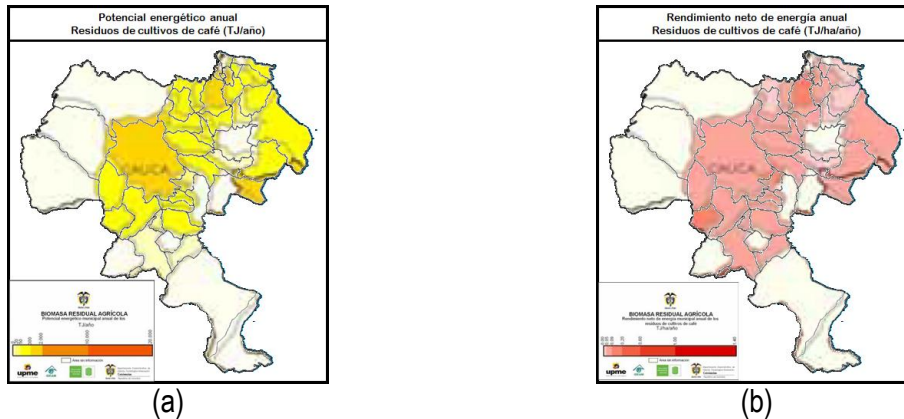
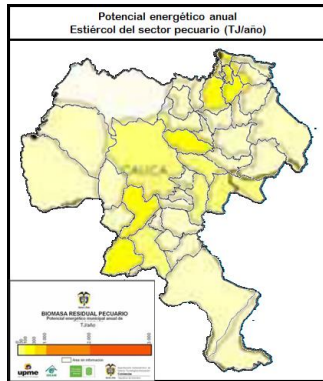


Figura 66 Biomasa a partir de residuos del cultivo de café; (a) potencial energético anual (TJ/año), (b) rendimiento neto de energía anual (TJ/ha/año). Fuente: UPME

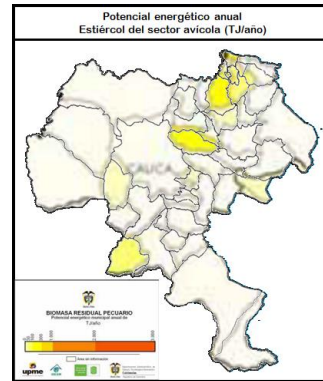
En la **Figura 66** se muestra el potencial energético y el rendimiento neto de energía anual del cultivo de café, se observa que la mayor concentración de potencial se encuentra en las regiones Norte y Centro, especialmente en los municipios de Santander de Quilichao y El Tambo. El total de área sembrada para el año 2006 de este producto fue de 53.996ha, con una producción total de 321.263 toneladas de producto por año y una cantidad de residuos anual de 321.263 toneladas, la cual equivale a un potencial energético total de 3.123,23TJ/año. Lo cual ubica a este cultivo en el tercer puesto en términos de potencial energético de biomasa (11,74% del potencial total agrícola).

De lo anterior, se puede concluir que para el año 2006 el 97,2% del potencial de recurso energético proveniente de biomasa a partir residuos agrícolas, se concentró en los cultivos de caña de azúcar, caña de panela y café. El 2,8% restante corresponde a los cultivos de plátano (457,41TJ/año), maíz (207,16TJ/año), arroz (60,47TJ/año) y banano (8,32TJ/año).

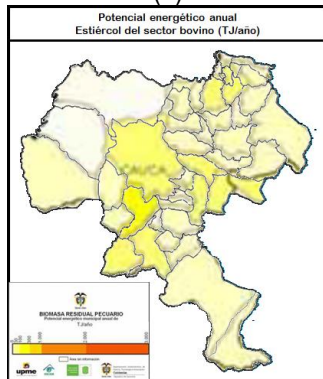
Por último, en la **Figura 67** se muestra el potencial energético y el rendimiento neto de energía anual del sector pecuario, el cual presenta un potencial energético total de 1.604,16TJ/año, donde el sector de ganado bovino representa el 57,48%, el sector avícola representa el 36,59% y el sector porcino representa el 5,93%.



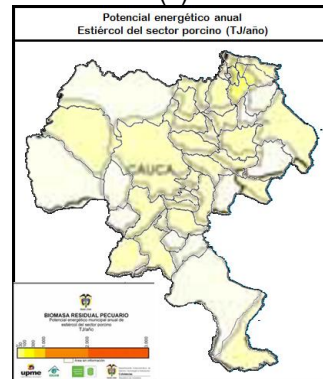
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 67 Potencial energético anual biomasa a partir del estiércol; (a) total sector pecuario (TJ/año), (b) sector avícola (TJ/año), (c) sector bovino (TJ/año), (d) sector porcino (TJ/año). Fuente: UPME

5.3. Actualización potencial energético biomasa de origen agrícola

Como se mencionó en la sección anterior, la información de potencial energético a partir de biomasa presentada en este documento se fundamenta en el atlas de biomasa publicado por la UPME en el año 2006, sin embargo, dado que el tipo de información requerida para determinar dicho potencial es altamente dependiente de la dinámica económica del sector agropecuario del departamento, es necesario ampliar y actualizar la información asociada a dicho sector. En esta sección se presenta la actualización y análisis del sector agropecuario, para lo cual se utilizó como principal fuente de información el sitio web de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) del ministerio de agricultura.

Selección de los principales cultivos

Como primera medida es necesario determinar los principales cultivos del departamento y sus estadísticas de producción. En este sentido se consultó el informe anual de evaluaciones agropecuarias municipales (EVA) del UPRA-MinAgricultura para los años 2019 a 2021. En la Tabla 5.1 se muestran los datos de producción agrícola del departamento discriminados por tipo de cultivo para los años 2019 a 2021. Se observa que la principal producción corresponde a los cultivos tropicales tradicionales, donde resalta el cultivo de caña tal y como se observa en la Tabla 5.2.

Tabla 5.1. Producción (toneladas)

| Tipo de cultivo | 2019 | 2020 | 2021 | Participación |
|--|-----------|-----------|-----------|---------------|
| Cultivos Tropicales Tradicionales | 5.456.380 | 5.577.173 | 5.276.755 | 90,207% |
| Raíces y Tubérculos | 250.433 | 239.945 | 280.372 | 4,263% |
| Frutales | 224.251 | 241.817 | 289.615 | 4,179% |
| Cereales | 39.964 | 37.391 | 38.415 | 0,640% |
| Hortalizas | 29.531 | 26.390 | 25.763 | 0,452% |
| Leguminosas | 14.512 | 14.779 | 15.860 | 0,250% |
| Cultivos para Condimentos y Bebidas Medicinales y Aromáticas | 338 | 284 | 324 | 0,005% |
| Oleaginosas | 338 | 340 | 30 | 0,004% |
| Total general | 6.015.746 | 6.138.118 | 5.927.133 | 100% |

En la Tabla 5.2 se presenta la participación departamental de los cultivos tropicales tradicionales, en la cual se destaca la caña (azúcar y panelera) como principal cultivo con un 98% de participación en dicha categoría, seguida del café con tan solo un 1.8% de participación que correspondió aproximadamente a 96 kilo toneladas de producto para el año 2021.

Tabla 5.2. Producción Cultivos Tropicales Tradicionales (toneladas)

| Tipo de cultivo | 2019 | 2020 | 2021 | Participación |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| Caña | 5.357.310 | 5.472.799 | 5.173.344 | 98,0402% |
| Café | 93.376 | 93.958 | 96.272 | 1,8244% |
| Fique | 2.122 | 6.772 | 5.128 | 0,0972% |
| Cacao | 1.708 | 1.780 | 1.975 | 0,0374% |
| Tabaco | 1.855 | 1.855 | 28 | 0,0005% |
| Iraca | 8 | 8 | 8 | 0,0002% |
| Total general | 5.456.380 | 5.577.173 | 5.276.755 | 100% |

En cuanto a los cultivos en la categoría de raíces y tubérculos, resalta la participación de la yuca (50.8%) y la papa (43.42%) con producciones para el año 2021 en el orden de los 142 y 121 kilo toneladas respectivamente (ver Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Producción Raíces y Tubérculos (toneladas)

| Tipo de cultivo | 2019 | 2020 | 2021 | Participación |
|--|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Yuca | 122.370 | 131.274 | 142.440 | 50,80% |
| Papa | 113.918 | 99.732 | 121.749 | 43,42% |
| Malanga, Achín, Yota, Papa China, Bore | 6.847 | 3.972 | 9.304 | 3,32% |
| Arracacha | 4.349 | 3.054 | 3.824 | 1,36% |
| Ulluco | 2.875 | 1.822 | 3.029 | 1,08% |
| Achira | 74 | 91 | 26 | 0,01% |
| Total general | 250.433 | 239.945 | 280.372 | 100% |

Por otro lado, con respecto a los cultivos asociados a frutales se tiene que la mayor participación corresponde al plátano, con una producción anual de 96 kilo toneladas en el año 2021 que correspondió al 33.29% de dicha categoría. Luego con una participación notablemente inferior, se presentan los cultivos de piña, chontaduro y coco, con producciones entre los 42 y 31 kilo toneladas (ver Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Producción Frutales (toneladas)

| Tipo de cultivo | 2019 | 2020 | 2021 | Participación |
|-------------------|--------|--------|--------|---------------|
| Plátano | 80.451 | 92.911 | 96.418 | 33,29% |
| Piña | 29.388 | 34.340 | 42.164 | 14,56% |
| Chontaduro | 13.590 | 13.869 | 32.817 | 11,33% |

| | | | | |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| Coco | 36.941 | 34.205 | 31.867 | 11,00% |
| Limón | 11.886 | 14.353 | 21.706 | 7,49% |
| Banano | 7.704 | 9.979 | 10.998 | 3,80% |
| Fresa | 8.581 | 9.206 | 10.945 | 3,78% |
| Aguacate | 7.659 | 7.197 | 9.953 | 3,44% |
| Lulo | 7.454 | 6.585 | 8.041 | 2,78% |
| Mango | 3.677 | 3.453 | 4.943 | 1,71% |
| Otros* | 16.920 | 15.721 | 19.761 | 6,82% |
| Total general | 224.251 | 241.817 | 289.615 | 100% |

* Frutales con participación individual inferior al 1.5%

Por último, se tiene que los principales cultivos en las categorías de cereales y hortalizas, corresponden a el maíz y en arroz con participaciones del 61.95% y 37.19% respectivamente en la categoría de cereales (ver Tabla 5.5), y el tomate y la ahuyama con participaciones de 36.64% y 13.59% en la categoría de hortalizas (ver Tabla 5.6).

Tabla 5.5. Producción Cereales (toneladas)

| Tipo de cultivo | 2019 | 2020 | 2021 | Participación |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Maíz | 21.178 | 24.674 | 23.796 | 61,95% |
| Arroz | 18.302 | 12.301 | 14.288 | 37,19% |
| Quinoa | 326 | 249 | 227 | 0,59% |
| Trigo | 127 | 117 | 88 | 0,23% |
| Sorgo | 30 | 50 | 15 | 0,04% |
| Total general | 39.964 | 37.391 | 38.415 | 100,00% |

Tabla 5.6. Producción Hortalizas (toneladas)

| Tipo de cultivo | 2019 | 2020 | 2021 | Participación |
|-----------------|----------|----------|---------|---------------|
| Tomate | 14232,89 | 14144,53 | 9440,3 | 36,64% |
| Ahuyama | 2751,1 | 2375 | 3500,7 | 13,59% |
| Patilla | 1066 | 1254 | 2928,9 | 11,37% |
| Brócoli | 1411,95 | 1660,8 | 1942,95 | 7,54% |
| Cebolla De Rama | 1451,01 | 1522,08 | 1562,67 | 6,07% |
| Coliflor | 1115,3 | 1140 | 1254 | 4,87% |

| | | | | |
|---------------|----------|----------|---------|--------|
| Melón | 480 | 388 | 1204,2 | 4,67% |
| Lechuga | 1275 | 837,5 | 1037 | 4,03% |
| Otras* | 5748,18 | 3067,9 | 2892,58 | 11,23% |
| Total general | 29531,43 | 26389,81 | 25763,3 | 100% |

* Hortalizas con participación individual inferior al 2.3%

De lo anterior se seleccionan los principales productos agrícolas del departamento del Cauca, estos discriminados por categorías son:

- caña y café para la categoría de cultivos tropicales tradicionales.
- yuca y papa para la categoría de raíces y tubérculos.
- plátano, piña, chontaduro y coco para la categoría de frutales.
- maíz y arroz para la categoría de cereales.
- tomate y ahuyama para la categoría de hortalizas.

Note que en general, la principal producción agrícola no presenta una considerable variación entre los años, 2019, 2020 y 2021.

Distribución espacial de los principales cultivos

Ahora se debe identificar la ubicación espacial de los principales cultivos, para esto se presentan de la Figura 68 a la Figura 79 la producción en toneladas de cada uno de los principales cultivos del departamento del Cauca discriminados por subregión y municipio para los años 2019, 2020 y 2021.

En la Figura 68 se evidencia que para el 2021, el cultivo de caña (azucarera y panelera) se concentró mayoritariamente en la subregión Norte, específicamente en los municipios de: Miranda (1'063.776 toneladas), Padilla (823.881 toneladas), Villa Rica (536.346 toneladas), Guachene (517.784 toneladas), Santander de Quilichao (491.495 toneladas), Corinto (420.707 toneladas) y Caloto (342.205 toneladas). Mientras que en las subregiones Centro, Macizo y Sur, se presentan cultivos de caña de forma minoritaria, resaltando los municipios de Cajibío (224.000 toneladas) y El Tambo (145.880) en la región Centro, La Sierra (84.858 toneladas) y Rosas (77.870 toneladas) en la región Macizo y Bolívar (44.100 toneladas) en la subregión Sur.

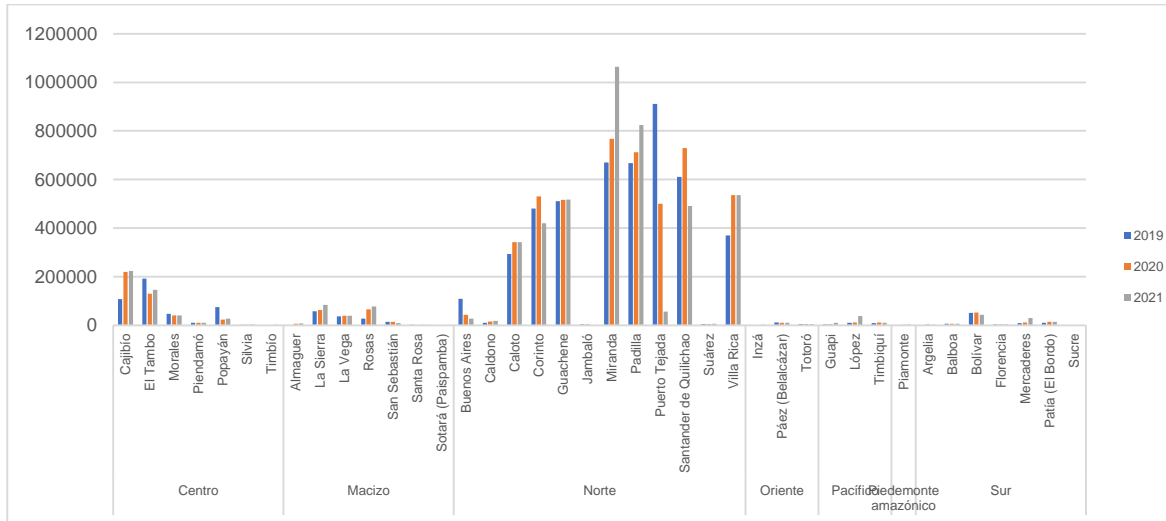


Figura 68 Producción de caña (toneladas) discriminada por subregiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Con respecto al cultivo de café se observa que para el año 2021 su producción a nivel del departamento fue de 96.272 toneladas. Donde su mayor concentración está en las regiones Centro (41.008 toneladas) y Norte (23.134 toneladas), y en forma minoritaria en las regiones de Sur (12.414 toneladas), Oriente (11.600 toneladas) y Macizo (8.115 toneladas).

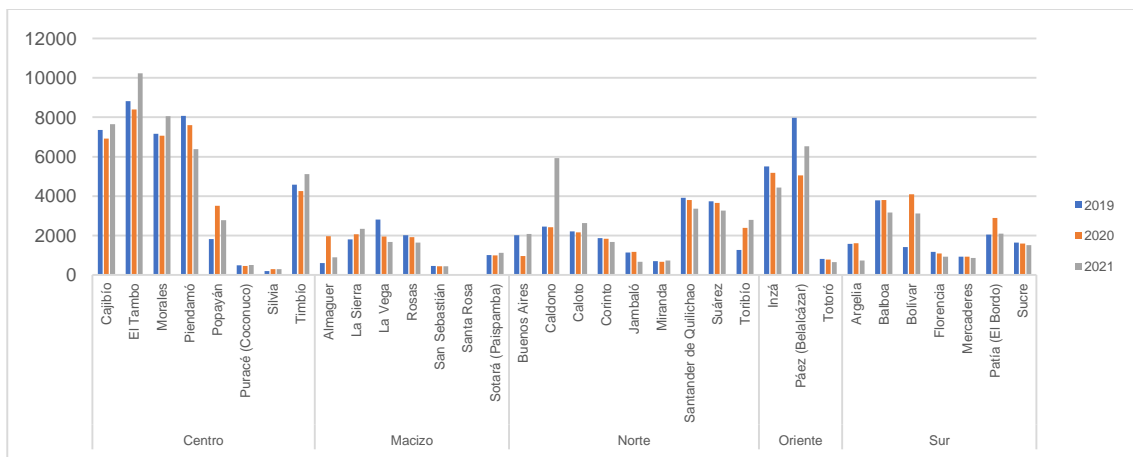


Figura 69 Producción de café (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

En cuanto al cultivo de yuca se observa que para el año 2021 su producción a nivel del departamento fue de 142.440 toneladas. Donde su mayor concentración está en las regiones Centro (108.267

toneladas) y Norte (17,342 toneladas), y en forma minoritaria en las regiones de Macizo (5.158 toneladas), Pacífico (4.464 toneladas) y Sur (3.054 toneladas).

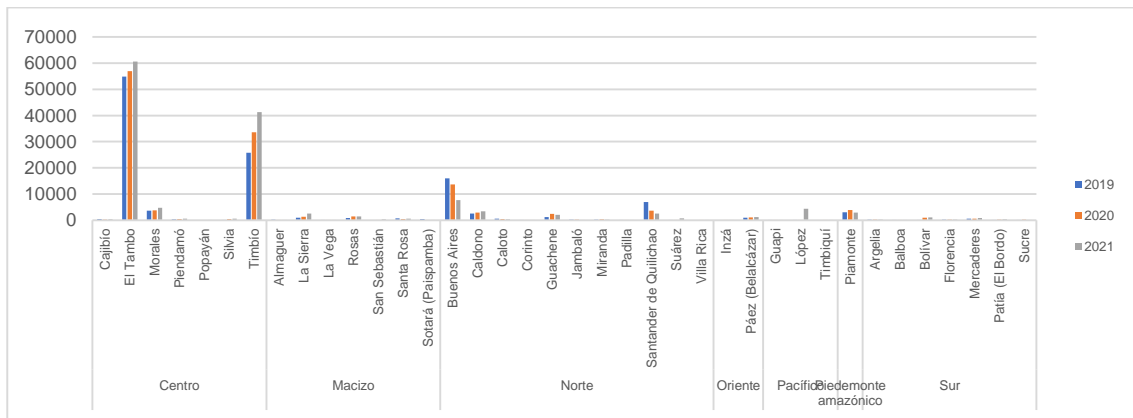


Figura 70 Producción de yuca (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de papa se observa que en el año 2021 su producción a nivel del departamento fue de 121.749 toneladas. Donde su mayor concentración está en la región Oriente (60.622 toneladas), y en forma minoritaria en las regiones de Centro (39.232 toneladas) y Macizo (19.752 toneladas).

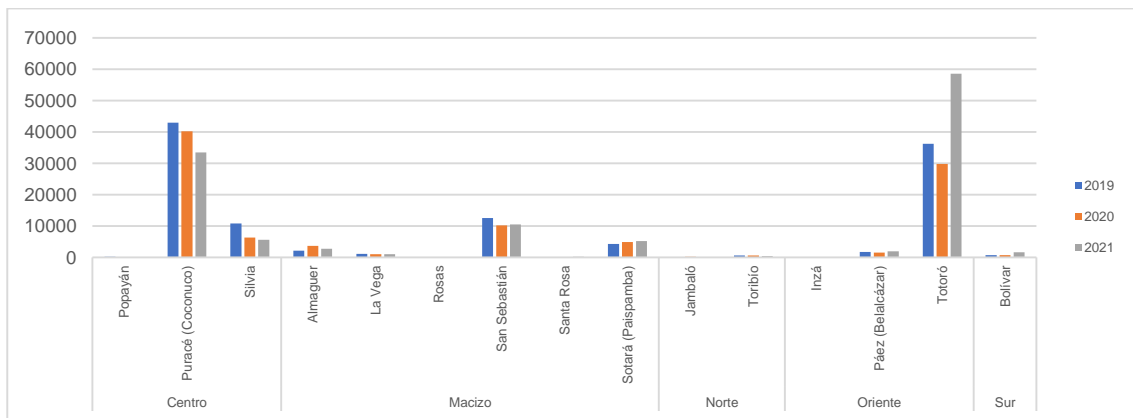


Figura 71 Producción de papa (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de plátano se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 96.418 toneladas. Donde su mayor concentración está en la región Centro (47.872 toneladas) y en forma minoritaria en las regiones de Macizo (17.039 toneladas) y Norte (12.502 toneladas).

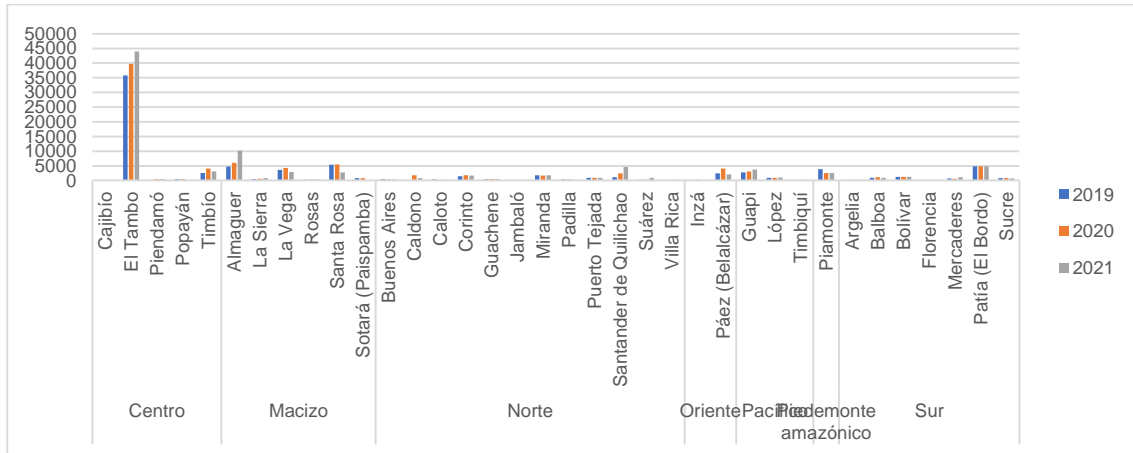


Figura 72 Producción de plátano (toneladas) discriminada por subregiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de piña se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 42.164 toneladas. Donde su mayor concentración está en la subregión Norte (39.909 toneladas) y en forma minoritaria en las regiones de Pacífico (1.471 toneladas) y Piamonte Amazónico (525 toneladas).

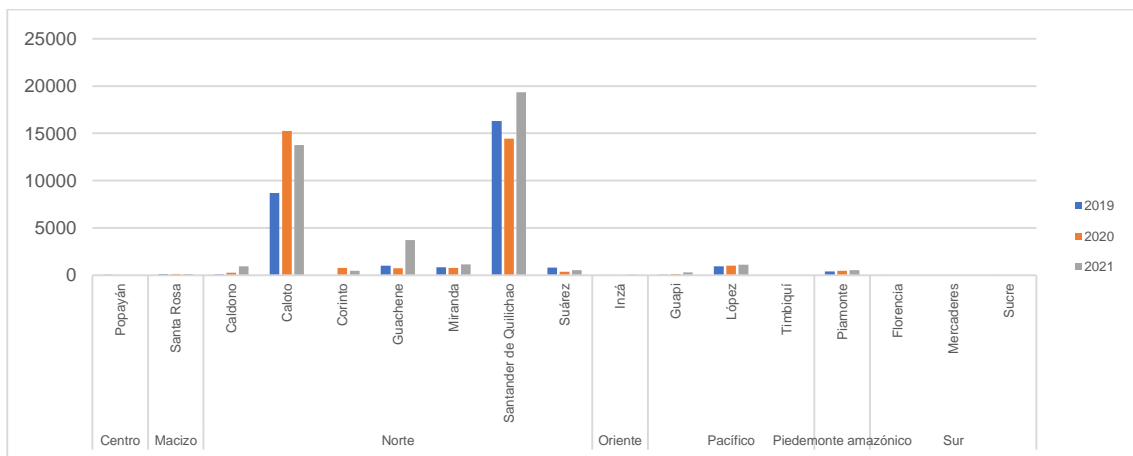


Figura 73 Producción de piña (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de chontaduro se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 32.817 toneladas. Donde su mayor concentración está en la región Centro (29.806 toneladas) y en forma minoritaria en las subregiones de Pacífico (2.084 toneladas) y Macizo (928 toneladas).



Figura 74 Producción de chontaduro (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de coco se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 31.867 toneladas. Este cultivo se produce únicamente en la subregión Pacífico (Occidente), principalmente en el municipio de Timbiquí (20.896).

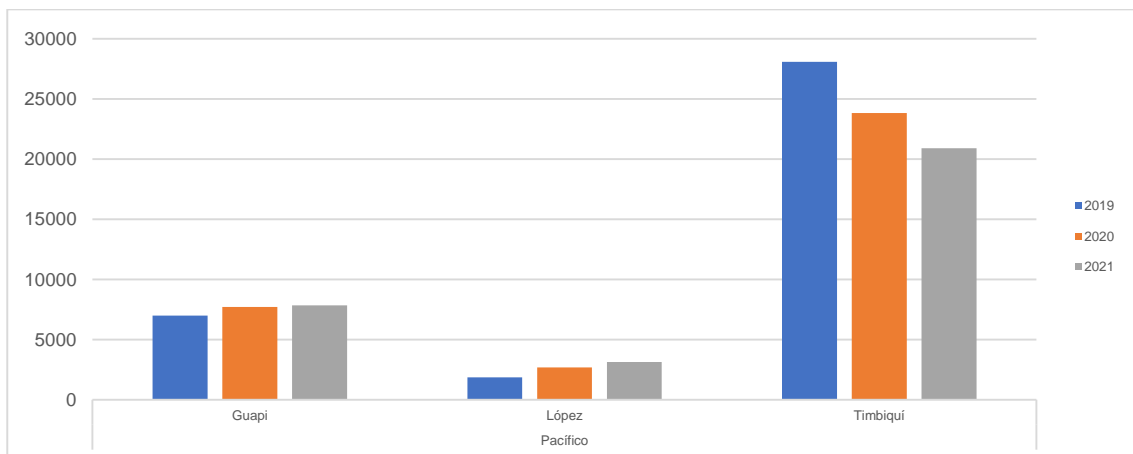


Figura 75 Producción de coco (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de maíz se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 23.796 toneladas. Su concentración está principalmente en las subregiones Centro (6.379 toneladas), Norte (5.857 toneladas) y Sur (5.213 toneladas).

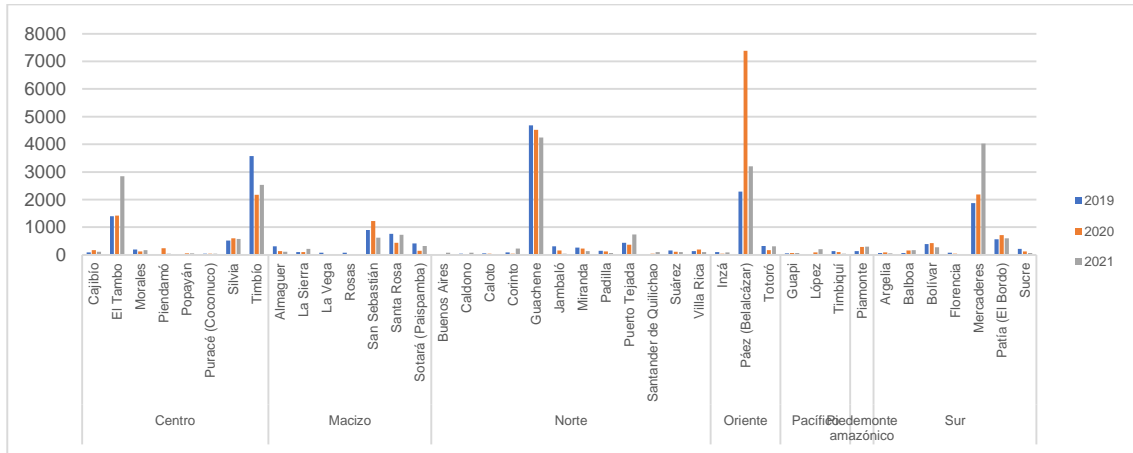


Figura 76 Producción de maíz (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de arroz se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 14.288 toneladas. Donde su mayor concentración está en la región Norte (10.890 toneladas) y en forma minoritaria en las regiones de Sur (1.724 toneladas) y Pacífico (1.559 toneladas).

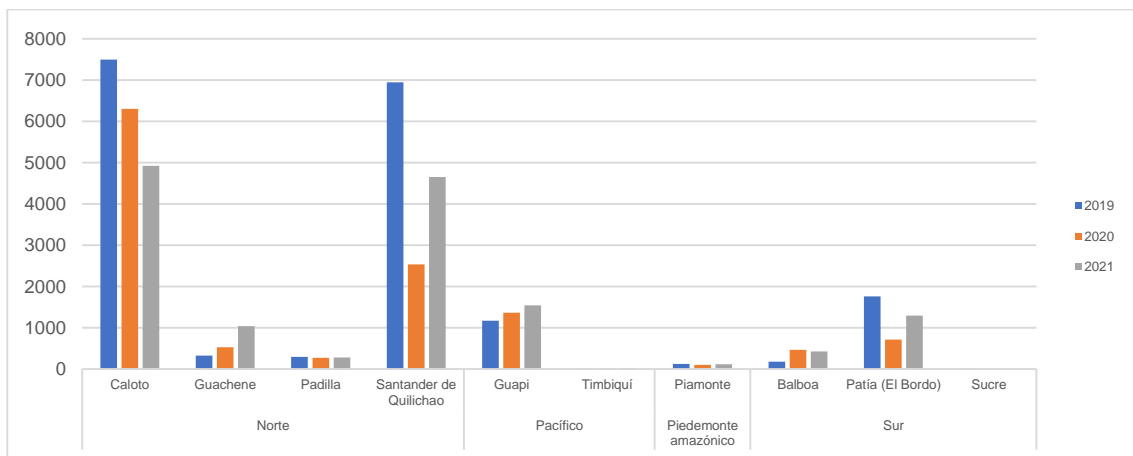


Figura 77 Producción de arroz (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de tomate se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 9.440 toneladas. Donde su principal concentración está en las regiones Centro (3.622 toneladas) y Norte (3.577 toneladas).

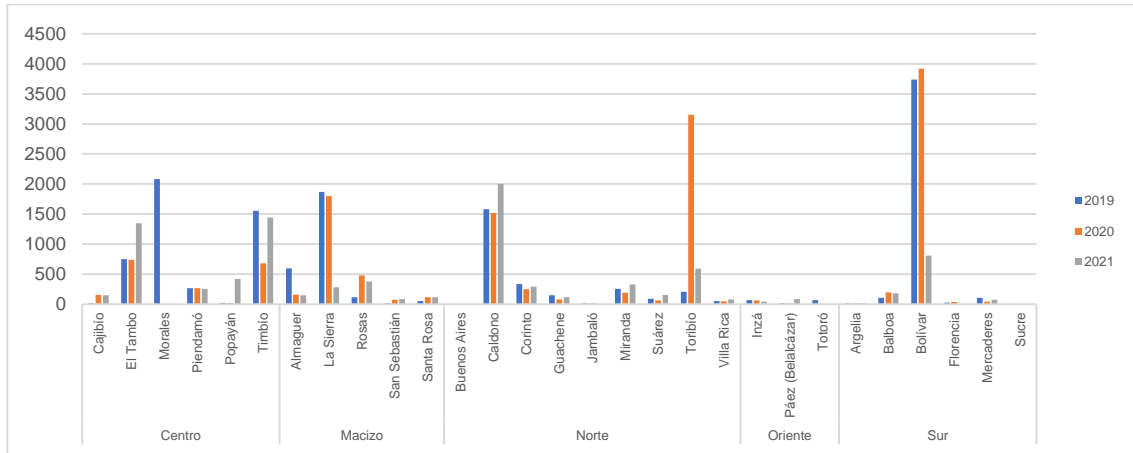


Figura 78 Producción de tomate (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para el cultivo de ahuyama se tiene que en el año 2021 su producción a nivel departamental fue de 3.501 toneladas. Donde su principal concentración está en las regiones Sur (3.047 toneladas) y Norte (449 toneladas).

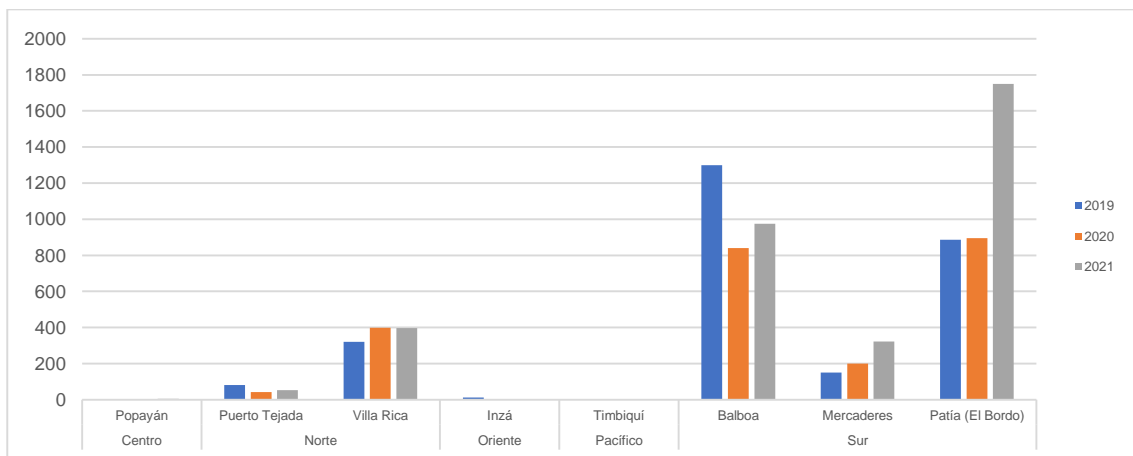


Figura 79 Producción de ahuyama (toneladas) discriminada por regiones en el periodo 2019-2021
Fuente: UPRA-MinAgricultura

Estimación de residuos agrícolas y potencial energético

Para estimar el potencial energético se utiliza la información asociada al factor de residuo el cual determina por cada tonelada de producto cuantas toneladas de residuos se generan, y el factor de

poder calórico el cual indica la cantidad de energía almacenada (TJ) por tonelada de residuo, en la Tabla 5.7 se presenta dicha información discriminada por tipo de residuo para los principales cultivos seleccionados en las secciones previas.

Tabla 5.7. Caracterización residuos agrícolas

| Categoría | Producto | Tipo de Residuo | Origen de Residuo | Factor de Residuo (R/P) | Residuo seco (%) | Poder Calórico (TJ/tonelada residuo) |
|-----------------------------------|----------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------------|
| Cultivos Tropicales Tradicionales | Caña | Hojas - Cogollo | Residuo Agrícola de Cosecha | 3,26 | 30,54% | 0,0160 |
| | | Bagazo | Residuo Agrícola Industrial | 2,68 | 56,51% | 0,0194 |
| | Café | Pulpa | Residuo Agrícola Industrial | 2,13 | 19,38% | 0,0185 |
| | | Cisco | Residuo Agrícola Industrial | 0,21 | 89,58% | 0,0193 |
| | | Tallos | Residuo Agrícola de Cosecha | 3,02 | 70,99% | 0,0191 |
| Raíces y Tubérculos | Yuca | Tallos | Residuo Agrícola de Cosecha | 0,13 | 86,60% | 0,0267 |
| Frutales | Plátano | Raquis de plátano | Residuo Agrícola de Cosecha | 1 | 89,34% | 0,0076 |
| | | Vástago de plátano | Residuo Agrícola de Cosecha | 5 | 90,11% | 0,0085 |
| cereales | Maíz | Rastrojo | Residuo Agrícola de Cosecha | 0,93 | 65,94% | 0,0149 |
| | | Tusa | Residuo Agrícola de Cosecha | 0,27 | 70,59% | 0,0147 |
| | | Capacho | Residuo Agrícola de Cosecha | 0,21 | 91,48% | 0,0166 |
| | Arroz | Tamo | Residuo Agrícola de Cosecha | 2,35 | 26,41% | 0,0135 |
| | | Cascarilla | Residuo Agrícola Industrial | 0,2 | 92,45% | 0,0157 |

Fuente: Atlas biomasa 2006 - UPME

Para obtener el potencial energético se debe obtener la cantidad total de residuos secos y multiplicarla por el poder calórico inferior del respectivo residuo, tal y como se expresa a continuación:

$$PE = \frac{\text{Total residuos seco}}{\text{Total residuos}} \cdot \text{PRODUCCION} * FR * PRS * PCI$$

Donde:

- PE Potencial Energético (TJ/año)
- FR Factor de residuo (toneladas de residuo / toneladas de producto)
- PRS Porcentaje de Residuo Seco (%)
- PCI Poder Calórico Inferior (TJ/tonelada de residuo)

Tabla 5.8. Producción agrícola de productos escogidos 2021 (toneladas/año)

| Producto | Centro | Macizo | Norte | Oriente | Pacífico | Piedemonte amazónico | Sur | Total Cauca |
|----------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------------------|---------|-------------|
| Caña | 455.375 | 224.152 | 4.306.920 | 20.194 | 59.448 | 3.818 | 103.438 | 5.173.344 |
| Café | 41.008 | 8.115 | 23.134 | 11.600 | - | - | 12.414 | 96.272 |
| Yuca | 108.267 | 5.158 | 17.342 | 1.255 | 4.464 | 2.900 | 3.054 | 142.440 |
| Plátano | 47.872 | 17.039 | 12.502 | 2.203 | 4.980 | 2.502 | 9.320 | 96.418 |
| Maiz | 6.379 | 2.034 | 5.935 | 3.608 | 325 | 303 | 5.213 | 23.796 |
| Arroz | - | - | 10.890 | - | 1.559 | 114 | 1.724 | 14.288 |

Tabla 5.9. Total residuos secos de productos escogidos (toneladas/año)

| Producto | Tipo de Residuo | Centro | Macizo | Norte | Oriente | Pacífico | Piedemonte amazónico | Sur | Total Cauca |
|----------|--------------------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------------------|---------|-------------|
| Caña | Hojas - Cogollo | 453.373 | 223.167 | 4.287.987 | 20.105 | 59.187 | 3.801 | 102.983 | 5.150.603 |
| | Bagazo | 689.651 | 339.471 | 6.522.693 | 30.583 | 90.032 | 5.782 | 156.654 | 7.834.865 |
| Café | Pulpa | 16.928 | 3.350 | 9.550 | 4.788 | - | - | 5.124 | 39.740 |
| | Cisco | 7.714 | 1.527 | 4.352 | 2.182 | - | - | 2.335 | 18.110 |
| | Tallos | 87.917 | 17.398 | 49.597 | 24.869 | - | - | 26.614 | 206.395 |
| Yuca | Tallos | 12.189 | 581 | 1.952 | 141 | 503 | 326 | 344 | 16.036 |
| Plátano | Raquis de plátano | 42.769 | 15.223 | 11.169 | 1.968 | 4.449 | 2.235 | 8.326 | 86.140 |
| | Vástago de plátano | 215.687 | 76.769 | 56.328 | 9.926 | 22.437 | 11.273 | 41.991 | 434.411 |
| Maiz | Rastrojo | 3.912 | 1.247 | 3.640 | 2.213 | 199 | 186 | 3.197 | 14.593 |
| | Tusa | 1.216 | 388 | 1.131 | 688 | 62 | 58 | 994 | 4.536 |
| | Capacho | 1.225 | 391 | 1.140 | 693 | 62 | 58 | 1.001 | 4.572 |
| Arroz | Tamo | - | - | 6.759 | - | 968 | 71 | 1.070 | 8.867 |
| | Cascarilla | - | - | 2.014 | - | 288 | 21 | 319 | 2.642 |

Con la información de factor de residuos, porcentaje de residuo seco, poder calórico y producción por regiones (ver Tabla 5.8), se determina el total estimado de residuos secos (ver Tabla 5.9) y de potencial energético por cultivo (ver Tabla 5.10) en cada región.

Tabla 5.10. Potencial Energético Residuos agrícolas productos escogidos (TJ/año)

| Producto | Tipo de Residuo | Centro | Macizo | Norte | Oriente | Pacífico | Piedemonte amazónico | Sur | Total Cauca |
|---|----------------------|---------------|---------------|----------------|------------|--------------|----------------------|--------------|----------------|
| Cultivos con potencial energético alto | | | | | | | | | |
| Caña | Hojas - Cogollo | 7.262 | 3.575 | 68.685 | 322 | 948 | 61 | 1.650 | 82.503 |
| | Bagazo | 13.361 | 6.577 | 126.372 | 593 | 1.744 | 112 | 3.035 | 151.795 |
| | Total caña | 20.624 | 10.152 | 195.058 | 915 | 2.692 | 173 | 4.685 | 234.297 |
| Cultivos con potencial energético medio | | | | | | | | | |
| Café | Pulpa | 313 | 62 | 177 | 89 | - | - | 95 | 736 |
| | Cisco | 149 | 29 | 84 | 42 | - | - | 45 | 349 |
| | Tallos | 1.676 | 332 | 945 | 474 | - | - | 507 | 3.934 |
| | Total café | 2.138 | 423 | 1.206 | 605 | - | - | 647 | 5.019 |
| Plátano | Raquis de plátano | 324 | 115 | 85 | 15 | 34 | 17 | 63 | 652 |
| | Vástago de plátano | 1.835 | 653 | 479 | 84 | 191 | 96 | 357 | 3.696 |
| | Total plátano | 2.159 | 768 | 564 | 99 | 225 | 113 | 420 | 4.348 |
| Cultivos con potencial energético bajo | | | | | | | | | |
| Yuca | Tallos | 325 | 16 | 52 | 4 | 13 | 9 | 9 | 428 |
| Maíz | Rastrojo | 58 | 19 | 54 | 33 | 3 | 3 | 48 | 218 |
| | Tusa | 18 | 6 | 17 | 10 | 1 | 1 | 15 | 67 |
| | Capacho | 20 | 6 | 19 | 11 | 1 | 1 | 17 | 76 |
| | Total maíz | 97 | 31 | 90 | 55 | 5 | 5 | 79 | 360 |
| Arroz | Tamo | - | - | 91 | - | 13 | 1 | 14 | 120 |
| | Cascarilla | - | - | 32 | - | 5 | 0 | 5 | 41 |
| | Total arroz | - | - | 123 | - | 18 | 1 | 19 | 161 |

En la Tabla 5.10 se presenta el potencial energético para cada tipo de cultivo discriminado por subregiones, allí se evidencia que el potencial energético de biomasa agrícola del departamento del Cauca se clasifica en tres categorías: 1) alto con potenciales en el orden de los 100.000 TJ/año donde se destaca el cultivo de la caña (ver Figura 80), 2) medio con potenciales en el orden de los 1000 TJ/año donde se destaca el cultivo del café (ver Figura 81), y 3) bajo con potenciales en el orden de los 100 TJ/año donde se destacan los cultivos de plátano, maíz y arroz (ver Figura 82). Note que el mayor potencial de biomasa se presenta en las subregiones Norte y Centro.

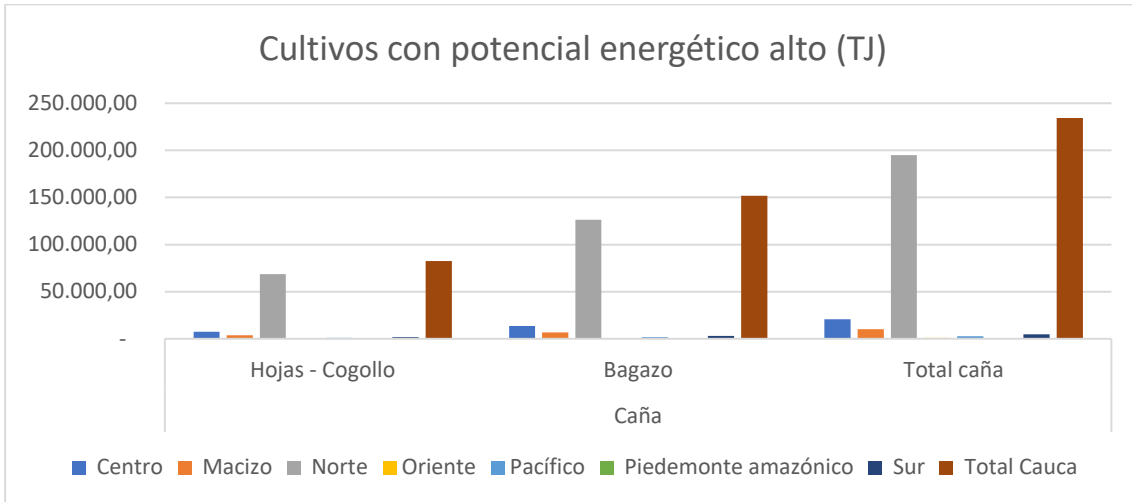


Figura 80 Cultivos con potencial energético alto (TJ) discriminada por subregiones en el periodo 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

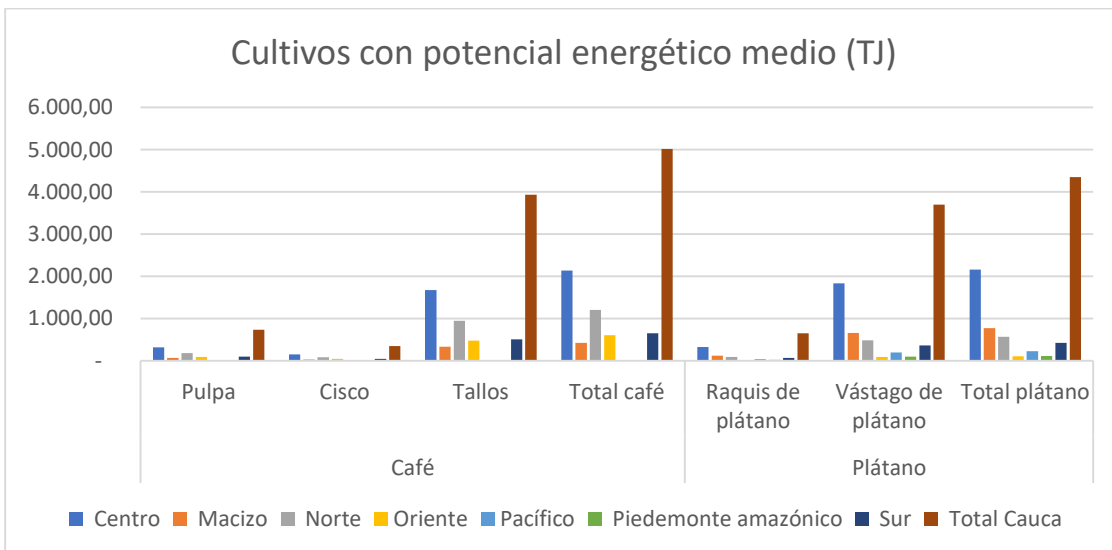


Figura 81 Cultivos con potencial energético medio (TJ) discriminada por subregiones en el periodo 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

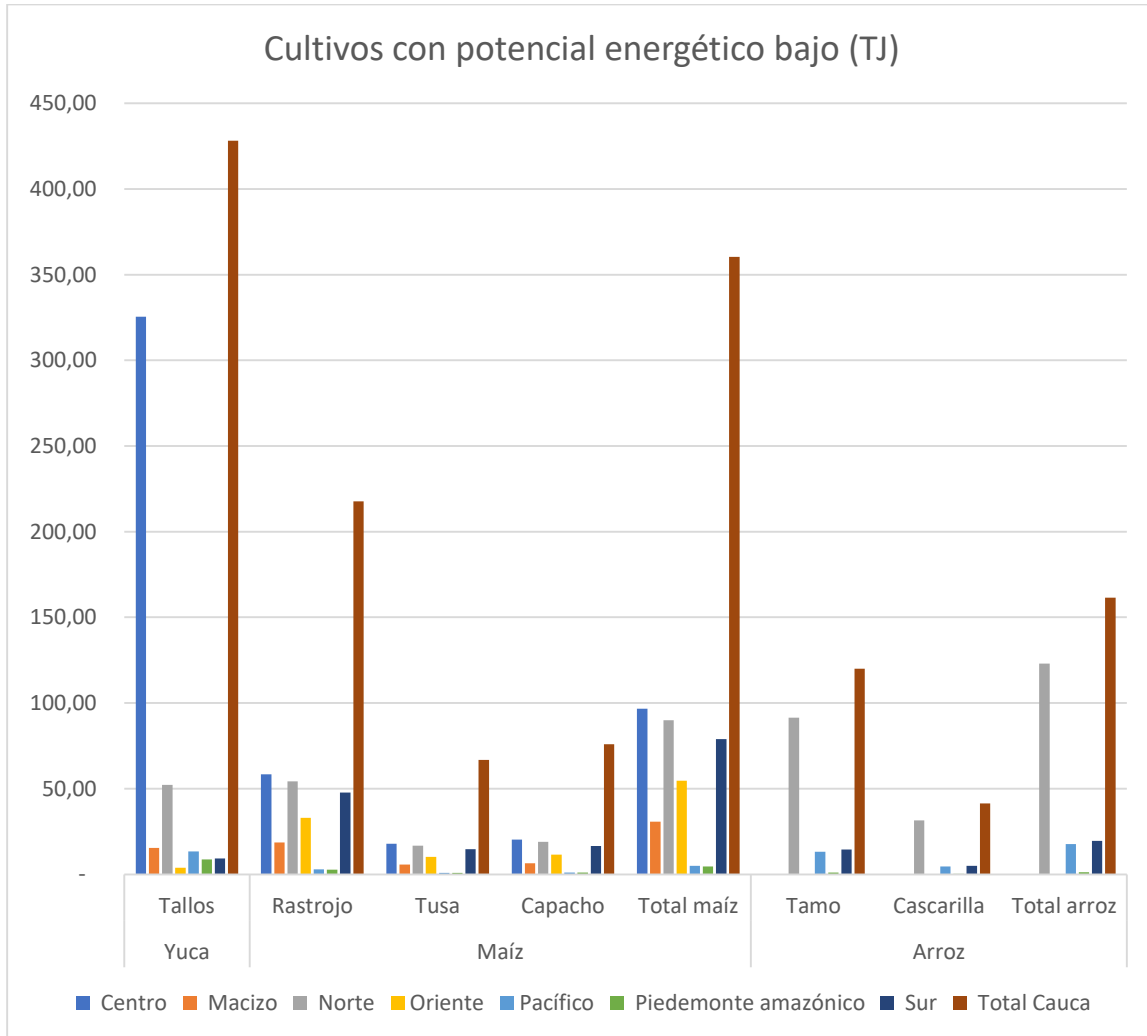


Figura 82 Cultivos con potencial energético bajo (TJ) discriminada por subregiones en el periodo 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

5.4. Actualización potencial energético biomasa de origen pecuario

Para actualizar el potencial energético de biomasa de origen pecuario, es necesario determinar el número de individuos por especie que habita cada región del departamento. Para esto se consultó el informe anual de evaluaciones agropecuarias municipales (EVA) del UPRA-MinAgricultura para los años 2019 a 2021. En la Figura 833 se muestra la participación porcentual por subregión en el inventario pecuario por especie 2021, allí se observa que la subregión Norte concentra la mayor participación en cuanto a tenencia de porcinos y aves, mientras que en las subregiones Centro y Sur predomina la tenencia de bovinos y caprinos.

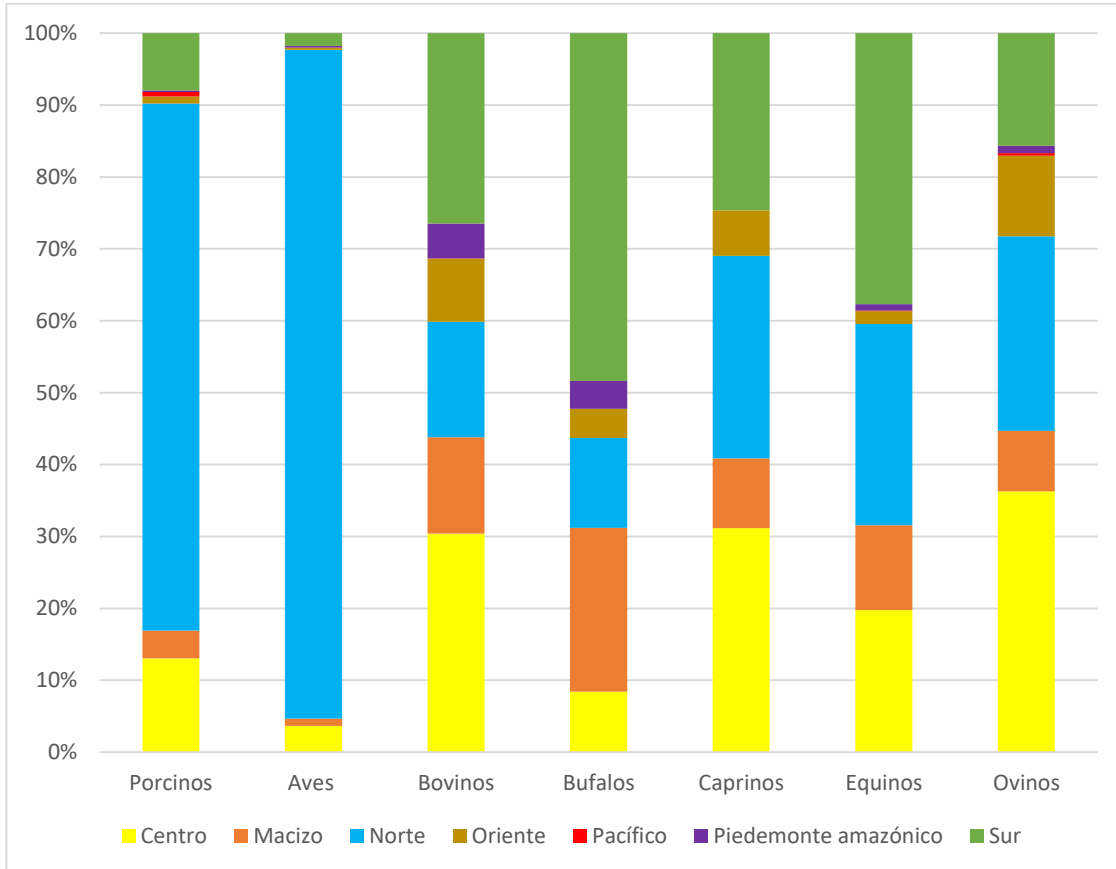


Figura 83 Participación por región inventario pecuario por especie 2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

En la Tabla 5.11 se presentan las cifras asociadas a la cantidad de individuos por especie en cada región del departamento del Cauca para los años 2019 a 2021. Se observa que en general la tenencia de animales no se afectó considerablemente con respecto al periodo analizado, a excepción de los bufalinos, los cuales mostraron un contundente incremento.

Tabla 5.11. Total individuos por especie

| Año | Región | Porcinos | Aves | Bovinos | Búfalos | Caprinos | Equinos | Ovinos |
|------|--------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|--------|
| 2021 | Centro | 10.233 | 334.560 | 99.802 | 69 | 544 | 18.887 | 3.549 |
| | Macizo | 3.040 | 96.760 | 43.937 | 187 | 170 | 11.267 | 824 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|----------------|------------|--------------|---------------|---------------|
| | Norte | 57.431 | 8.545.907 | 52.770 | 103 | 492 | 26.751 | 2.646 |
| | Oriente | 770 | 21.290 | 28.872 | 33 | 110 | 1.699 | 1.100 |
| | Pacífico | 497 | 7.480 | 116 | -- | -- | 100 | 32 |
| | Piedemonte amazónico | 179 | 17.000 | 15.934 | 32 | -- | 835 | 102 |
| | Sur | 6.234 | 164.730 | 86.877 | 397 | 431 | 36.018 | 1.531 |
| | Total general 2021 | 78.384 | 9.187.727 | 328.308 | 821 | 1.747 | 95.557 | 9.784 |
| | 2020 | Centro | 24.394 | 725.694 | 106.193 | 38 | 495 | 17.870 |
| Macizo | | 6.204 | 214.754 | 45.843 | 181 | 330 | 11.212 | 1.807 |
| Norte | | 78.538 | 12.277.091 | 55.218 | 39 | 455 | 27.060 | 2.438 |
| Oriente | | 1.170 | 22.703 | 30.564 | 31 | 836 | 1.705 | 720 |
| Pacífico | | 370 | 27.502 | 112 | -- | -- | 77 | 35 |
| Piedemonte amazónico | | 11 | 16.823 | 18.781 | 10 | | 822 | 30 |
| Sur | | 11.200 | 166.096 | 86.772 | 173 | 1.145 | 35.775 | 3.239 |
| Total general 2020 | | 121.887 | 13.450.663 | 343.483 | 472 | 3.261 | 94.521 | 10.899 |
| 2019 | Centro | 20.105 | 764.415 | 95.672 | 30 | 484 | 16.910 | 2.650 |
| | Macizo | 5.743 | 205.401 | 44.166 | 1 | 399 | 10.721 | 2.207 |
| | Norte | 69.581 | 11.041.857 | 53.030 | 8 | 513 | 25.447 | 2.384 |
| | Oriente | 1.126 | 21.912 | 27.208 | | 1.129 | 1.609 | 693 |
| | Pacífico | 316 | 26.885 | 111 | -- | -- | 76 | 63 |
| | Piedemonte amazónico | -- | 15.251 | 12.901 | -- | 1 | 756 | 35 |
| | Sur | 4.398 | 154.733 | 82.509 | 42 | 1.212 | 33.737 | 3.380 |
| | Total general 2019 | 101.269 | 12.230.454 | 315.597 | 81 | 3.738 | 89.256 | 11.412 |

Ahora se debe identificar la ubicación espacial de los diferentes tipos de especie, para esto se presentan de la Figura 84 a la Figura 86 la producción en cantidad de individuos de cada una de especies que habitan en el departamento del Cauca, discriminadas por subregión y municipio para los años 2019, 2020 y 2021.

En la Figura 84 se presenta el inventario de porcinos (total porcinos del departamento (78.384), se observa que la subregión Norte (57.431) presenta la mayor concentración de individuos, los cuales predominan específicamente en los municipios de Caloto (19.121), Santander de Quilichao (13.056) y Miranda (10.435).

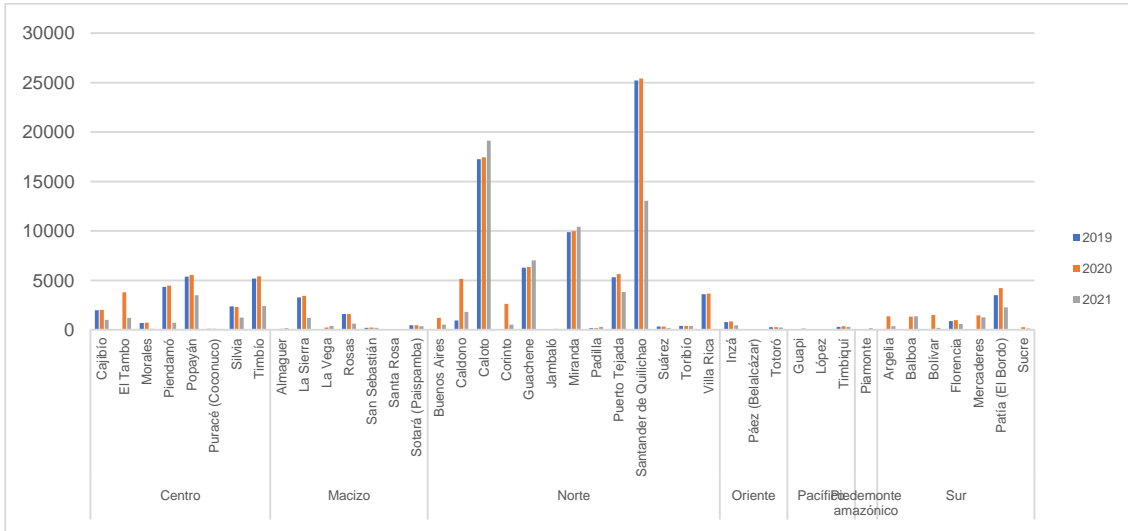


Figura 84 Inventario pecuario-Porcinos discriminado por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

En la Figura 85 se presenta el inventario de aves (total aves del departamento 9'187.727), se observa que la región norte (8'545.907) presenta la mayor concentración de individuos, los cuales predominan específicamente en los municipios de Caloto (5'164030), Villa Rica (1'390.150) y Santander de Quilichao (1'086.924).

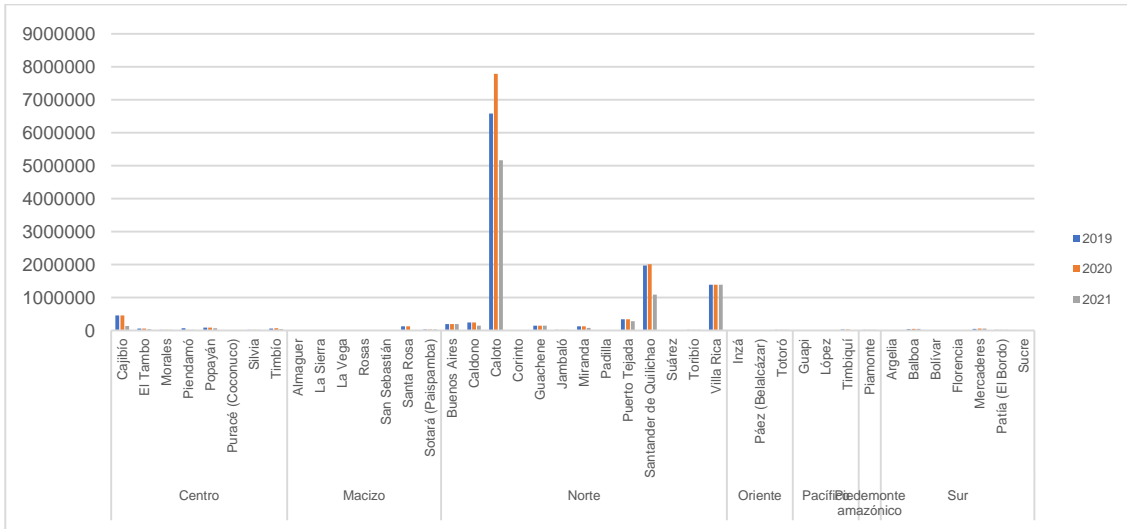


Figura 85 Inventario pecuario-Aves discriminado por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

En la Figura 86 se presenta el inventario de bovinos (total bovinos del departamento 328.308), se observa que las regiones centro (99.802), sur (86.877) y norte (52.770) presentan la mayor concentración de individuos.

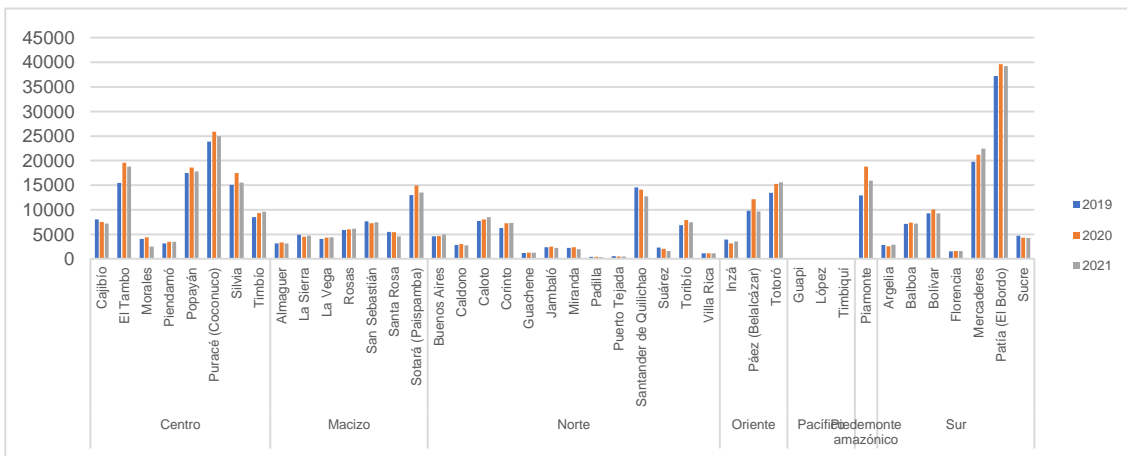


Figura 86 Inventario pecuario-Bovinos discriminado por regiones en el periodo 2019-2021 Fuente: UPRA-MinAgricultura

Para obtener el potencial energético de la biomasa pecuaria se debe obtener la cantidad total de biogás y multiplicarla por el poder calorífico inferior del metano (0,0000224 TJ/m³), tal y como se expresa a continuación:

$$PE = \frac{\text{biogás (m3/año)}}{\text{Total estiércol}} = \frac{NIE * TPE * PMS * SV * PB * PCI_{CH4}}{\text{Total estiércol}}$$

Donde:

- PE Potencial Energético (TJ/año)
- NIE Número de Individuos por Especie (Cabezas)
- TPE Tasa de Producción de Estiércol (kg/cabeza*año)
- PMS Porcentaje de materia seca (kg materia seca/kg estiércol)
- SV Sólidos volátiles (kg solidos volátiles/kg materia seca)
- PB Producción de biogás (m³/kg solidos volátiles)
- PCI_{CH4} Poder Calorífico Inferior del metano (TJ/m³)

Tabla 5.12. Porcentaje de materia seca

| SECTOR | % DE MATERIA SECA (Kg MS/kg Estiércol) | SÓLIDOS VOLTÁTILES (Kg SV/kg MS) | PRODUCCIÓN DE BIOGÁS (m3 /kg SV) |
|------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|
| BOVINOS | 0,18 | 0,80 | 0,21 |
| PORCINOS | 0,31 | 0,73 | 0,32 |
| AVICOLA ENGORDE | 0,80 | 0,65 | 0,31 |
| AVICOLA PONEDORA | 0,35 | 0,65 | 0,31 |

*MS: Materia SECA

Tabla 5.13. Tasa de producción de estiércol

| SECTOR | SUBSECTOR | TASA DE PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL [kg/Cabeza*Año] |
|----------|----------------------|---|
| BOVINOS | Termeros < 12 meses | 1.460 |
| | Entre 12 y 24 meses | 3.285 |
| | Entre 24 y 36 meses | 5.110 |
| | > 36 meses | 6.570 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 102 |
| | Levante | 799 |
| | Precebos | 445 |
| | Reproductor | 2.051 |
| | Hembra lactante | 2.694 |
| | Hembra gestante | -- |
| | Promedio | 1.344 |
| AVICOLA | Engorde | 26 |
| | Ponedoras | 38 |
| | Traspatio (Promedio) | 32 |

En la Tabla 5.14 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión Centro. Se observa que el potencial total de la subregión es de 345,57 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector de bovinos (291,25 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en los municipios de Puracé, El Tambo, Popayán y Silvia.

Tabla 5.14. Potencial energético total Centro

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Termeros < 12 meses | 23.920 | 34.923.200 | 23,66 |
| | Entre 12 y 24 meses | 25.325 | 83.192.625 | 56,35 |
| | Entre 24 y 36 meses | 13.913 | 71.095.430 | 48,16 |
| | > 36 meses | 36.644 | 240.751.080 | 163,08 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 99.802 | 429.962.335 | 291,25 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 915 | 93.513 | 0,15 |
| | Levante | 3.685 | 2.945.605 | 4,78 |
| | Precebos | 3.538 | 1.575.471 | 2,56 |
| | Reproductor | 367 | 752.827 | 1,22 |
| | Hembra lactante | 1.406 | 3.787.342 | 6,14 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 322 | 432.704 | 0,70 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 10.233 | 9.587.462 | 15,55 |
| AVICOLA | Engorde | 83.400 | 2.130.870 | 26,00 |
| | Ponedoras | 10.000 | 383.300 | 0,61 |
| | Traspatio (Promedio) | 241.160 | 7.702.650 | 12,17 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 334.560 | 2.514.170 | 38,77 |

En la Tabla 5.15 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión Macizo. Se observa que el potencial total de la subregión es de 136,97 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector de bovinos (127,05 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en los municipios de Sotará y San Sebastián.

Tabla 5.15. Potencial energético total Macizo

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Temeros < 12 meses | 10.415 | 15.205.900 | 10,30 |
| | Entre 12 y 24 meses | 10.939 | 35.934.615 | 24,34 |
| | Entre 24 y 36 meses | 8.183 | 41.815.130 | 28,32 |
| | > 36 meses | 14.400 | 94.608.000 | 64,09 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 43.937 | 187.563.645 | 127,05 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 278 | 28.412 | 0,05 |
| | Levante | 1.386 | 1.107.899 | 1,80 |
| | Precebos | 624 | 277.867 | 0,45 |
| | Reproductor | 64 | 131.283 | 0,21 |
| | Hembra lactante | 469 | 1.263.345 | 2,05 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 219 | 294.292 | 0,48 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 3.040 | 3.103.099 | 5,03 |
| AVICOLA | Engorde | - | - | - |
| | Ponedoras | - | - | - |
| | Traspatio (Promedio) | 96.760 | 3.090.514 | 4,88 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 96.760 | - | 4,88 |

En la Tabla 5.16 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión N. Se observa que el potencial total de la subregión es de 1262,30 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector avícola (1035,55 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en los municipios de Caloto, Santander de Quilichao y Villa Rica.

Tabla 5.16. Potencial energético total Norte

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|---------|---------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Temeros < 12 meses | 11.688 | 17.064.480 | 11,56 |
| | Entre 12 y 24 meses | 14.464 | 47.514.240 | 32,19 |
| | Entre 24 y 36 meses | 10.218 | 52.213.980 | 35,37 |

| | | | | |
|----------|------------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| | > 36 meses | 16.400 | 107.748.000 | 72,99 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 52.770 | 224.540.700 | 152,10 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 8.322 | 850.508 | 1,38 |
| | Levante | 20.852 | 16.668.046 | 27,04 |
| | Precebos | 19.597 | 8.726.544 | 14,16 |
| | Reproductor | 176 | 361.029 | 0,59 |
| | Hembra lactante | 5.936 | 15.989.803 | 25,94 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 2.548 | 3.424.002 | 5,55 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 57.431 | 46.019.933 | 74,65 |
| AVICOLA | Engorde | 2.076.074 | 53.043.691 | 647,13 |
| | Ponedoras | 6.138.840 | 235.301.737 | 371,72 |
| | Traspatio (Promedio) | 330.993 | 10.571.916 | 16,70 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 8.545.907 | 288.345.428 | 1.035,55 |

En la Tabla 5.17 Tabla 5.16 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión Oriente. Se observa que el potencial total de la subregión es de 84,33 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector de bovinos (82,12 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en el municipio de Totoró.

Tabla 5.17. Potencial energético Oriente

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Temeros < 12 meses | 6.337 | 9.252.020 | 6,27 |
| | Entre 12 y 24 meses | 9.243 | 30.363.255 | 20,57 |
| | Entre 24 y 36 meses | 3.912 | 19.990.320 | 13,54 |
| | > 36 meses | 9.380 | 61.626.600 | 41,74 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 28.872 | 121.232.195 | 82,12 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 130 | 13.286 | 0,02 |
| | Levante | 170 | 135.890 | 0,22 |
| | Precebos | 267 | 118.895 | 0,19 |
| | Reproductor | 13 | 26.667 | 0,04 |
| | Hembra lactante | 93 | 250.514 | 0,41 |

| | | | | |
|---------|------------------------|---------------|----------------|-------------|
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 97 | 130.349 | 0,21 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 770 | 675.600 | 1,10 |
| AVICOLA | Engorde | - | - | - |
| | Ponedoras | 3.900 | 149.487 | 0,24 |
| | Traspatio (Promedio) | 17.390 | 555.437 | 0,88 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 21.290 | 149.487 | 1,11 |

En la Tabla 5.18 Tabla 5.17 Tabla 5.16 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión Pacífico. Se observa que el potencial total de la subregión es de 1,68 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector de porcinos (0,88 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en el municipio de Timbiquí.

Tabla 5.18. Potencial energético total Pacífico

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Termeros < 12 meses | 11 | 16.060 | 0,01 |
| | Entre 12 y 24 meses | 13 | 42.705 | 0,03 |
| | Entre 24 y 36 meses | 26 | 132.860 | 0,09 |
| | > 36 meses | 66 | 433.620 | 0,29 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 116 | 625.245 | 0,42 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 52 | 5.314 | 0,01 |
| | Levante | 113 | 90.327 | 0,15 |
| | Precebos | 113 | 50.319 | 0,08 |
| | Reproductor | 1 | 2.051 | 0,00 |
| | Hembra lactante | 76 | 204.721 | 0,33 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 142 | 190.820 | 0,31 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 497 | 543.552 | 0,88 |
| AVICOLA | Engorde | - | - | - |
| | Ponedoras | - | - | - |
| | Traspatio (Promedio) | 7.480 | 238.911 | 0,38 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 7.480 | - | 0,38 |

En la Tabla 5.19Tabla 5.17Tabla 5.16 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión piedemonte amazónico. Se observa que el potencial total de la subregión es de 48,92 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector de bovinos (47,75 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en el municipio de Piamonte.

Tabla 5.19. Potencial energético total Piedemonte Amazónico

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Terneros < 12 meses | 3.152 | 4.601.920 | 3,12 |
| | Entre 12 y 24 meses | 3.938 | 12.936.330 | 8,76 |
| | Entre 24 y 36 meses | 3.532 | 18.048.520 | 12,23 |
| | > 36 meses | 5.312 | 34.899.840 | 23,64 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 15.934 | 70.486.610 | 47,75 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 15 | 1.533 | 0,00 |
| | Levante | 91 | 72.741 | 0,12 |
| | Precebos | 5 | 2.227 | 0,00 |
| | Reproductor | 2 | 4.103 | 0,01 |
| | Hembra lactante | 18 | 48.487 | 0,08 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 48 | 64.502 | 0,10 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 179 | 193.592 | 0,31 |
| AVICOLA | Engorde | - | - | - |
| | Ponedoras | - | - | - |
| | Traspatio (Promedio) | 17.000 | 542.980 | 0,86 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 17.000 | - | 0,86 |

En la Tabla 5.20Tabla 5.17Tabla 5.16 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año de la subregión Sur. Se observa que el potencial total de la subregión es de 277,88 TJ/año, donde el mayor potencial se asocia al sector de bovinos (258,53 TJ/año), los cuales se concentran principalmente en los municipios de El Bordo y Mercaderes.

Tabla 5.20. Potencial energético total Sur

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Termeros < 12 meses | 17.932 | 26.180.720 | 17,73 |
| | Entre 12 y 24 meses | 20.248 | 66.514.680 | 45,06 |
| | Entre 24 y 36 meses | 21.209 | 108.377.990 | 73,41 |
| | > 36 meses | 27.488 | 180.596.160 | 122,33 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 86.877 | 381.669.550 | 258,53 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 252 | 25.754 | 0,04 |
| | Levante | 3.544 | 2.832.896 | 4,60 |
| | Precebos | 115 | 51.210 | 0,08 |
| | Reproductor | 67 | 137.437 | 0,22 |
| | Hembra lactante | 537 | 1.446.517 | 2,35 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 1.719 | 2.309.992 | 3,75 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 6.234 | 6.803.807 | 11,04 |
| AVICOLA | Engorde | - | - | - |
| | Ponedoras | - | - | - |
| | Traspatio (Promedio) | 164.730 | 5.261.476 | 8,31 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 164.730 | - | 8,31 |

En la Tabla 5.21 Tabla 5.17 Tabla 5.16 se muestra la cantidad de individuos por especie, la cantidad de estiércol producida por año y el potencial energético por año del total del departamento del Cauca. Se observa que el mayor potencial se encuentra en el sector avícola (1089,87 TJ/año) con casi la totalidad de concentración en la subregión Norte, seguido por el sector de bovinos (959,22 TJ/año) con la mayor concentración en las subregiones Centro y Sur. Es de resaltar que las subregiones con mayor potencial en biomasa pecuaria son Norte (1262,30 TJ/año), Centro (345,57 TJ/año) y Sur (277,88 TJ/año).

Tabla 5.21. Potencial energético total departamento de Cauca

| SECTOR | SUBSECTOR | POBLACIÓN (No. CABEZAS) | MASA DE RESIDUO [Kg/AÑO] | POTENCIAL ENERGÉTICO [TJ/AÑO] |
|----------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| BOVINOS | Termeros < 12 meses | 73.455 | 107.244.300 | 72,64 |
| | Entre 12 y 24 meses | 84.170 | 276.498.450 | 187,29 |
| | Entre 24 y 36 meses | 60.993 | 311.674.230 | 211,12 |
| | > 36 meses | 109.690 | 720.663.300 | 488,16 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 328.308 | 1.416.080.280 | 959,22 |
| PORCINOS | Lechon lactante | 9.964 | 1.018.321 | 1,65 |
| | Levante | 29.841 | 23.853.403 | 38,69 |
| | Precebos | 24.259 | 10.802.533 | 17,52 |
| | Reproductor | 690 | 1.415.397 | 2,30 |
| | Hembra lactante | 8.535 | 22.990.730 | 37,29 |
| | Hembra gestante | - | - | - |
| | Promedio | 5.095 | 6.846.661 | 11,11 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 78.384 | 66.927.044 | 108,56 |
| AVICOLA | Engorde | 2.159.474 | 55.174.561 | 673,13 |
| | Ponedoras | 6.152.740 | 235.834.524 | 372,56 |
| | Traspatio (Promedio) | 875.513 | 27.963.885 | 44,18 |
| | TOTAL SUBSECTOR | 9.187.727 | 291.009.085 | 1089,87 |

6. Conclusiones

El potencial solar se presenta de manera general en todo el departamento del Cauca, se facilita su aprovechamiento en consideración a las necesidades en sitios apartados lo que permite atender demandas puntuales y su implementación no es compleja. En los resultados del potencial solar del departamento se pueden identificar que los potenciales sobresalientes se encuentran en la subregión Sur seguida de la subregión Norte. Se destacan los municipios con mayor potencial por subregión como Miranda, Padilla, Silvia, Morales, Sotará, Rosas, Páez; Inzá, Florencia, Mercaderes, López de Micay y Guapi.

Los municipios con los valores más altos de irradiación de 5,4 kWh/m² se presentan en los municipios de Padilla y Mercaderes; los mínimos valores del recurso solar se presentan en Sibundoy con una irradiación de 3,7 kWh/m².

El potencial eólico es un poco más particular teniendo en cuenta la disponibilidad en sitios más localizados, por lo tanto el uso está más limitado a esta condición en la región, existe la mayor complejidad tecnológica para el desarrollo sostenible en un proyecto de pequeña escala, no obstante en la medida que se tengan mayores avances tecnológicos para pequeña escala seguramente se tendrán mayores aplicaciones.

En el departamento del Cauca los valores con mayor potencial de velocidad de viento se presentan en su mayoría en las subregiones Oriente y Macizo, mientras que la de menor potencial el Pacífico.

Los municipios con mayor potencial en la subregión Norte son Corintio; Toribio, Jámbalo, subregión Centro Silvia y Puracé, Subregión Macizo San Sebastián, Almaguer, La Vega, Sotará; Subregión Oriente Totoró y Páez, subregión Sur Bolívar, subregión Pacífico Guapi.

Con el potencial de biomasa, aunque es el recurso más abundante, no toda es posible de usar, y requiere de un nivel de logística complejo para asegurar el suministro de manera constante. Las soluciones en zonas rurales se identifican de manera puntual, en sitios donde se tenga garantizada tanto la oferta energética de manera constante, como la demanda mínima que garantice la viabilidad de los proyectos.

Se evidencia que el potencial energético de biomasa agrícola del departamento del Cauca se clasifica en tres categorías: 1) alto con potenciales en el orden de los 100.000 TJ/año donde se destaca el cultivo de la caña medio con potenciales en el orden de los 1000 TJ/año donde se destaca el cultivo del y 3) bajo con potenciales en el orden de los 100 TJ/año donde se destacan los cultivos de plátano, maíz y arroz: Los mayores potenciales de biomasa se presenta en las subregiones Norte y Centro del departamento

En cuanto al potencial pecuario se observa que el mayor se encuentra en el sector avícola (1089,87 TJ/año) con casi la totalidad de concentración en la subregión Norte, seguido por el sector de bovinos (959,22 TJ/año) con la mayor concentración en las subregiones Centro y Sur. Es de resaltar que las subregiones con mayor potencial en biomasa pecuaria son Norte (1262,30 TJ/año), Centro (345,57 TJ/año) y Sur (277,88 TJ/año).

7. Bibliografía

Agencia de Renovación del Territorio. (2020). *Proyectos integradores en el Departamento del Cauca, Timbiquí, 2020*. Obtenido de <https://www.renovacionterritorio.gov.co/#/es/noticia/565/art-inicia-proyectointegrador->

- Cardona-Arenas, C. D., Osorio-Barreto, D., & Sotelo-Zemanate, D. (2020). Desempeño de las subregiones del departamento del Cauca y su contribución al desarrollo territorial (2015-2017). *Revista Facultad De Ciencias Económicas*, 28(2), 161-179. doi:10.18359/rfce.4645
- Compañía Energética de Occidente - CEO. (2019). *CEO renovable*. Obtenido de <https://www.ceosp.com.co/ceo-renovable>
- Gobernación del Cauca. (2019). *Perfil del Departamento del Cauca*. Popayán: Gobernación del Cauca.
- Gobernación del Cauca. (2020). *Plan de Desarrollo 2020-2023*. Popayán, Colombia: Gobernación del Cauca.
- Minciencias. (2014). *Pacífico Pura Energía*. Obtenido de Ideas para el cambio: <https://ideasparaelcambio.minciencias.gov.co/proyecto/pac%C3%ADfco-pura-energ%C3%ADa>
- Mincomercio. (2021). *Información: Perfiles Económicos Departamentales*. Bogotá: Mincomercio.
- Muñoz, F., & Pérez, H. (2017). Susceptibilidad a la erosión hídrica de suelos en la zona Andina del departamento del Cauca. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 26(1), 45-50.
- PNUD. (2013). *Informe de diagnóstico Mercado de Trabajo Popayán*. Popayán, Cauca: PNUD.
- PNUD. (2019). *Cauca Retos y desafíos para el Desarrollo Sostenible*. PNUD.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD. (2014). *Cauca: Análisis de conflictividades y construcción de paz*. Popayán: PNUD.
- Sistema de Información Eléctrico Colombiano*. (2018). Obtenido de SIEL: <http://www.siel.gov.co/>
- VallenPaz . (Junio de 2016). *El Cauca le apuesta a los proyecto productivos*. Obtenido de <https://vallenpaz.org.co/el-cauca-le-apuesta-a-los-proyecto-productivos/>