



**IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL DEPARTAMENTO
DEL META COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PROYECTO PLANES DE
ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PERS ORINOQUIA**

**YURY KATHERINE BELTRÁN CEDIEL
KEVIN ANDRÉS GONZÁLEZ ÁVILA**

**DIRECTOR:
JAIRO DAVID CUERO ORTEGA
INGENIERO ELECTRÓNICO
ESPECIALISTA EN INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2018**

**IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL DEPARTAMENTO
DEL META COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PROYECTO PLANES DE
ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PERS ORINOQUIA**

**YURY KATHERINE BELTRÁN CEDIEL
KEVIN ANDRÉS GONZÁLEZ ÁVILA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TITULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO
MODALIDAD EPI**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN MACRYPT

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL Y
SOSTENIBLE (PERS) ORINOQUIA.”**

**DIRECTOR:
JAIRO DAVID CUERO ORTEGA
INGENIERO ELECTRÓNICO
ESPECIALISTA EN INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO, COLOMBIA
2018**

AUTORIZACIÓN

Yo YURY KATHERINE BELTRÁN CEDIEL mayor de edad, vecino de Villavicencio-Meta, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1.119.892.501 de Cumaral-Meta, actuando en nombre propio en mi calidad de autor del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado denominado “IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL DEPARTAMENTO DEL META COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PROYECTO PLANES DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PERS ORINOQUIA”, hago entrega del ejemplar y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD-ROM) y autorizo a la **UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, con la finalidad de que se utilice y use en todas sus formas, realice la reproducción, comunicación pública, edición y distribución, en formato impreso y digital, o formato conocido o por conocer de manera total y parcial de mi trabajo de grado o tesis.

EL AUTOR – Yury Katherine Beltrán Cediél, Como autor, manifiesto que el trabajo de grado o tesis objeto de la presente autorización, es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros; por tanto, la obra es de mi exclusiva autoría y poseo la titularidad sobre la misma; en caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, como autor, asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados, para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia, se firma el presente documento en dos (2) ejemplares del mismo valor y tenor en Villavicencio - Meta, a los dieciséis (16) días del mes de abril de dos mil dieciocho (2018).

Yury Katherine Beltrán Cediél

Firma _____
Nombre: _____
C.C. No. _____ de _____

AUTORIZACIÓN

Yo KEVIN ANDRÉS GONZÁLEZ ÁVILA mayor de edad, vecino de Villavicencio-Meta, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1.105.791.079 de Honda-Tolima, actuando en nombre propio en mi calidad de autor del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado denominado “IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL DEPARTAMENTO DEL META COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PROYECTO PLANES DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PERS ORINOQUIA”, hago entrega del ejemplar y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD-ROM) y autorizo a la **UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, con la finalidad de que se utilice y use en todas sus formas, realice la reproducción, comunicación pública, edición y distribución, en formato impreso y digital, o formato conocido o por conocer de manera total y parcial de mi trabajo de grado o tesis.

EL AUTOR – Kevin Andrés González Ávila, Como autor, manifiesto que el trabajo de grado o tesis objeto de la presente autorización, es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros; por tanto, la obra es de mi exclusiva autoría y poseo la titularidad sobre la misma; en caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, como autor, asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados, para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia, se firma el presente documento en dos (2) ejemplares del mismo valor y tenor en Villavicencio - Meta, a los dieciséis (16) días del mes de abril de dos mil dieciocho (2018).

Kevin Andrés González Ávila

Firma _____
Nombre: _____
C.C. No. _____ de _____

Nota de aceptación:

Esp. Jairo David Cuero Ortega
Director del trabajo de grado

Esp. Jairo David Cuero Ortega
Jurado

Villavicencio, abril del 2018

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres por creer en mí siempre, por su inmenso amor y por todos los esfuerzos que hacen para ayudarme a alcanzar cada una de mis metas, lo son todo para mí.

A mis hermanas por brindarme siempre su apoyo y a mi compañero de aventuras por darme la mano y hacerme reír en cada momento.

Yury Katherine Beltrán Cediel

Ahora si seré tu ingeniero hoy y siempre, discúlpame y gracias por todo.

Kevin Andrés González Ávila

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a nuestras familias por todo el apoyo y paciencia, sin ustedes no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A nuestros compañeros y profesores por todas los momentos, risas, consejos y conocimientos brindados a lo largo de nuestra vida universitaria.

A los compañeros del Observatorio del Territorio por permitirnos entrar en su comprometido grupo de trabajo y enseñarnos un poco de cada una de las áreas de aprendizaje que lo conforman.

Al ingeniero Jairo David Cuero Ortega por la confianza depositada en nosotros, al permitirnos realizar nuestra opción de grado como estudiantes participantes en investigación EPI, por su acompañamiento y disposición en el desarrollo del trabajo.

RESUMEN

Para identificar el potencial energético en el departamento del Meta fue necesario recopilar, clasificar y priorizar la información disponible sobre las actividades productivas, proyectos y sistemas de información geográfica, con el objetivo de consolidar la información suficiente para conocer su estado actual. Posteriormente se elaboró un análisis del recurso eólico, solar, hídrico y de biomasa existente en la región, a fin de obtener un estimado de su potencial y reconocer las zonas más idóneas para la instalación de sistemas que permitan su aprovechamiento.

Esta labor estuvo ligada al desarrollo del Plan de Energización Rural Sostenible (PERS), ideado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) con el apoyo de otras organizaciones nacionales e internacionales, a través del cual se busca obtener información socioeconómica y energética de los municipios, de manera que se puedan formular proyectos integrales y sostenibles que hagan uso de los potenciales energéticos presentes en cada región (IPSE, Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas).

Según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), hasta el momento este proyecto se ha implementado en los departamentos de la Guajira, Tolima, Nariño, Choco, Cundinamarca y actualmente se encuentra en proceso de desarrollo en la región de la Orinoquia, Norte de Santander, Cesar y Putumayo. De acuerdo con las experiencias obtenidas en los PERS, a través de estos planes se obtiene la caracterización energética y productiva de las regiones de interés, se realiza una recolección de información primaria en tiempo real, se obtienen análisis estadísticos sobre la situación económica y energética y como resultado se consolidan criterios para la formulación de políticas públicas regionales, se formulan proyectos aplicables, se contribuye a elevar el nivel de vida de los habitantes y sobre todo se impulsa el desarrollo local.

ABSTRACT

To identify the energy potential in the department of Meta, it was necessary to collect, classify and prioritize the available information on productive activities, projects and geographic information systems, in order to consolidate enough information to know their current status. Subsequently, an analysis of the wind, solar, water and biomass resource existing in the region was developed, in order to obtain an estimate of its potential and recognize the most suitable areas for the installation of systems that allow its use.

This work was linked to the development of the Sustainable Rural Energy Plan (PERS), devised by the Mining and Energy Planning Unit (UPME) with the support of other national and international organizations, through which it seeks to obtain socioeconomic and energy information from the municipalities, so that comprehensive and sustainable projects can be formulated that make use of the energy potentials present in each region (IPSE, Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas).

According to the Institute for Planning and Promotion of Energy Solutions for Non-Interconnected Zones (IPSE), this project has been implemented to date in the departments of La Guajira, Tolima, Nariño, Chocó, Cundinamarca and is currently under development. the region of the Orinoquia, Norte de Santander, Cesar and Putumayo. According to the negative experiences in the PERS, through these planes the energy and productive characterization of the regions of interest is obtained, a primary information collection is made in real time, the statistical analysis on the economic and energy situation is analyzed As a result, the criteria for formulating regional public policies, the formulation of projects, are consolidated, contributing to raising the standard of living of the populations and, above all, promoting local development.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	22
2. GENERALIDADES	23
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	23
2.2. JUSTIFICACIÓN.....	23
2.3. OBJETIVOS	25
2.3.1. Objetivo General.....	25
2.3.2. Objetivos Específicos	25
3. MARCO TEÓRICO	26
4. MARCO CONCEPTUAL	28
4.1. ENERGÍA	28
4.2. SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL.....	28
4.3. POTENCIA	29
4.4. PERS.....	29
4.5. SUBREGIONES DEL DEPARTAMENTO DEL META.....	29
4.6. ENTIDADES RELACIONADAS CON LAS ENERGIAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN COLOMBIA	30
5. METODOLOGIA	32
6. ENERGÍA SOLAR	33
6.1. ANÁLISIS DE HORAS DE BRILLO SOLAR (HBS)	33
6.1.1. Subregión Ariari.....	35
6.1.2. Subregión Capital Cordillera	36
6.1.3. Subregión La Macarena.....	36
6.1.4. Subregión Rio Meta	37
6.2. ANÁLISIS DE IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL HORIZONTAL (HGI)	37
1.1.1. Subregión Alto Ariari Centro	39
1.1.2. Subregión Rio Meta	40
6.2.1. Subregión Capital Cordillera	40
6.2.2. Subregión Ariari.....	41
6.3. ANÁLISIS DE NUBOSIDAD MENSUAL MULTIANUAL	42
6.3.1. Subregión Ariari.....	42

6.3.2.	Subregión Capital Cordillera	43
6.3.3.	Subregión La Macarena.....	44
6.3.4.	Subregión Rio Meta	44
7.	ENERGÍA HIDRÁULICA	45
7.1.	PRECIPITACIÓN.....	46
7.1.1.	Precipitación subregión Ariari	46
7.1.2.	Precipitación subregión Bajo Ariari Sur.....	50
7.1.3.	Precipitación subregión Rio Meta	51
7.1.4.	Precipitación subregión Alto Ariari Centro.....	54
7.1.5.	Precipitación subregión La Macarena	56
7.1.6.	Precipitación en la subregión Capital Cordillera	58
7.2.	POTENCIAL HIDROENERGÉTICO.....	61
7.2.1.	Subregión Alto Ariari Centro	61
7.2.2.	Subregión Ariari.....	62
7.2.3.	Subregión Bajo Ariari Sur	63
7.2.4.	Subregión Capital Cordillera	64
7.2.5.	Subregión La Macarena.....	64
7.2.6.	Subregión Rio Meta	65
7.3.	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE ACUERDO CON EL ATLAS ELABORADO POR LA UPME.....	66
7.3.1.	Subregión Alto Ariari Centro	66
7.3.2.	Subregión Ariari.....	66
7.3.3.	Subregión Bajo Ariari Sur	67
7.3.4.	Subregión Capital Cordillera	68
7.3.5.	Subregión La Macarena.....	68
7.3.6.	Subregión Rio Meta	69
8.	ENERGÍA EÓLICA	70
8.1.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO DE ACUERDO CON EL ATLAS INTERACTIVO DEL IDEAM.....	71
8.2.	ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE ACUERDO CON INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN DEL IDEAM 75	
8.2.1.	Estación La Libertad	75
8.2.2.	Estación Aeropuerto Vanguardia	76
8.2.3.	Estación Unillanos	76
8.2.4.	Estación Alto del Tigre.....	77

8.3.	ANÁLISIS DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO DE ACUERDO CON INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN DEL IDEAM	78
8.3.1.	Estación la libertad	78
8.3.2.	Estación Unillanos	79
8.3.3.	Estación Aeropuerto Vanguardia	80
8.4.	ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO SEGÚN EL ATLAS GLOBAL DEL IRENA	82
8.4.1.	Subregión Alto Ariari Centro	82
8.4.2.	Subregión Ariari	83
8.4.3.	Subregión Bajo Ariari Sur	85
8.4.4.	Subregión Capital Cordillera	87
8.4.5.	Subregión La Macarena	88
8.4.6.	Subregión Río Meta	91
9.	ENERGÍA DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA	93
9.1.	CULTIVOS PERMANENTES	94
9.1.1.	Caña de azúcar	95
9.1.2.	Palma de aceite	97
9.1.3.	Plátano	98
9.1.4.	Piña	99
9.1.5.	Cítricos	100
9.2.	CULTIVOS TRANSITORIOS	102
9.2.1.	Arroz	103
9.2.2.	Maíz	104
9.2.3.	Patilla	105
9.2.3.	Soya	106
9.3.	METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA	108
9.4.	POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS CULTIVOS PERMANENTES EN EL DEPARTAMENTO	109
9.5.	POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS CULTIVOS TRANSITORIOS EN EL DEPARTAMENTO	111
9.6.	OFERTA ENERGÉTICA EN EL DEPARTAMENTO	112
9.6.1.	Subregión Alto Ariari Centro	113
9.6.2.	Subregión Ariari	114
9.6.3.	Subregión Bajo Ariari Sur	116

9.6.4.	Subregión Capital Cordillera	117
9.6.5.	Subregión La Macarena.....	118
9.6.6.	Subregión Rio Meta	120
10.	ENERGÍA DE LA BIOMASA RESIDUAL PECUARIA	122
10.1.	BIOMASA PECUARIA DEL SECTOR AVÍCOLA.....	122
10.1.1.	Subregión Alto Ariari Centro.....	123
10.1.2.	Subregión Ariari	123
10.1.3.	Subregión Capital cordillera	124
10.2.	BIOMASA PECUARIA DEL SECTOR BOVINO	125
10.2.1.	Subregión Alto Ariari Centro.....	125
10.2.2.	Subregión Ariari	126
10.2.3.	Subregión Bajo Ariari Sur.....	126
10.2.4.	Subregión Capital cordillera	127
10.2.5.	La Macarena	127
10.2.6.	Subregión Rio Meta	128
10.3.	BIOMASA PECUARIA DEL SECTOR PORCINO.....	128
10.3.1.	Subregión Alto Ariari Centro.....	129
10.3.2.	Subregión Ariari	130
10.3.3.	Subregión Bajo Ariari Sur.....	130
10.3.4.	Subregión Capital cordillera	131
10.3.5.	Subregión La Macarena	131
10.3.6.	Subregión Rio Meta	132
10.4.	METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL PECUARIA.....	132
10.4.1.	Aves ponedoras, bovinos y porcinos	132
10.4.2.	Aves de engorde.....	134
10.5.	POTENCIAL ENERGÉTICO	135
10.5.1.	Subregión Alto Ariari Centro.....	135
10.5.2.	Subregión Ariari	137
10.5.3.	Subregión Bajo Ariari Sur.....	139
10.5.4.	Subregión Capital Cordillera.....	141
10.5.5.	Subregión La Macarena	142
10.5.6.	Subregión Río Meta	144
10.5.7.	Potencial energético en el departamento	145
RESULTADOS	147

CONCLUSIONES	148
BIBLIOGRAFÍA.....	149

FIGURAS

Figura 1. Subregiones del departamento del Meta.....	30
Figura 2. Estaciones de medición del IDEAM	33
Figura 3. Horas de brillo solar	34
Figura 4. Horas de brillo solar anual	35
Figura 5. Irradiación global horizontal	38
Figura 6. Irradiación global horizontal medio diario anual.....	39
Figura 7. Estaciones de medición del IDEAM	46
Figura 8. Precipitación media anual subregión Ariari	50
Figura 9. Precipitación media anual subregión Rio Meta	54
Figura 10. Precipitación media anual subregión Alto Ariari Centro.....	56
Figura 11. Precipitación media anual subregión La Macarena	58
Figura 12. Precipitación media anual subregión Capital Cordillera.....	60
Figura 13. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Alto Ariari Centro	62
Figura 14. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Ariari.....	63
Figura 15. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Bajo Ariari Sur	63
Figura 16. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Capital Cordillera.....	64
Figura 17. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión La Macarena	65
Figura 18. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Rio Meta	65
Figura 19. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro ...	66
Figura 20. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Ariari	67
Figura 21. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Bajo Ariari Sur	67
Figura 22. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera ...	68
Figura 23. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión La Macarena.....	69
Figura 24. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Rio Meta	70
Figura 25. Mapa de localización de estaciones del IDEAM	71
Figura 26. Velocidad promedio mensual del viento a 10m de altura	72
Figura 27. Mapa de velocidad promedio anual del viento a 10m de altura	73
Figura 28. Velocidad promedio mensual del viento a 50m de altura	74
Figura 29. Velocidad promedio anual del viento a 50m de altura	75
Figura 30. Rosa de los vientos de la estación La Libertad	78
Figura 31. Rosa de los vientos de la estación Unillanos.....	79
Figura 32. Rosa de los vientos de la estación Aeropuerto Vanguardia	81
Figura 33. Velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro - DTU.....	82
Figura 34. Velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro - CENER	83
Figura 35. Velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro -3TIER.....	83
Figura 36. Velocidad del viento en la subregión Ariari - DTU	84
Figura 37. Velocidad del viento en la subregión Ariari - CENER	84
Figura 38. Velocidad del viento en la subregión Ariari - 3TIER	85
Figura 39. Velocidad del viento en la subregión Bajo Ariari Sur - DTU.....	85
Figura 40. Velocidad del viento en la subregión Bajo Ariari Sur - CENER.....	86
Figura 41. Velocidad del viento en la subregión Bajo Ariari Sur - 3TIER.....	86

Figura 42. Velocidad del viento en la subregión Capital Cordillera - DTU	87
Figura 43. Velocidad del viento en la subregión Capital Cordillera - CENER	87
Figura 44. Velocidad del viento en la subregión Capital Cordillera - 3TIER.....	88
Figura 45. Velocidad del viento en la subregión La Macarena - DTU.....	89
Figura 46. Velocidad del viento en la subregión La Macarena - CENER.....	89
Figura 47. Velocidad del viento en la subregión La Macarena - 3TIER	90
Figura 48. Velocidad del viento en la subregión Río Meta - DTU	91
Figura 49. Velocidad del viento en la subregión Río Meta - CENER	91
Figura 50. Velocidad del viento en la subregión Río Ariari - 3TIER.....	92
Figura 51. Potencial energético en cada subregión (2016).	146

GRÁFICAS

Gráfica 1. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión Ariari.....	35
Gráfica 2. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión Capital Cordillera	36
Gráfica 3. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión La Macarena	37
Gráfica 4. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión Río Meta.....	37
Gráfica 5. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Alto Ariari Centro	40
Gráfica 6. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Ariari.....	40
Gráfica 7. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Capital Cordillera	41
Gráfica 8. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Río Meta.....	41
Gráfica 9. Promedio multianual de nubosidad - Estación Carimagua.....	42
Gráfica 10. Promedio multianual de nubosidad - Estación La Libertad.....	43
Gráfica 11. Promedio multianual de nubosidad - Estación Salinas de Upín	43
Gráfica 12. Promedio multianual de nubosidad - Estación La Macarena.....	44
Gráfica 13. Promedio multianual de nubosidad - Estación Barranca de Upía.....	44
Gráfica 14. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Ariari	47
Gráfica 15. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Ariari.....	48
Gráfica 16. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Ariari.....	49
Gráfica 17. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Bajo Ariari Sur.....	50
Gráfica 18. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Bajo Ariari Sur	51
Gráfica 19. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Río Meta	52
Gráfica 20. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Río Meta.....	52
Gráfica 21. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Río Meta.....	53
Gráfica 22. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Alto Ariari Centro	54
Gráfica 23. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Alto Ariari Centro	55
Gráfica 24. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión La Macarena.....	56
Gráfica 25. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión La Macarena	57
Gráfica 26. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Capital Cordillera	58
Gráfica 27. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Capital Cordillera	59
Gráfica 28. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Capital Cordillera.....	60
Gráfica 29. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación La Libertad	75
Gráfica 30. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia	76
Gráfica 31. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación Unillanos	77
Gráfica 32. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación Alto del Tigre .	77
Gráfica 33. Dirección y velocidad del viento en la estación La Libertad	79
Gráfica 34. Dirección y velocidad del viento en la estación Unillanos	80

Gráfica 35. Dirección y velocidad del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia.....	81
Gráfica 36. Registro del área cosechada por tipo de cultivos (2007-2015).....	94
Gráfica 37. Producción de caña de azúcar por subregión (2015).....	96
Gráfica 38. Producción de palma de aceite en el departamento del Meta (2015).....	98
Gráfica 39. Producción de plátano en el departamento del Meta (2015).....	99
Gráfica 40. Producción de piña en el departamento del Meta (2015).....	100
Gráfica 41. Producción de cítricos en el departamento del Meta (2015).....	102
Gráfica 42. Producción de arroz en el departamento del Meta (2015).....	104
Gráfica 43. Producción de maíz en el departamento del Meta (2015).....	105
Gráfica 44. Producción de patilla en el departamento del Meta (2015).....	106
Gráfica 45. Producción de soya en el departamento del Meta (2015).....	108
Gráfica 46. Potencial energético de los cultivos permanentes en el departamento (2015).	110
Gráfica 47. Potencial energético de los cultivos transitorios en el departamento del Meta (2015).....	112
Gráfica 48. Oferta energética por subregión (2015).....	112
Gráfica 49. Oferta energética en la subregión Alto Ariari Centro (2015).....	114
Gráfica 50. Oferta energética en la subregión del Ariari (2015).....	115
Gráfica 51. Oferta energética en la subregión Bajo Ariari Sur (2015).....	117
Gráfica 52. Oferta energética en la subregión Capital Cordillera (2015).....	118
Gráfica 53. Oferta energética en la subregión La Macarena (2015).....	120
Gráfica 54. Oferta energética en la subregión Rio Meta (2015).....	121
Gráfica 55. Distribución del potencial energético en la subregión Alto Ariari Centro por sector pecuario (2016).....	136
Gráfica 56. Distribución del potencial energético en la subregión del Ariari por sector pecuario (2016).....	138
Gráfica 57. Distribución del potencial energético en la subregión Capital Cordillera por sector pecuario (2016).....	141
Gráfica 58. Distribución del potencial energético en el departamento por sector pecuario (2016).....	145

TABLAS

Tabla 1. Escala de nubosidad.....	42
Tabla 2. Caída hidráulica en metros para la región del Orinoco.....	61
Tabla 3. Área cosechada por tipos de cultivo (2007-2015).....	93
Tabla 4. Cultivos permanentes presentes en el departamento del Meta (2014 y 2015). ..	94
Tabla 5. Cultivo de caña de azúcar por subregiones (2014 y 2015).....	96
Tabla 6. Cultivo de palma de aceite por subregión (2014 y 2015).....	97
Tabla 7. Cultivo de plátano por subregión (2014 y 2015).	98
Tabla 8 Cultivo de piña por subregión (2014 y 2015).	99
Tabla 9 Cultivos de cítricos por subregión (2014 y 2015).....	101
Tabla 10 Cultivos transitorios presentes en el departamento del Meta (2014 y 2015). ...	102
Tabla 11 Cultivo de arroz por subregión (2014 y 2015).....	103
Tabla 12 Cultivo de maíz por subregión (2014 y 2015).	104
Tabla 13 Cultivo de patilla por subregión (2014 y 2015).	106
Tabla 14 Cultivo de soya por subregión (2014 y 2015).	107
Tabla 15 Calculo del potencial energético de un cultivo.	109
Tabla 16 Potencial energético de los cultivos permanentes en el departamento del Meta (2015).	110
Tabla 17 Potencial energético de los cultivos transitorios en el departamento del Meta (2015).	111
Tabla 18 Oferta energética en la subregión Alto Ariari centro (2015).	113
Tabla 19 Oferta energética en la subregión del Ariari (2015).	114
Tabla 20 Oferta energética en la subregión Bajo Ariari Sur (2015).	116
Tabla 21 Oferta energética en la subregión Capital Cordillera (2015).	117
Tabla 22 Oferta energética en la subregión La Macarena (2015).....	119
Tabla 23 Oferta energética en la subregión Rio Meta (2015).	120
Tabla 24. Número de cabezas y predios en el sector avícola en el departamento (2016)	122
Tabla 25 Número de cabezas y predios en el sector avícola en la subregión Alto Ariari Centro (2016).....	123
Tabla 26 Número de cabezas y predios en el sector avícola en la subregión del Ariari (2016).	124
Tabla 27 Número de cabezas y predios en el sector avícola en la subregión Capital Cordillera (2016).	124
Tabla 28 Cantidad de cabezas y predios en el sector bovino en el departamento (2016).	125
Tabla 29 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Alto Ariari Centro (2016).....	126
Tabla 30 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión del Ariari (2016).	126
Tabla 31 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).	127

Tabla 32 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Capital Cordillera (2016).	127
Tabla 33 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión La Macarena (2016).	128
Tabla 34 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Río Meta (2016).	128
Tabla 35 Cantidad de cabezas y predios en el sector porcino en el departamento (2016).	129
Tabla 36 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Alto Ariari Centro (2016).	129
Tabla 37 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión del Ariari (2016).	130
Tabla 38 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).	130
Tabla 39 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Capital Cordillera (2016).	131
Tabla 40 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión La Macarena (2016).	131
Tabla 41 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Río Meta (2016).	132
Tabla 42 Variables constantes de la fórmula del potencial energético según el sector.	133
Tabla 43 Tasa de producción de estiércol por sector pecuario.	133
Tabla 44 Ejemplo de cálculo del potencial energético por digestión anaeróbica.	134
Tabla 45 Datos para hallar el potencial energético de las aves de engorde.	135
Tabla 46 Ejemplo de cálculo del potencial energético para aves de engorde.	135
Tabla 47 Potencial energético del sector avícola en la subregión Alto Ariari Centro (2016).	136
Tabla 48 Potencial energético del sector bovino en la subregión Alto Ariari Centro (2016).	137
Tabla 49 Potencial energético del sector porcino en la subregión Alto Ariari Centro (2016).	137
Tabla 50 Potencial energético del sector avícola en la subregión del Ariari (2016).	138
Tabla 51 Potencial energético del sector bovino en la subregión del Ariari (2016).	138
Tabla 52 Potencial energético del sector porcino en la subregión del Ariari (2016).	139
Tabla 53 Potencial energético del sector bovino en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).	140
Tabla 54 Potencial energético del sector porcino en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).	140
Tabla 55 Potencial energético del sector avícola en la subregión Capital Cordillera (2016).	141
Tabla 56 Potencial energético del sector bovino en la subregión Capital Cordillera (2016).	142
Tabla 57 Potencial energético del sector porcino en la subregión Capital Cordillera (2016).	142
Tabla 58 Potencial energético del sector bovino en la subregión La Macarena (2016).	143

Tabla 59 Potencial energético del sector porcino en la subregión La Macarena (2016).	143
Tabla 60 Potencial energético del sector bovino en la subregión Río Meta (2016).....	144
Tabla 61 Potencial energético del sector porcino en la subregión Río Meta (2016).	144
Tabla 62 Potencial energético en cada subregión por sector pecuario (2016).	145

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia gracias a la implementación de leyes como la 1715 de 2014 que promueven la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional (SIN) se han venido adelantando proyectos que permiten identificar las posibles fuentes energéticas a lo largo del territorio colombiano. A través de este proceso se busca hacer frente a la creciente demanda que es causada por el desarrollo económico e industrial y crear mecanismos que no solo complementen los sistemas tradicionales, sino que además tengan un mínimo impacto ambiental (UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, & IGAC, 2015).

Los Planes de Energización Rural Sostenible (PERS) son resultado de esta creciente necesidad y tienen por objetivo la formulación y estructuración de proyectos integrales y sostenibles para un periodo de mínimo 15 años (UPME & USAID, Guía para elaboración de un plan de energización rural sostenible, 2015). Con el fin de contribuir al buen desarrollo de esta iniciativa se pretende realizar la recopilación y clasificación de información secundaria sobre la disponibilidad del recurso solar, eólico, hídrico, geotérmico y de biomasa, y de esta manera poder establecer la oferta de recursos energéticos presentes en el departamento del Meta. Además, se deben estudiar las actividades productivas, los proyectos y sistemas de información geográfica de diferentes fuentes como empresas prestadoras de servicios públicos, entidades gubernamentales, académicas y comunitarias a fin de tener una perspectiva actualizada sobre la región. A través de este proceso se busca elevar la calidad de vida de los habitantes e impulsar el desarrollo local. (Barco Jiménez & Pantoja, 2015).

2. GENERALIDADES

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia el SIN está conformado por un conjunto de empresas de servicios públicos que se encargan de realizar actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. De acuerdo con el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura (PIEC) el 96.1% (11.594.208 viviendas) cuenta con el servicio de energía eléctrica, dentro de las cuales el 94.4% están conectadas al SIN y el 1.7% presenta una generación aislada; en cuanto al 3.9% (4.318.858 viviendas) restante, tan solo el 3.44% es factible de ser interconectado y el 0.46% no es conectable (UPME, Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica, 2014).

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE) ha determinado que la ampliación de la cobertura eléctrica en el territorio colombiano se ve truncada por factores que incluyen una baja capacidad de pago por parte de los usuarios, la creciente migración del área rural al área urbana, alto nivel de pérdidas, incierta sostenibilidad de los proyectos energéticos y las zonas dispersas o de difícil acceso. En el caso del departamento del Meta pese a que existen 45 subestaciones y 25 plantas diésel distribuidas en el territorio, a través de estos solo se logra alcanzar una cobertura del 93,91%, dejando 1.191 viviendas en el área urbana sin el servicio de energía eléctrica y 13.568 en el área rural, siendo los municipios de Mapiripán y Puerto Rico los más afectados (UPME, Análisis de resultados PIEC por departamento, 2014). La existencia de estas Zonas No Interconectadas (ZNI) afecta directamente la calidad de vida de las personas, pues restringe las oportunidades de productividad y acceso a las TIC (Bustos González, Sepúlveda, & Triviño Aponte, 2014), y limita la satisfacción de necesidades básicas como alimentación, salud, educación, seguridad, comunicación y ocio, ante la carencia de sistemas de adecuación del ambiente como iluminación y ventilación, medios para refrigeración y cocción de alimentos, equipos médicos, dispositivos electrónicos como teléfonos móviles, tabletas y computadores, y la maquinaria necesaria para las actividades del campo.

Con el objetivo de brindarle una solución a estas comunidades se han implementado diferentes esquemas de energización que cuentan con los recursos financieros suficientes, sin embargo, no han logrado sostenerse a través del tiempo, pues en su desarrollo no se promovieron actividades que consolidaran estos proyectos como sostenibles, lo cual indica que no solo se trata de brindar el servicio de energización, también se deben elaborar metodologías que permitan que la misma comunidad beneficiada sea la encargada de cuidarlo y repararlo, para lograr así durabilidad y sostenibilidad a través del tiempo.

2.2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia el servicio de energía eléctrica fue suministrado inicialmente por el sector privado, sin embargo, la falta de inversión y la necesidad de fortalecer a través de éste el

desarrollo local, hicieron que en el año 1938 el suministro de energía eléctrica se declarara como un servicio público fundamental por lo cual es responsabilidad del Estado Colombiano garantizar su prestación a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos que no se encuentran en el Sistema Interconectado Nacional.

Desde entonces se han adelantado diferentes proyectos y creado instituciones públicas que respaldan la expansión del servicio a todas las viviendas colombianas. Datos recientes indican que el Índice de Cobertura de Energía Eléctrica (ICEE) fue de 96,96% al 2015 lo que arroja un déficit de 435.212 viviendas, por lo que se han adoptado políticas públicas como la ley 1753 de 2015 que contempla la ampliación de recursos al Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas (FAER), el Programa de Normalización de Redes Eléctricas (PRONE), entre otras actividades que permitan ampliar y mejorar la calidad del servicio.

Otro decreto de gran importancia en Colombia es el 1623 de 2015 del Ministerio de Minas y Energías (MME), cuyo objetivo es suministrar energía eléctrica a través de soluciones aisladas centralizadas o individuales y microrredes, en los lugares donde no es factible la conexión al SIN, para esto se dispone de financiamiento por parte del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI), entre otras fuentes de recursos públicos y privados.

Para el periodo 2013 a 2015 el monto asignado para el FAER y el FAZNI en lo relacionado con proyectos de ampliación de la cobertura del servicio de energía eléctrica fue de \$521.350 millones que beneficiaron a un total de 53.136 viviendas, de este dinero en el departamento del Meta se invirtieron \$56.250.246.873,52 equivalente a 7.995 viviendas y para los años 2016 a 2020 los recursos disponibles ascienden a \$1.4 billones (UPME, 2016).

Cabe resaltar que Colombia se ha caracterizado por ser un país comprometido a nivel mundial con acciones que contribuyen a poner freno al cambio climático, por lo cual durante el 2015 en la Conferencia de las Partes (COP) 21 se comprometió a “reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030” (WWF, MINAMBIENTE, & Fundación Natura, 2016), a través de acciones como la sustitución de carbón por biomasa, introducción de combustibles de menos intensidad de carbono, elaboración de un portafolio de energías renovables, esquemas de generación con fuentes no convencionales y sistemas híbridos, entre otros.

Este tipo de acuerdos sumado al recurso económico disponible, facilita la creación de soluciones de calidad y amigables con el medio ambiente; en la presente propuesta se estima detalladamente la disponibilidad del recurso solar, eólico, hídrico y de biomasa, de manera que las FNCER se puedan convertir en una alternativa viable para cubrir la demanda energética en las seis subregiones que conforman el departamento del Meta, a través de la ejecución del proyecto PERS Orinoquia.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo General

Identificar las diferentes Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) en el departamento del Meta mediante el análisis de mapas energéticos e información suministrada por las diferentes organizaciones gubernamentales con el objetivo de generar iniciativas que permitan el desarrollo de proyectos que puedan dar solución a las problemáticas energéticas existentes en los sectores aislados del Sistema Interconectado Nacional.

2.3.2. Objetivos Específicos

- Obtener información secundaria sobre proyectos y estudios en el área energética y productiva que hayan sido realizados, se encuentren actualmente en ejecución o que estén proyectados para el departamento del Meta, con base en diferentes fuentes de información como UPME, IPSE, gobernaciones, alcaldías, empresas de energía y universidades públicas o privadas.
- Extraer de la información secundaria datos, mapas, tablas y demás elementos que contribuyan a identificar la oferta disponible de las diferentes fuentes energéticas (energía solar, energía eólica, energía hidráulica y energía de la biomasa residual) en las zonas no interconectadas en el departamento del Meta.
- Promover y concientizar acerca del uso de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER) en las comunidades ZNI presentes en el departamento del Meta.

3. MARCO TEÓRICO

Durante la década de los 90 el servicio de energía eléctrica aún era controlado por empresas del Estado, sin embargo, tras comprobarse malas prácticas financieras, administrativas y operativas, el sector entró en una crisis que se tradujo en un racionamiento a nivel nacional. La solución llegó con la promulgación de la Constitución de 1991 en donde se determinó que el servicio podría ser prestado por particulares y el papel del Estado sería el de ejercer control y regulación, a fin de asegurar un servicio eficiente capaz de mejorar la calidad de vida de la población.

Posteriormente se dio la reestructuración del Ministerio de Minas y Energías (MME), la Comisión Nacional de Energía se convirtió en la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), se creó la Comisión de Regulación de Energía (más tarde Comisión de Regulación de Energía y Gas –CREG) y las leyes 142 y 143 de 1994 (Sandoval, 2004). Sin duda el final del siglo XX e inicio del XXI estuvo marcado por la creación de diferentes instituciones afines a la prestación del servicio de energía eléctrica en Colombia.

Es de resaltar la transformación del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) en Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) y su reestructuración a través del decreto 257 del 2004 a Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), cuya función es la de “identificar, promover, fomentar, desarrollar e implementar soluciones energéticas mediante esquemas empresariales eficientes, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo, procurando la satisfacción de las necesidades energéticas de las ZNI apoyando técnicamente a entidades definidas por el Ministerio de Minas y Energía” (IPSE, 2014).

Estas ZNI se caracterizan por ser de difícil acceso, tener baja densidad poblacional, estar ubicadas a largas distancias de los centros urbanos, con alta dificultad de acceso, gran cantidad de recursos renovables y sus pobladores poseen baja capacidad de pago. Estas características no permiten que sea factible su conexión al SIN por lo cual deben hacer uso de combustibles fósiles a través de plantas diésel, entre otros mecanismos que en definitiva no proveen energía de calidad. Pese a los esfuerzos realizados por la IPSE, el esquema actual aún se enfrenta a problemas como son: sostenibilidad de los proyectos, alto nivel de pobreza, informalidad de trabajo y no cultura de pago (IPSE, Ministerstvo zahraničních věcí České republiky, 2015).

A raíz de esto, la UPME ha ideado la forma de reemplazar los proyectos de electrificación (no involucran procesos que promuevan el progreso de las zonas, ni esquemas empresariales que mantengan los proyectos en el tiempo) por energización, es decir, que “los programas deben evolucionar de un contexto de solo brindar confort parcial a los habitantes de estas zonas al llevar la luz eléctrica, a un esquema que les permita apalancar su propio desarrollo económico” (UPME, Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica, 2014). A esta revolucionaria idea se le otorgó el nombre de

Planes de Energización Rural Sostenible (PERS) y su prueba piloto fue realizada en el departamento de Nariño.

Estos “planes parten de un análisis regional y tienen en cuenta los aspectos más relevantes en emprendimiento, productividad y energización, para poder establecer una política pública energética que vaya en sintonía con el entorno y facilite la identificación, formulación y estructuración de proyectos integrales y sostenibles en un periodo mínimo de 15 años, que además de generar energía, apoyen el crecimiento y el desarrollo de las comunidades rurales de las regiones objetivo” (UPME & USAID, Guía para elaboración de un plan de energización rural sostenible, 2015).

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1. ENERGÍA

La energía de un sistema está definida como la cantidad de trabajo que dicho sistema es capaz de producir. El ser humano requiere energía para realizar sus actividades vitales y productivas. La energía se presenta en la naturaleza de diferentes formas, como por ejemplo: la energía cinética, que está asociada al movimiento; la energía potencial, que está relacionada con la ubicación relativa entre objetos dentro de un sistema; energía eléctrica, que está asociada al movimiento de electrones; la energía calórica o energía en forma de calor, entre otras (Esteve Gómez, 2011).

En cuanto a las fuentes de energía disponibles en la naturaleza, estas pueden ser clasificadas de acuerdo con su origen como renovables y no renovables, y por uso como Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) y Fuentes convencionales de energía.

Las energías renovables son aquellas que se provienen de recursos que están relacionados con los ciclos naturales del planeta, haciendo que se disponga del recurso de manera permanente. Se han clasificado en seis grupos principales: energía solar, energía eólica, energía de la biomasa, energía hidráulica, energía de los océanos y energía geotérmica. Por otra parte, las energías no renovables son aquellas que se encuentran en depósitos en la naturaleza y cuyas reservas se agotan a medida que se utilizan. Incluyen el carbón, el petróleo y el gas natural, también son conocidos como combustibles fósiles (UPME & MINMINAS, Energías renovables: descripción, tecnologías y usos finales, 2003).

Las Fuentes No Convencionales de Energía –FNCE- o fuentes de energía renovables son aquellas que no provienen de los fósiles e incluyen el viento, el sol, la energía almacenada como energía intentada en el aire (aerotérmica), debajo de la superficie de la tierra (geotérmica) y en el agua (hidrotérmica), la energía de los océanos, la hidráulica, la biomasa, los gases producidos en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales, y los biogases (Narváz Rincón, 2010). Finalmente, las Fuentes Convencionales de Energía son aquellas altamente usadas en un determinado país, están conformadas por los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas).

4.2. SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

Colombia presenta dos zonas energéticas, la primera corresponde al Sistema Interconectado Nacional (SIN) compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios (Artículo 11 Ley 143 de 1994) y la segunda es conocida como Zonas No Interconectadas (ZN), de acuerdo con el Artículo 11 de la Ley 143 de 1994 son aquellas áreas geográficas en donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional –SIN-. Se caracterizan por ser lugares de difícil acceso,

a largas distancias de los centros urbanos; carecen de infraestructura física y no cuentan con vías de acceso apropiadas. Son zonas de alta importancia ecológica; se caracteriza por su riqueza de recursos naturales y gran biodiversidad; encontramos allí la mayor parte de las reservas y parques naturales del país. Los servicios públicos son escasos y deficientes; carecen de servicios básicos como energía, acueducto y alcantarillado, y presentan dificultades para acceder a la educación, la salud, el agua potable y la comunicación (Esteve Gómez, 2011).

4.3. POTENCIA

La potencia es una indicación de cuanto trabajo (conversión de energía de una forma a otra) puede efectuarse en una cantidad específica de tiempo, esto es, una tasa de trabajo realizado. Como la energía convertida se mide en Joules (J) y el tiempo en segundos (s), la potencia se mide en Joules/segundo. La unidad eléctrica de medición para la potencia es el watt(W), definido por: (Boylestad, 2004).

$$1 \text{ watt}(W) = 1 \frac{\text{joules}}{\text{segundo}} \left(\frac{J}{s}\right)$$

4.4. PERS

Los Planes de Energización Rural Sostenibles –PERS- nacen a partir del reconocimiento de una problemática asociada a la expansión de la cobertura de energía eléctrica en Colombia, su principal objetivo es identificar las necesidades de energía en las localidades rurales, establecer la demanda y suministro actual de energía, determinar las fuentes locales que puedan ser aprovechadas para satisfacer las necesidades identificadas y estructurar y elaborar proyectos integrales que sean sostenibles a corto, mediano y largo plazo. Además, permitirá crear políticas públicas para fortalecer la productividad, el desarrollo empresarial comunitario y de esta manera elevar la calidad de vida de las personas (MINMINAS, UPME, & USAID, Guía para elaboración de un Plan de Energización Rural Sostenible, 2015).

Los PERS aplican una estrategia cuyo eje fundamental es garantizar la sostenibilidad económica, ambiental, social y tecnológica. Esto significa que los planes deben estar diseñados de tal forma que garanticen su rentabilidad financiera y económica, su impacto sobre el medio ambiente sea mínimo, promoviendo en lo posible el uso de energía renovables sin afectar el entorno socioeconómico de la región de forma negativa, debe favorecer a la población local a través de su inclusión en los proyectos, las tecnologías usadas deben ser eficientes y que su operación pueda ser realizada con la capacitación adecuada del recurso humano local (MINMINAS, UPME, & USAID, Guía para elaboración de un Plan de Energización Rural Sostenible, 2015).

4.5. SUBREGIONES DEL DEPARTAMENTO DEL META

De acuerdo con la ordenanza 851 de 2014 el departamento del Meta se organiza en seis subregiones; su conformación se hizo a partir de los municipios vecinos que comparten

características sociales, económicas y ambientales, en virtud de las cuales trabajan mancomunadamente a efectos de planificar su desarrollo y gestionar recursos dirigidos primordialmente a solucionar problemas comunes a los municipios que la integran.

A continuación, se presentan las subregiones y los municipios que forman parte en cada una de ellas:

Subregión Alto Ariari Centro: Acacías, Castilla la Nueva, Cubarral, El Dorado, Guamal y San Carlos de Guaroa.

Subregión Ariari: El Castillo, Fuente de Oro, Granada, Lejanías, Puerto Lleras, San Juan de Arama y San Martín.

Subregión Bajo Ariari Sur: Mapiripán, Puerto Concordia y Puerto Rico.

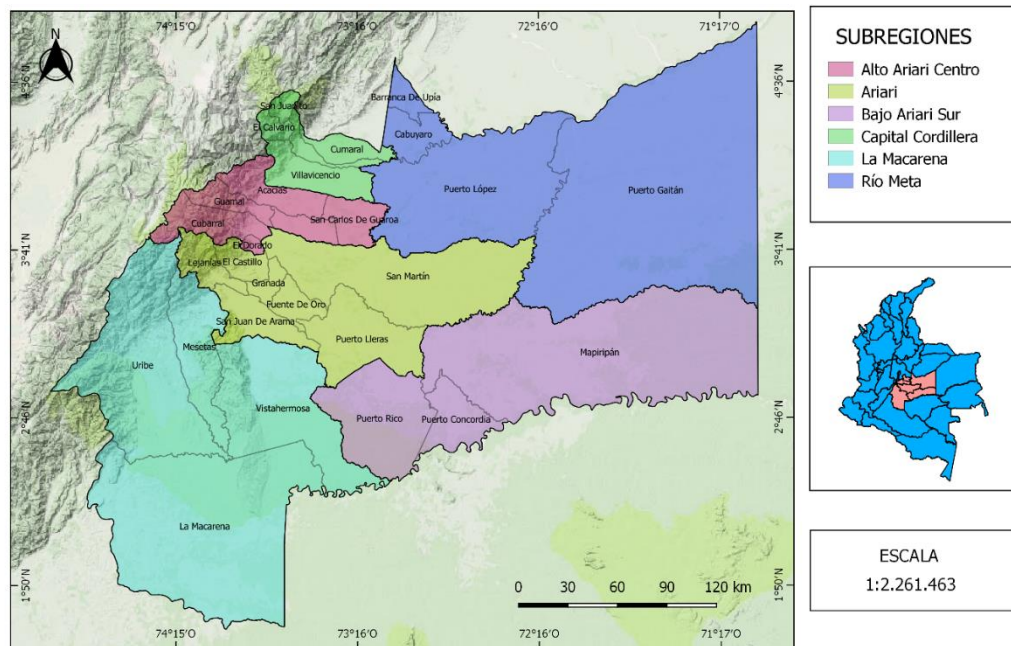
Subregión Capital Cordillera: Cumaral, El Calvario, Restrepo, San Juanito y Villavicencio.

Subregión La Macarena: La Macarena, Mesetas, Uribe y Vista Hermosa.

Subregión Río Meta: Cabuyaro, Barranca de Upía, Puerto Gaitán y Puerto López.

Para un mejor entendimiento, en la *Figura 1* se observa la ubicación geográfica de cada una de las subregiones que conforman el departamento del Meta.

Figura 1. Subregiones del departamento del Meta



Fuente. Elaboración propia

4.6. ENTIDADES RELACIONADAS CON LAS ENERGIAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN COLOMBIA

El presente trabajo de grado se realiza gracias a la información secundaria recolectada y suministrada digitalmente en sus plataformas online por entidades asociadas con las energías renovables no convencionales en Colombia. De estas entidades se requiere solo

la información del departamento del Meta relacionada con la energía solar, la energía eólica, la energía de biomasa residual agrícola, pecuaria y forestal, y la energía hidráulica.

Los principales elementos de información que permitieron identificar el potencial energético en cada uno de los cuatro tipos de energía aprovechable a tratar en el presente trabajo de grado son: bases de datos, mapas, tablas e histogramas. Los institutos consulados fueron la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), AGRONET y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

El primero tiene como función la planificación integral del desarrollo y aprovechamiento de los recursos minero energéticos, a través de estudios, análisis y proyecciones, brindando información para la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones de sus grupos de interés, con criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental. El segundo tiene como objetivo principal promover soluciones energéticas sostenibles en las comunidades de las ZNI como factor de equidad con criterios de eficacia, eficiencia y efectividad impulsando así el desarrollo económico, social y productivo de dichas comunidades. El tercero se encarga de generar conocimiento, producir información confiable, consistente y oportuna, sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales y la toma de decisiones por parte de los sectores público, privado y la ciudadanía en general. El cuarto es un portal de información y comunicación del sector agropecuario de Colombia, aporta datos a otras unidades de gestión de información sectorial nacional y regional, tales como instituciones, entidades gubernamentales, centros de investigación, universidades y proyectos de campo que estén relacionadas con las diversas actividades agropecuarias. Finalmente, el ICA contribuye al desarrollo del sector agropecuario, pesquero y acuícola, mediante la prevención, vigilancia y control de los riesgos sanitarios, biológicos y químicos para los animales y vegetales, con el fin de proteger la salud de las personas, los animales y las plantas, asegurando así las condiciones básicas del comercio.

Además, se obtuvo información de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) cuya función es apoyar a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible y servir como plataforma principal para la cooperación internacional, repositorio de políticas, tecnología, recursos, finanzas y conocimiento sobre energías renovables. IRENA promueve la adaptación y el uso de todas las formas de energía renovable en la búsqueda del desarrollo sostenible, el acceso a la energía, la seguridad energética, el crecimiento económico y la reducción en las emisiones de carbono.

5. METODOLOGIA

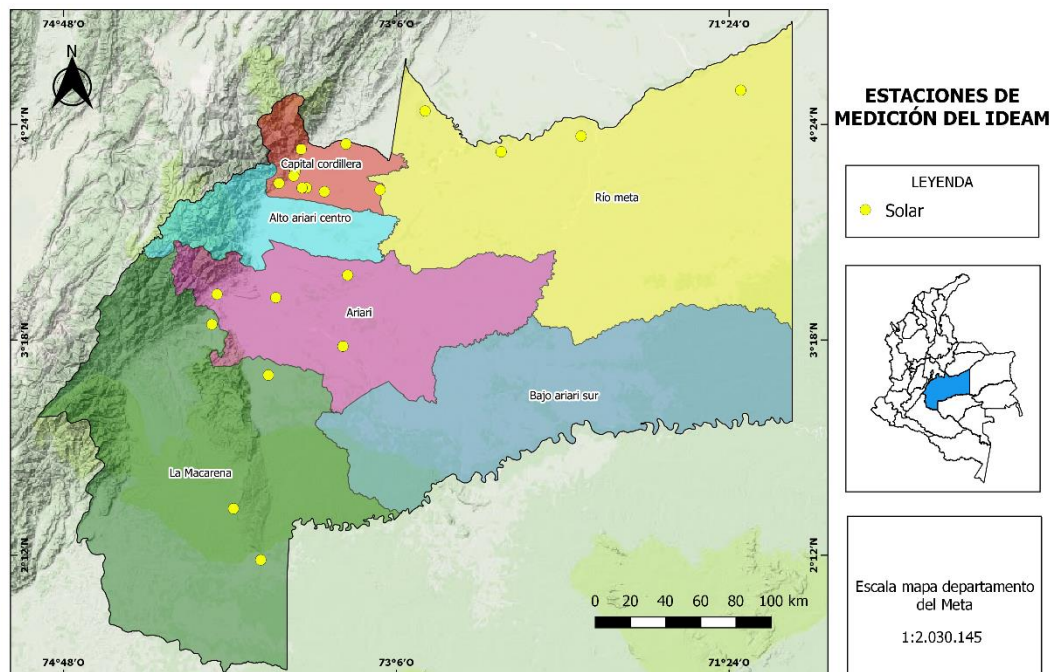
La identificación de las FNCER en el departamento del Meta y el posterior análisis de su potencial se realizó a partir de las etapas que se describen a continuación:

- La primera etapa consistió en realizar un reconocimiento de las veredas y municipios que conforman el departamento y que son objeto de análisis, sin embargo, a raíz de las numerosas subdivisiones territoriales se hizo uso de la ordenanza 851 de 2014 que permite disminuir su clasificación a 6 subregiones que comparten características sociales, económicas y ambientales.
- En la segunda etapa se realizó la consolidación de una base de datos a partir de información recopilada de entidades nacionales como la UPME, IPSE, IDEAM, AGRONET, ICA e internacionales como el IRENA.
- La tercera etapa consistió en realizar cálculos, tablas, mapas, gráficos y demás elementos visuales que permiten una mejor comprensión de la disponibilidad del recurso hídrico, eólico, solar y de biomasa en el departamento.
- En la cuarta etapa se desarrolla el análisis, comparación y/o descripción de los elementos elaborados a partir de información secundaria.
- Finalmente, en la quinta etapa se presenta un resumen del potencial energético identificado y se resaltan las subregiones donde es viable la instalación de proyectos de energización.

6. ENERGÍA SOLAR

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) tiene instalados en el departamento del Meta 149 estaciones de medición de las cuales 20 suministran información acerca del potencial energético solar. En la *Figura 2* se observa su ubicación en las diferentes subregiones.

Figura 2. Estaciones de medición del IDEAM



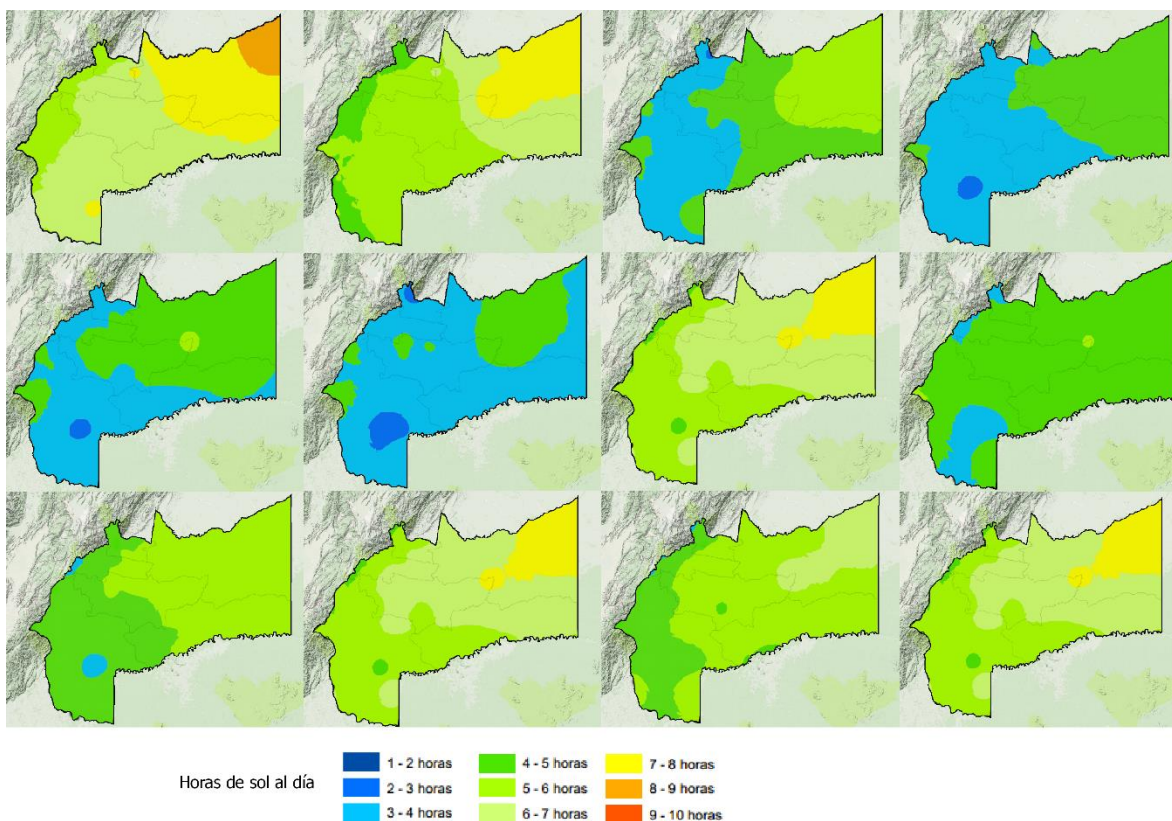
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Catálogo de estaciones del IDEAM.

Las estaciones que servirán de fuente de información para el presente análisis son de categoría climatológica ordinaria, climatológica principal, agrometeorológica, sinóptica principal y sinóptica secundaria, estas permiten conocer las horas de brillo solar –HBS e irradiación solar horizontal –GHI.

6.1. ANÁLISIS DE HORAS DE BRILLO SOLAR (HBS)

El IDEAM posee un atlas interactivo que entre otras cosas, provee mapas mensuales de brillo solar del 2014, estos se ilustran en la *Figura 3* y permiten conocer que durante los meses de septiembre a febrero se presenta la mayor cantidad de horas de brillo solar, especialmente en la subregión Río Meta cuyo promedio alcanza un máximo de 8 a 9 horas durante el mes de enero. En los meses de marzo a junio, y en la zona que cubre las subregiones Capital Cordillera, Alto Ariari Sur, Ariari y La Macarena las HBS son bastante bajas y oscilan en un rango de 2h a 4h.

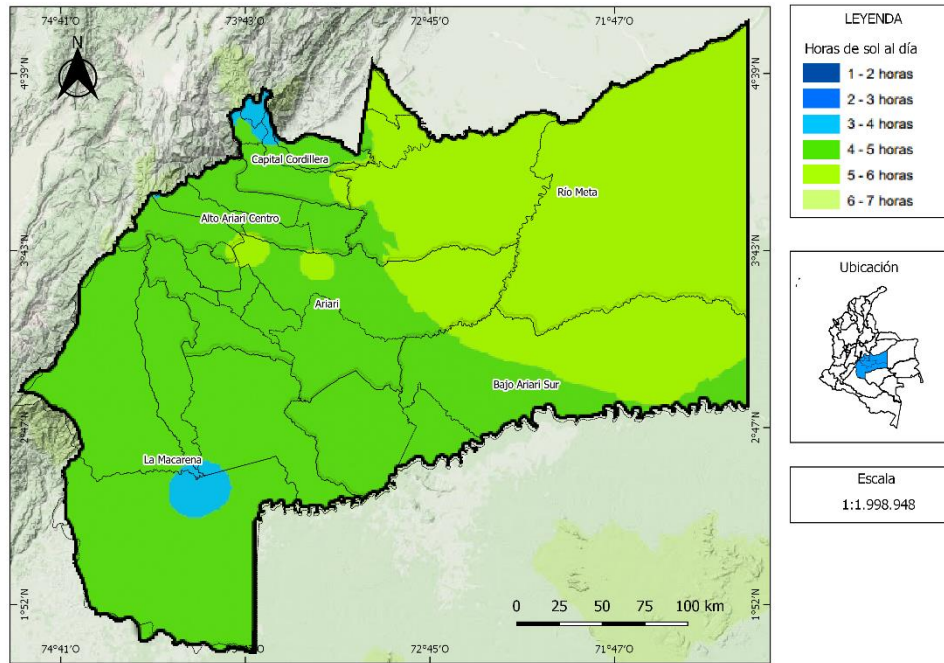
Figura 3. Horas de brillo solar



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM 2014.

Por otra parte, el mapa de brillo solar anual de la *Figura 4* permite observar que en el oriente del departamento del Meta, en lo que corresponde las subregiones Río Meta y oriente de Ariari y Bajo Ariari Sur, se presenta el mayor potencial con un promedio de 5h a 6h. Caso contrario ocurre en San Juanito y el centro del municipio de La Macarena, en donde debido a la presencia de Parques Nacionales Naturales la luminosidad que llega a la tierra es menor. El resto del territorio recibe de 4h a 5h de brillo solar.

Figura 4. Horas de brillo solar anual

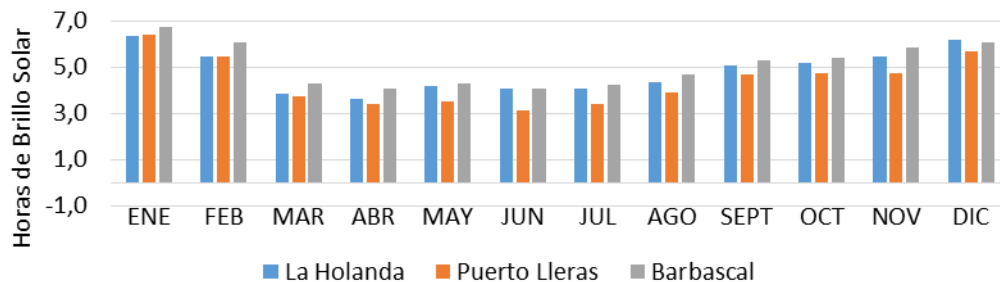


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo del IDEAM 2014.

6.1.1. Subregión Ariari

El IDEAM cuenta con un promedio mensual multianual de las horas de brillo solar de las estaciones “La Holanda” (1983-2015), “Puerto Lleras” (1990-2015) y “Barbascal” (1992-2012). De acuerdo con la *Gráfica 1*, pese a que las mediciones son realizadas en diferentes periodos de tiempo, se observa un comportamiento similar en los meses de septiembre a febrero cuyas horas de brillo solar están por encima de 5, destacándose el mes de enero con promedios de 6.3h a 6.7h. Por otra parte, entre marzo y agosto éstas disminuyen notablemente, especialmente en el municipio de Puerto Lleras, cuyo registro durante el mes de junio es de solo 3.1h.

Gráfica 1. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión Ariari

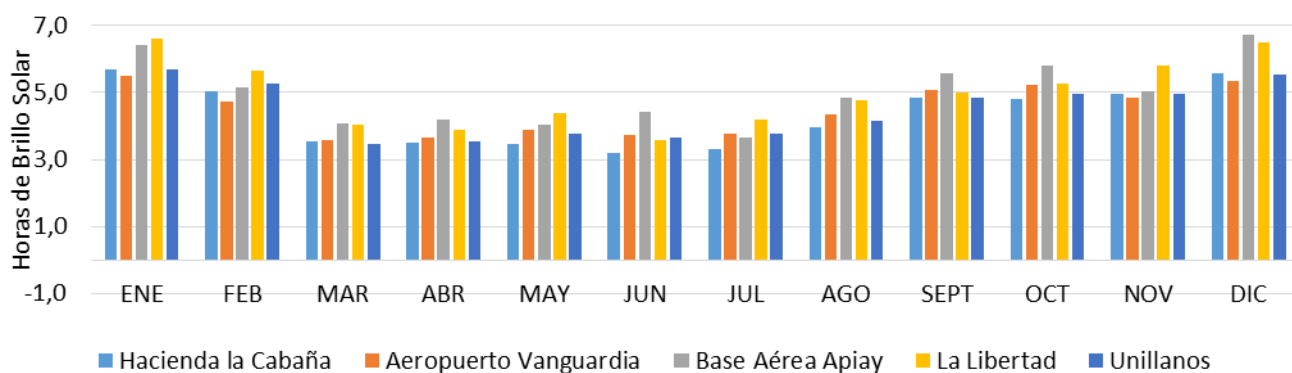


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.1.2. Subregión Capital Cordillera

En la subregión Capital Cordillera hay 5 estaciones que suministran información de horas de brillo solar, estas se observan en la *Gráfica 2*. Al igual que en el análisis anterior, la mayor cantidad de HBS ocurren durante los meses de septiembre a febrero y disminuyen entre marzo a julio. Sin embargo, las mediciones fueron realizadas en diferentes periodos, los datos de la estación “Hacienda la Cabaña” corresponden a los años comprendidos entre 1982 y 2015, los de la estación “Aeropuerto Vanguardia” van desde 1979 a 2015, los de la estación “Base Aéreo Apiay” van desde 1984 a 1999, los de “La Libertad” van desde 1979 a 2015 y finalmente los de “Unillanos” desde 1983 a 2015. Se destacan las mediciones obtenidas por estas dos últimas estaciones, con horas de brillo solar que oscilan en un rango de 3.7h a 6.7h.

Gráfica 2. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión Capital Cordillera

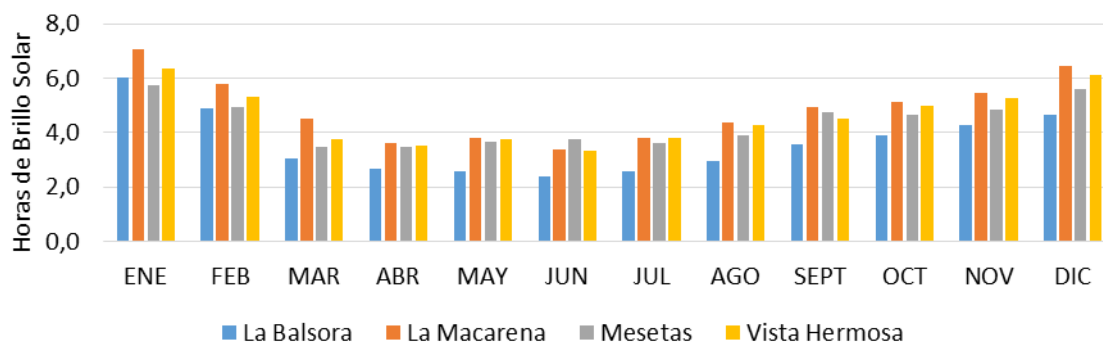


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.1.3. Subregión La Macarena

En la subregión La Macarena durante el mes de enero se presentan la mayor cantidad de horas de brillo solar con un rango de 5.7h a 7.1h, caso contrario ocurre durante junio cuyo promedio se encuentra por debajo de 3.8h, esto se observa en la *Gráfica 3*. Además, se destacan las mediciones de la estación “La Balsora” como las más bajas del año (3.6h).

Gráfica 3. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión La Macarena



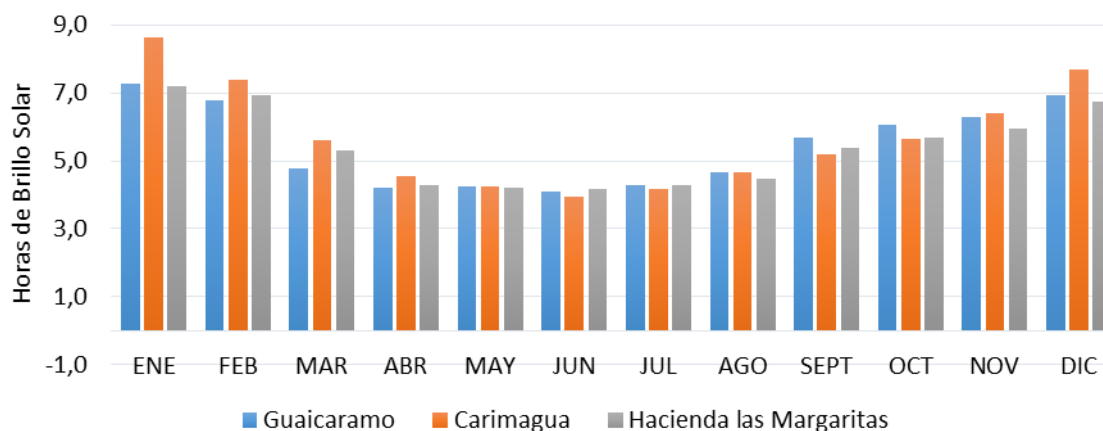
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.1.4. Subregión Río Meta

En la comprendido entre 1998 a 2015.

Gráfica 4 se observa que durante los meses de septiembre a marzo las horas de brillo solar son superiores a 5, siendo enero el de mayor potencial. Se destaca además, la estación “Carimagua” ubicada en el municipio de Puerto Gaitán como la de mayor promedio en el departamento del Meta con un rango de 4h a 8.6h. Estos datos de distribución mensual de HBS corresponden a un periodo de tiempo comprendido entre 1998 a 2015.

Gráfica 4. Promedio mensual multianual de HBS en la Subregión Río Meta



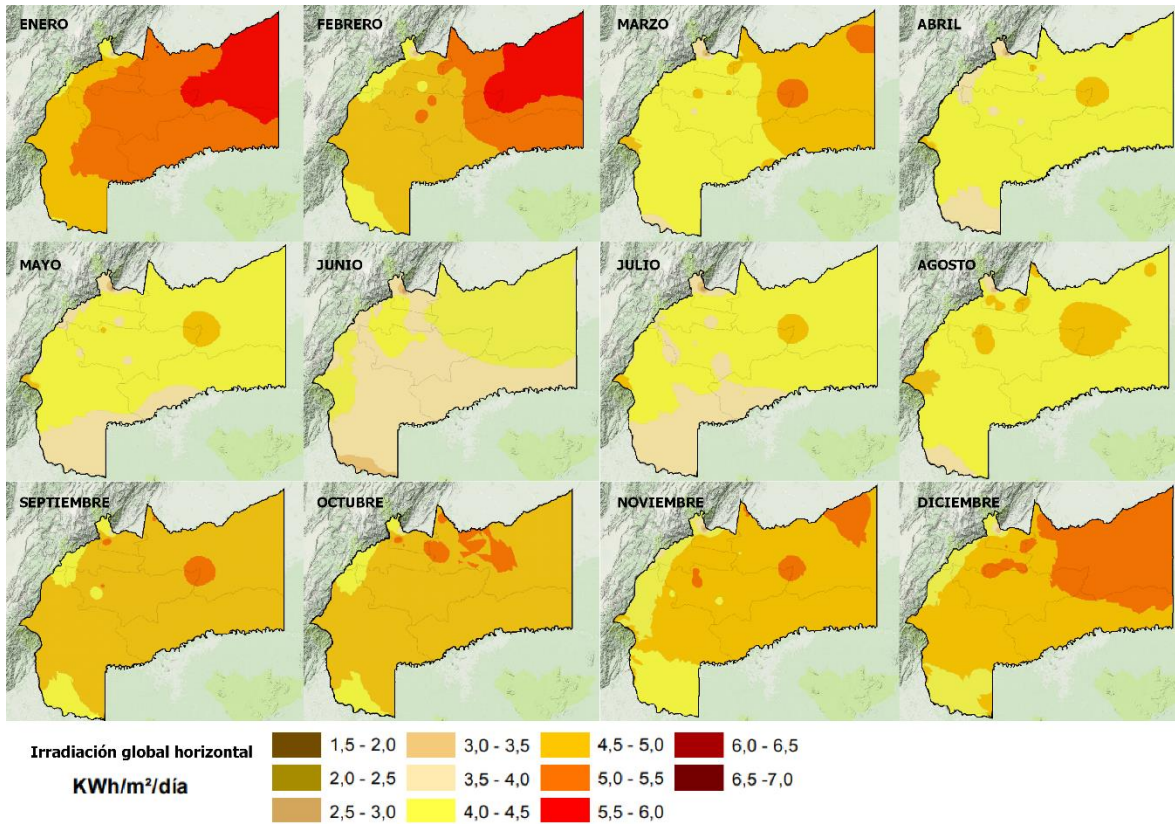
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.2. ANÁLISIS DE IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL HORIZONTAL (HGI)

En el presente análisis se muestra el comportamiento de la radiación acumulada diaria promedio mensual en el departamento del Meta. De acuerdo con la

Figura 5 la mayor irradiación ocurre durante los meses de diciembre a febrero, con un promedio de 4.0 KWh/m² a 6.0 KWh/m², siendo el oriente del departamento la zona de mayor potencial. Caso contrario ocurre entre abril y agosto, en donde predomina una irradiación de 4 KWh/m² a 4.5 KWh/m², e incluso en el suroccidente desciende a un rango de 3 KWh/m² a 4 KWh/m².

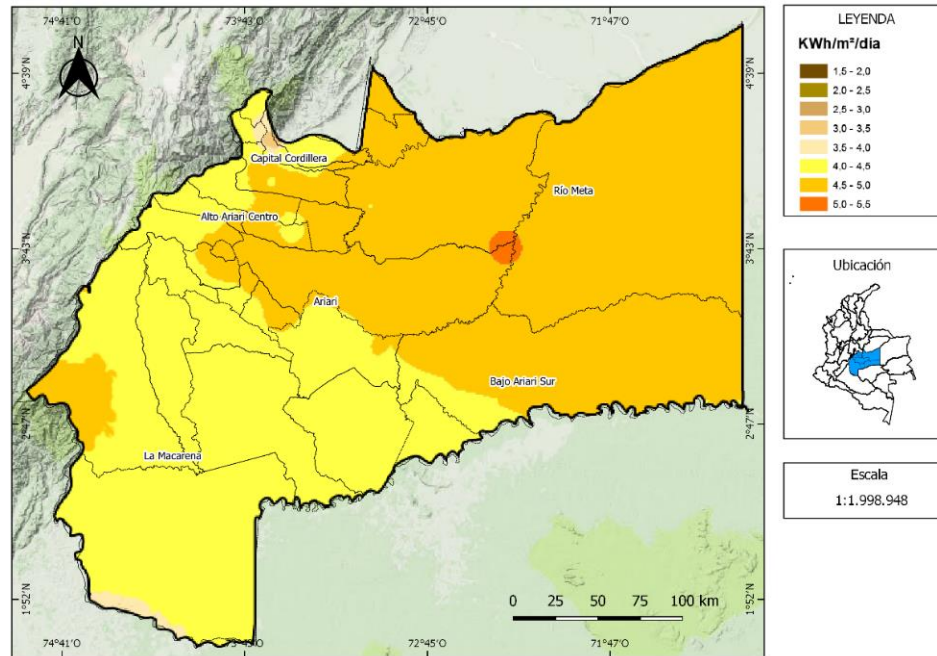
Figura 5. Irradiación global horizontal



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM 2014.

Con respecto a la irradiación global media diaria anual, se observa que el mayor promedio es alcanzado por una pequeña parte comprendida entre los municipios de Puerto López, San Martín y Puerto Gaitán con un valor de 5 KWh/m² a 5.5 KWh/m². Sin embargo, en mayor proporción el centro-orienté del departamento se encuentra entre 4.5 KWh/m² y 5 KWh/m². Por otra parte, en el occidente del municipio de Restrepo y veredas aledañas se registra la menor irradiación con un rango de 3 KWh/m² a 4 KWh/m². Ver *Figura 6*.

Figura 6. Irradiación global horizontal medio diario anual

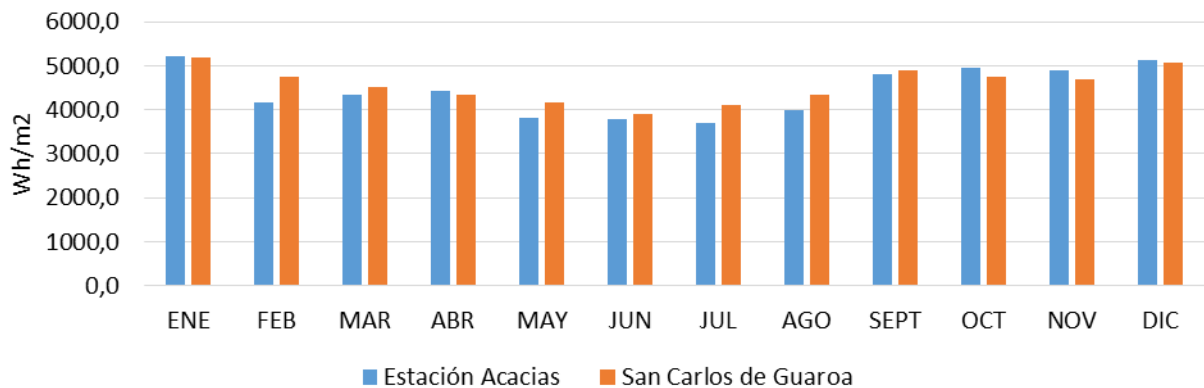


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM 2014.

1.1.1. Subregión Alto Ariari Centro

En la Subregión Alto Ariari Centro se dispone de información suministrada por las estaciones de medición “Estación Acacias” y “San Carlos de Guaroa”, en la Gráfica 5 se observa que la irradiación solar es mayor en los meses de septiembre a febrero, oscilando en un rango de 4000 Wh/m² a 5000 Wh/m² y entre marzo y agosto disminuye a un mínimo de 3711.5 Wh/m².

Gráfica 5. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Alto Ariari Centro

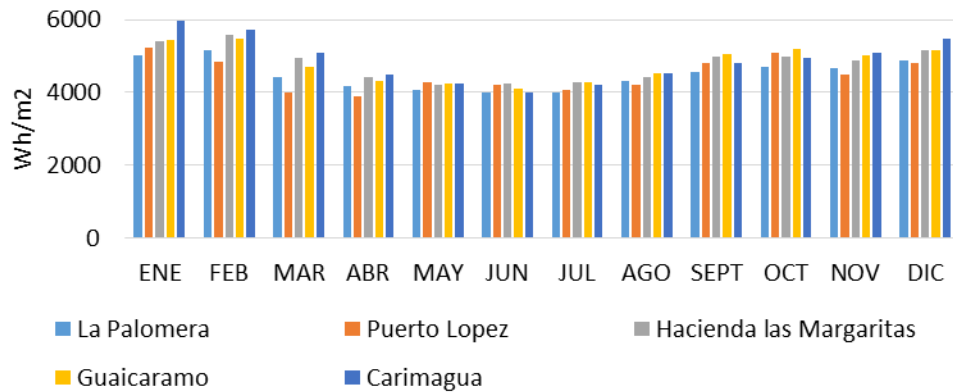


Fuente. Elaboración propia con datos tomados de FEDEARROZ

1.1.2. Subregión Río Meta

La irradiación global horizontal en la subregión Ariari es mayor durante los meses de septiembre a febrero y menor entre marzo y agosto, como se observa en la *Gráfica 6*. Se destaca la estación “La Palomera” ubicada en el municipio de Puerto López con un registro que va de 4015.7 Wh/m² a 5985.9 Wh/m².

Gráfica 6. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Ariari

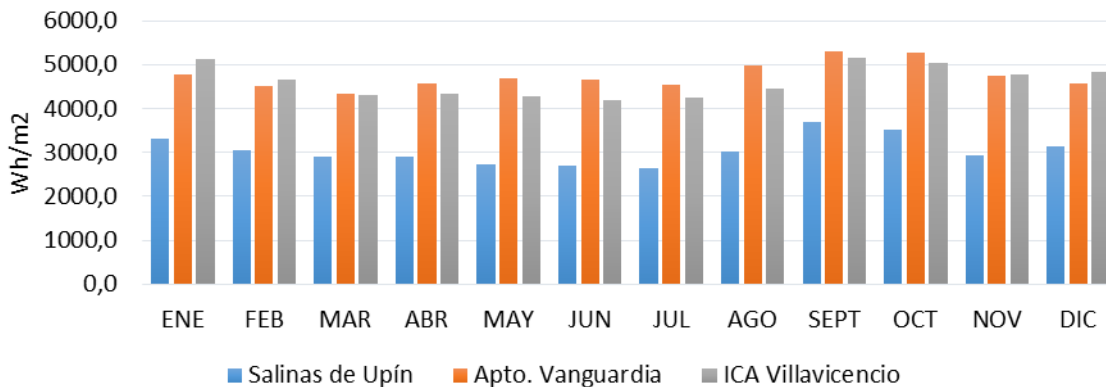


Fuente. Elaboración propia con datos tomados de las estaciones de medición del IDEAM y FEDEARROZ

6.2.1. Subregión Capital Cordillera

El promedio mensual multianual de irradiación solar horizontal en la subregión Capital Cordillera presenta un comportamiento homogéneo en las estaciones “Aeropuerto Vanguardia” (1990-2001) e “ICA Villavicencio” (2007-2014), siendo los meses de mayor potencial septiembre y octubre, con un promedio superior a 5000 Wh/m². Con respecto a la estación “Salinas de Upín” (2008-2014), ubicada en el municipio de Restrepo la mayoría de sus mediciones se encuentran por debajo de 3000 Wh/m² como se observa en la *Gráfica 7*.

Gráfica 7. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Capital Cordillera

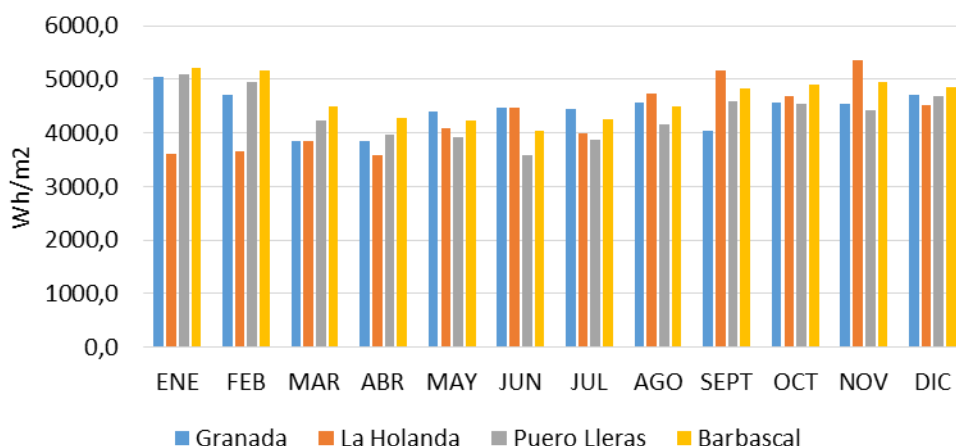


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del IDEAM.

6.2.2. Subregión Ariari

En la subregión Río Meta el promedio mensual de irradiación solar es mayor a 3000 Wh/m² de acuerdo con la *Gráfica 8*. En las estaciones de medición “Granada” (2011-2014), “La Holanda” (2000) y “Barbascal”, la mayor irradiación se presenta durante los primeros y últimos meses del año, y en la estación “Puero Lleras” esto ocurre de manera ascendente.

Gráfica 8. Promedio mensual multianual de GHI en la Subregión Río Meta



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del IDEAM.

6.3. ANÁLISIS DE NUBOSIDAD MENSUAL MULTIANUAL

En el IDEAM, algunas estaciones de medición como son: climatológica principal, sinóptica principal, sinóptica suplementaria, entre otras, suministran información acerca de la nubosidad o cantidad de nubes presentes en la atmosfera, este término se expresa en octas y su clasificación se observa en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Escala de nubosidad

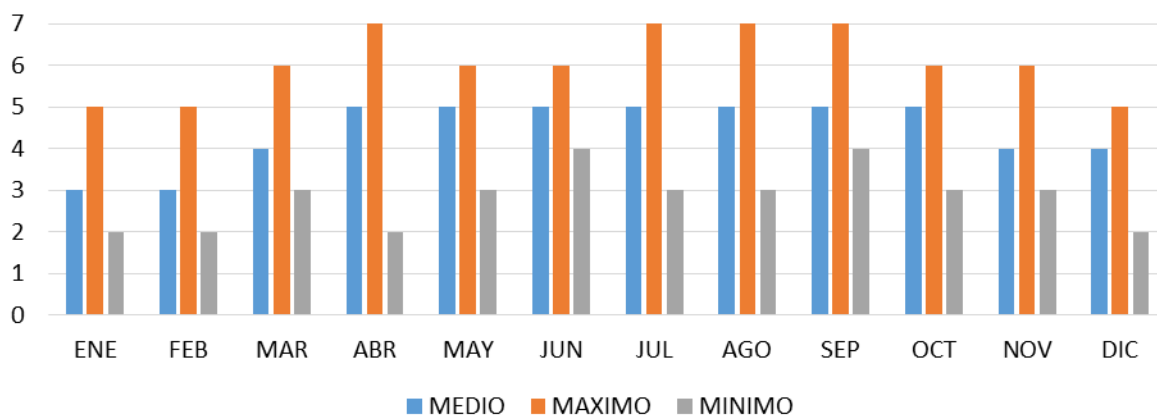
Octas	Nubosidad
1 - 2	Cielo despejado
3 - 4	Nubes dispersas
5 - 7	Nublado
8	Cielo cubierto

Fuente. Elaboración propia con datos tomados del *Manual de Claves del IDEAM*

6.3.1. Subregión Ariari

En la *Gráfica 9* se presenta el promedio multianual mínimo, medio y máximo de los datos obtenidos por la estación Carimagua, de acuerdo con éste, durante los meses de abril a octubre hay 5 octas que indican un cielo nublado, mientras que durante los demás meses las octas corresponden a un diagnóstico de nubes dispersas, esto con respecto al valor medio. Aun con el valor máximo el cielo continúa siendo nublado.

Gráfica 9. Promedio multianual de nubosidad - Estación Carimagua



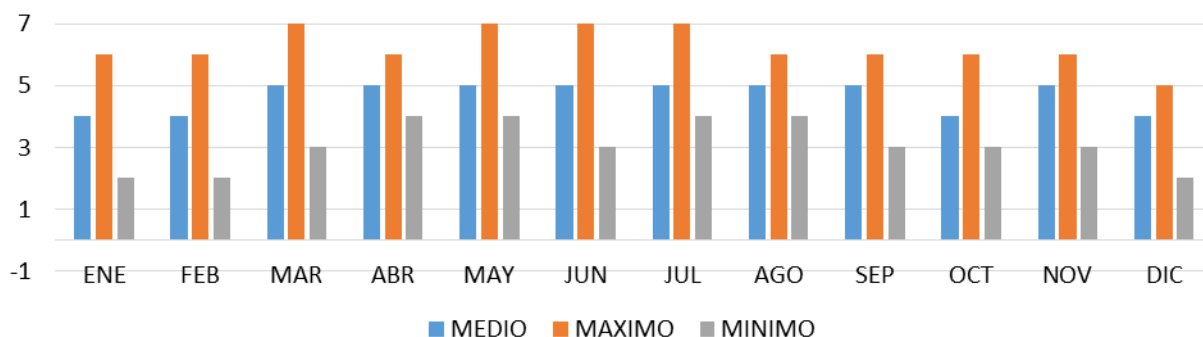
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.3.2. Subregión Capital Cordillera

En la estación la Libertad, el promedio de valores máximos arroja un resultado de entre 6 a 7 octas, es decir que el cielo se encuentra nublado durante todo el año, esta misma situación se presenta con los valores medios, a excepción de los meses enero, febrero, octubre y diciembre, cuyo resultado arroja nubes dispersas. Ver

Gráfica 10.

Gráfica 10. Promedio multianual de nubosidad - Estación La Libertad

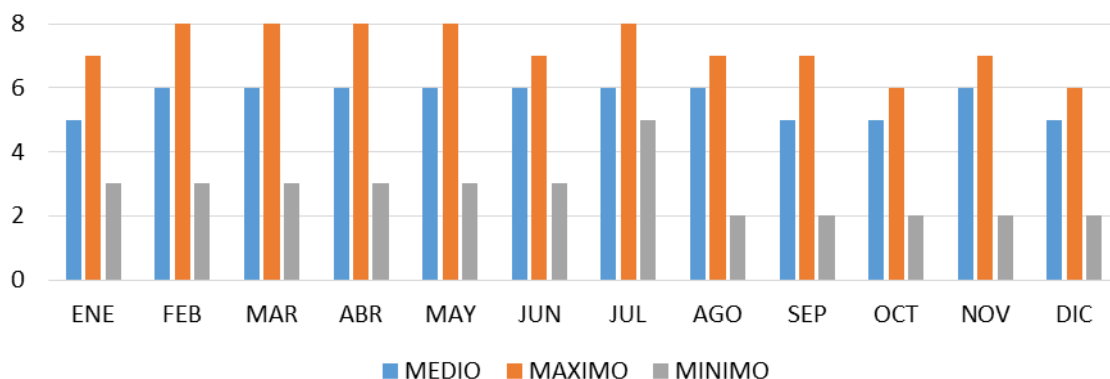


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

De la subregión Capital Cordillera se conocen además los datos de la estación Salinas de Upín como se observa en la

Gráfica 11, de acuerdo con los valores medio y máximo, durante el año se observa un cielo completamente nublado, sin embargo, con los valores mínimos, entre enero y junio hay nubes dispersas, julio es nublado y finalmente entre agosto y diciembre se encuentra despejado.

Gráfica 11. Promedio multianual de nubosidad - Estación Salinas de Upín

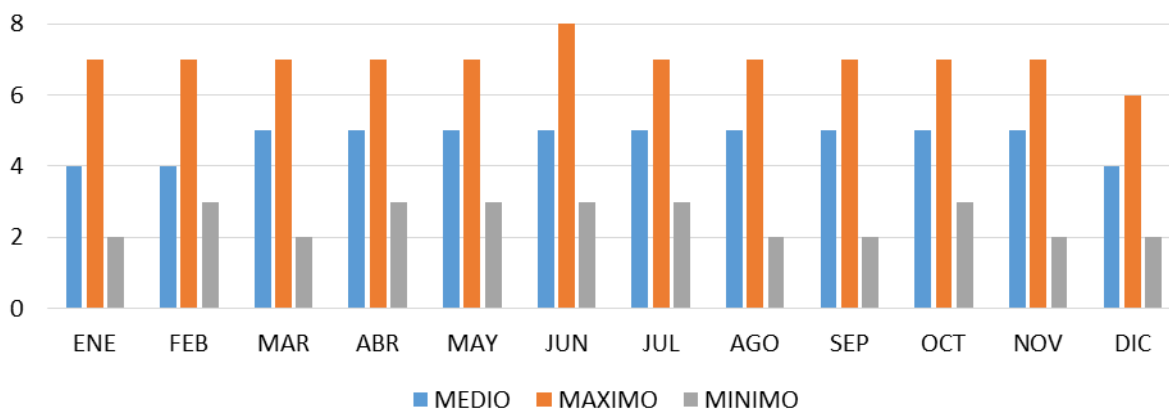


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.3.3. Subregión La Macarena

En la subregión la Macarena el valor mínimo de la nubosidad indica que durante los meses de enero, marzo, agosto, septiembre, noviembre y diciembre el cielo permanece despejado. Caso contrario ocurre con los valores medio y máximo, que en su mayoría reflejan un cielo nublado e incluso cubierto, como ocurre en junio, ver Gráfica 12.

Gráfica 12. Promedio multianual de nubosidad - Estación La Macarena



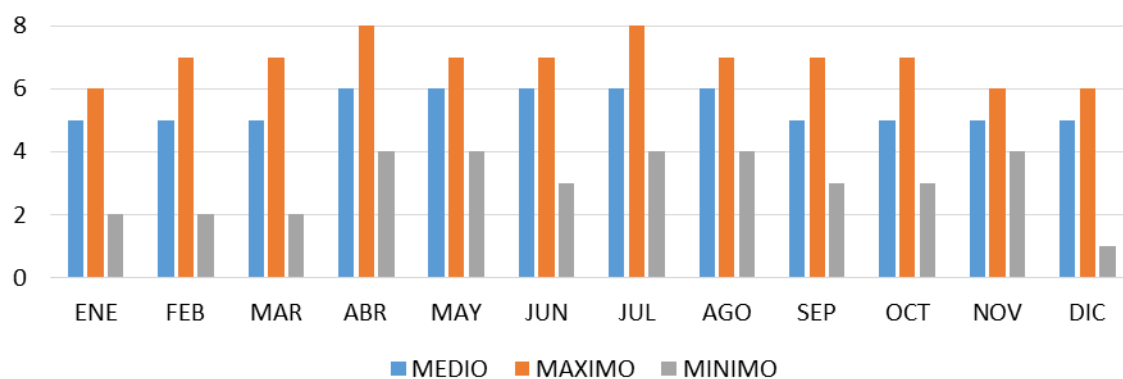
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

6.3.4. Subregión Río Meta

En la

Gráfica 13 se observa que el promedio multianual de los valores medios y máximos se encuentra por encima de 5 octas lo cual indica cielos nublados e incluso durante abril y julio el promedio es de 8 octas, indicando cielo cubierto. En cuanto a los valores mínimos permiten distinguir enero, febrero y diciembre como los meses con cielo despejado.

Gráfica 13. Promedio multianual de nubosidad - Estación Barranca de Upía



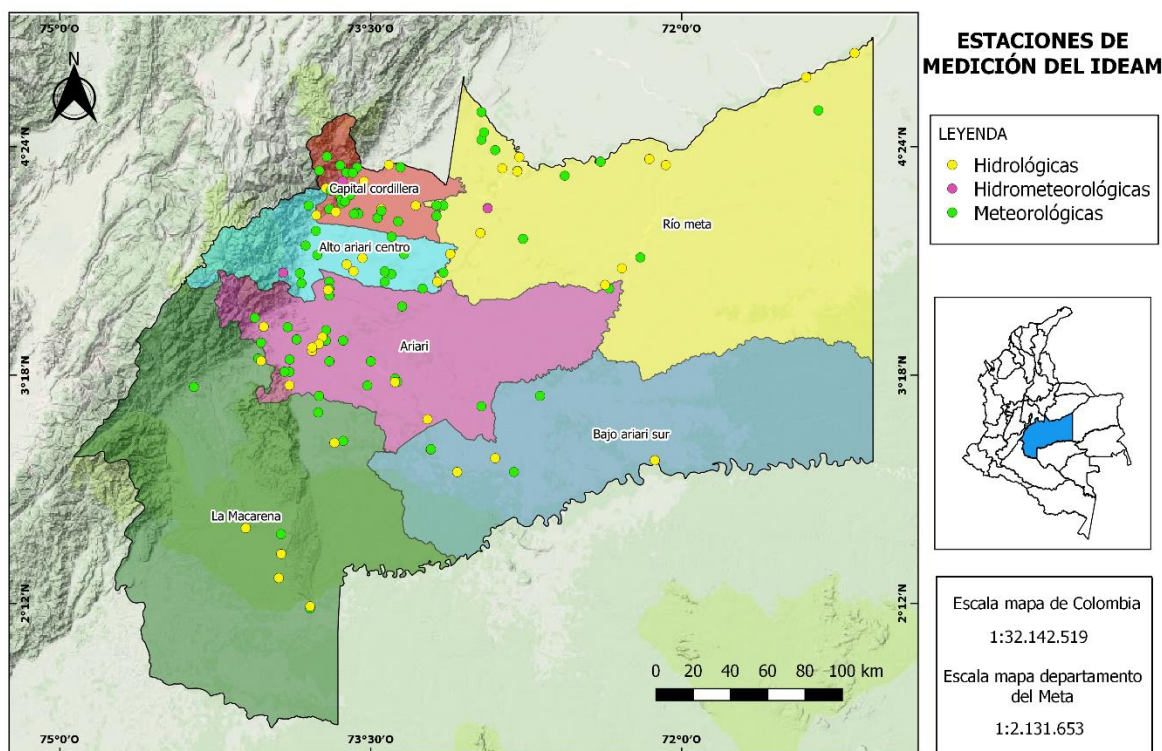
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM

7. ENERGÍA HIDRÁULICA

En el departamento del Meta el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha instalado 298 estaciones meteorológicas de las cuales 149 se encuentran activas, ver

Figura 7. Estas se clasifican en hidrológicas (HID), hidrometeorológicas (HDM) y meteorológicas (MET), y aportan información sobre el potencial hidroenergético de la región.

Figura 7. Estaciones de medición del IDEAM



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

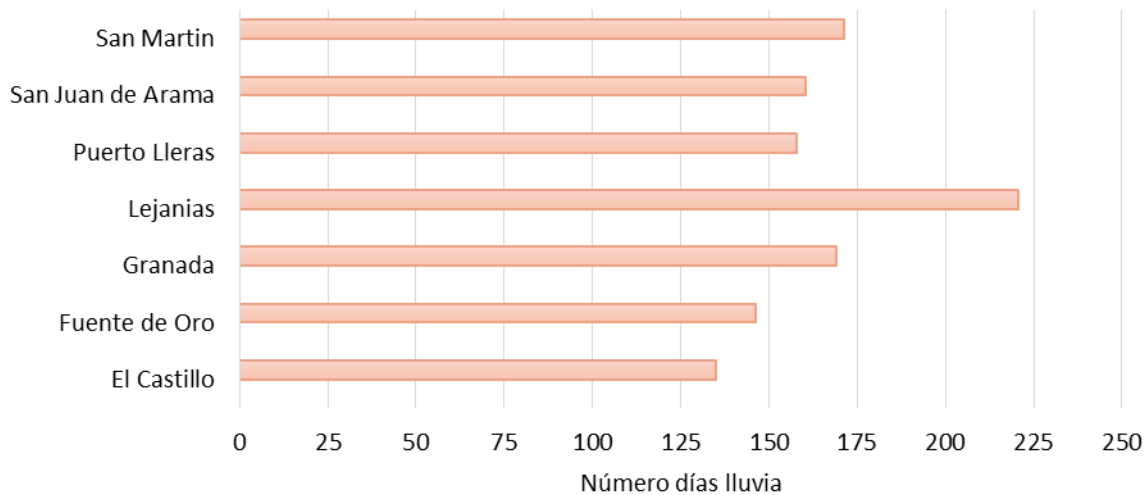
Estas estaciones de medición pertenecen a las categorías: climatológica ordinaria (CO), climatológica principal (CP), agrometeorológica (AM), pluviográfica (PG), sinóptica principal (SP), sinóptica suplementaria (SS), pluviométrica (PM), limnimétrica (LM), limnigráfica (LG) e hidrología automática (HA).

7.1. PRECIPITACIÓN

7.1.1. Precipitación subregión Ariari

El IDEAM, gracias a las estaciones de medición instaladas en el departamento, ha elaborado un documento que contiene el promedio multianual del número de días con lluvia para cada uno de los municipios, en la *Gráfica 14* se observa que la mayor precipitación de la subregión Ariari se presenta en el municipio de Lejanías con un promedio de 221 días, seguido por San Martín, Granada, Puerto Lleras y San Juan de Arama, cuyo valor supera los 150 días. Por otra parte, El Castillo y Fuente de Oro presentan la menor cantidad de días con lluvia de la subregión.

Gráfica 14. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Ariari

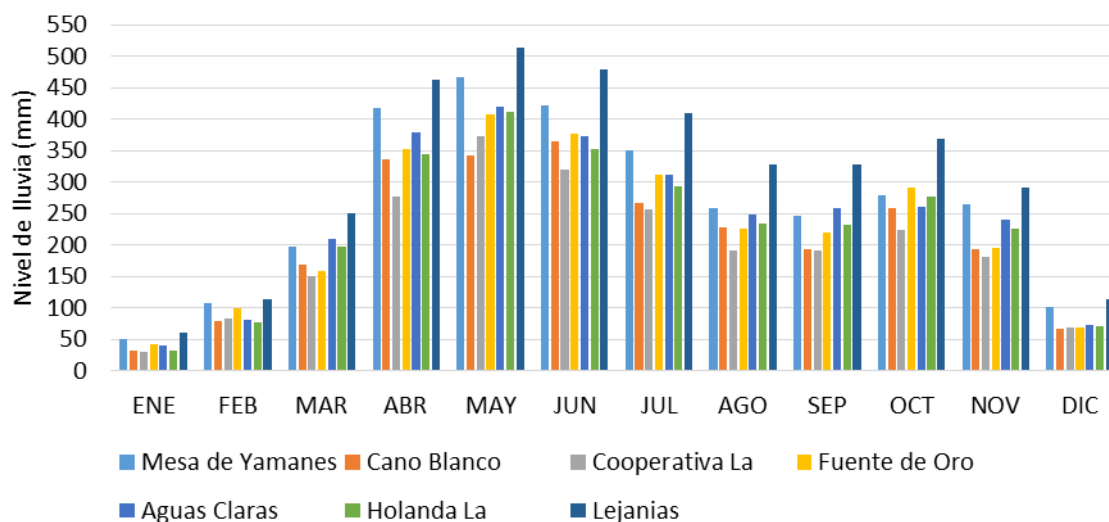


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

En la *Gráfica 15* se observa la precipitación multianual de los municipios de El Castillo, Fuente de Oro, Granada y Lejanías. “Mesa de Yames” es una estación pluviométrica del municipio El Castillo; “Caño Blanco”, “Cooperativa La” y “Fuente de Oro”, son respectivamente pluviográfica, climatológica ordinaria y pluviométrica, y pertenecen a Fuente de Oro; “Aguas Claras” es de categoría pluviográfica y “Holanda La” es climatológica ordinaria, estas dos se ubican en Granada y finalmente “Lejanías” es una estación climatológica ordinaria que pertenece al municipio del mismo nombre.

De acuerdo con el promedio multianual de los años 1981 a 2010, la mayor cantidad de lluvias ocurren durante el mes de mayo, con un rango que oscila entre 341.7mm y 513.8mm. Por el contrario, durante enero las lluvias descienden notablemente hasta los 29.1mm y los 60.1mm. Es de resaltar que la mayor precipitación a lo largo del año ocurre en El Castillo y Lejanías.

Gráfica 15. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Ariari

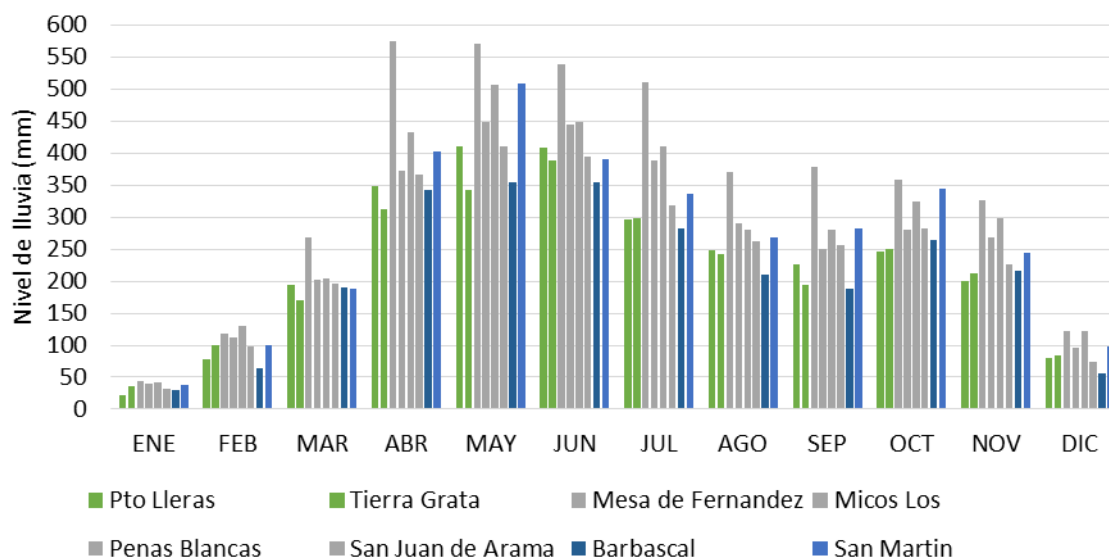


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

En la Gráfica 16 se presentan las estaciones de medición de los municipios de Puerto Lleras, San Juan de Arama y San Martín. La estación climatológica ordinaria “Pto Lleras” y la pluviométrica “Tierra Grata” pertenecen a Puerto Lleras; las estaciones “Mesa de Fernandez”, “Micos Los” y “Penas Blancas” son de categoría pluviométrica, y “San Juan de Arama” es pluviográfica, están ubicadas en el municipio de San Juan de Arama; por último “Barbasal” y “San Martín” son climatológica ordinaria y pluviométrica respectivamente.

La precipitación de estos municipios oscila entre 29.6mm y 573.3mm. El mes más lluvioso es nuevamente mayo, especialmente en el municipio de San Juan de Arama cuyas estaciones registran lluvias entre 409.9mm y 570.6mm.

Gráfica 16. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Ariari

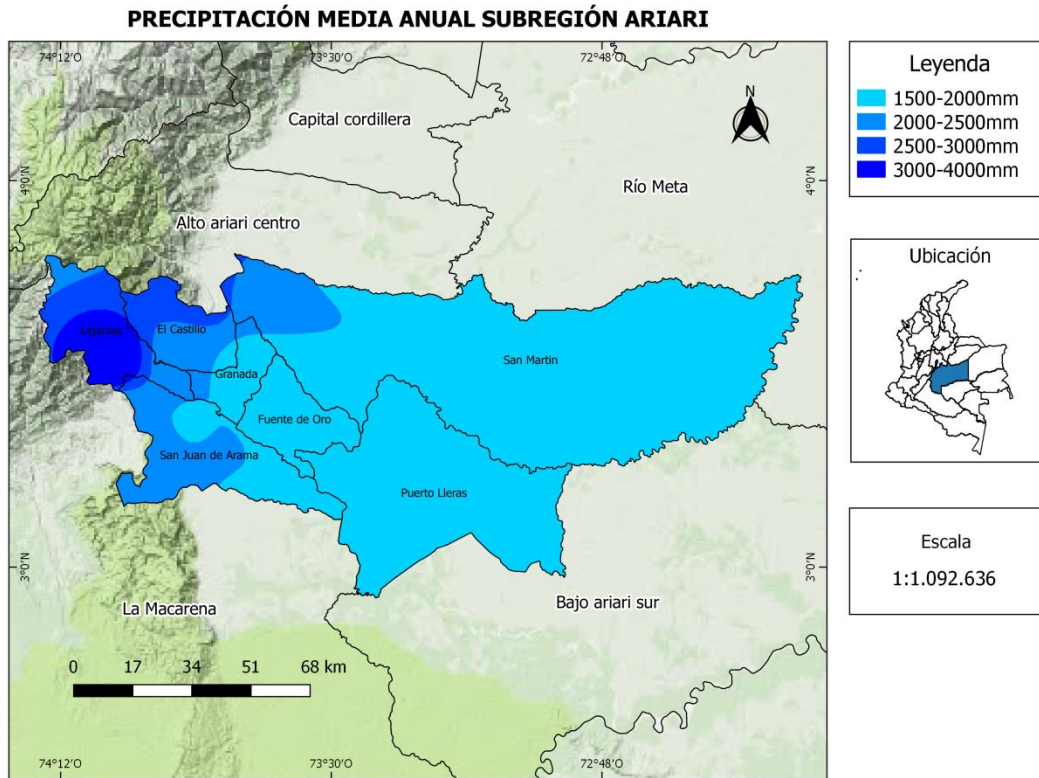


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

De acuerdo con la *Gráfica 15* y *Gráfica 16*, la subregión presenta un régimen monomodal con un periodo de lluvias en los meses de abril a noviembre y una época de sequía entre diciembre y febrero. Se destaca mayo como el mes más lluvioso del año y enero como el más seco.

Además del análisis multianual 1981-2010, el IDEAM ofrece un registro de la precipitación media anual del 2012, en la *Figura 8* se observan los valores obtenidos. De acuerdo con esto, las lluvias oscilan entre 1500mm a 4000mm, las zonas más lluviosas corresponden a los municipios de Lejanías, El Castillo y parte de San Juan de Arama, Granada y San Martin debido a su cercanía con la cordillera Oriental, en el resto del territorio la precipitación oscila entre 1500mm a 2000mm.

Figura 8. Precipitación media anual subregión Ariari

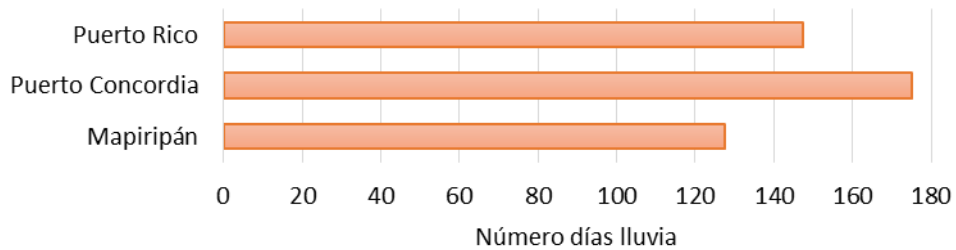


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas - SIAC. IDEAM.

7.1.2. Precipitación subregión Bajo Ariari Sur

En la subregión Bajo Ariari Sur de acuerdo con los promedios otorgados por el IDEAM, el número de días con lluvia supera los 120, siendo Puerto Concordia el municipio más lluvioso con 175 días, ver *Gráfica 17*.

Gráfica 17. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Bajo Ariari Sur



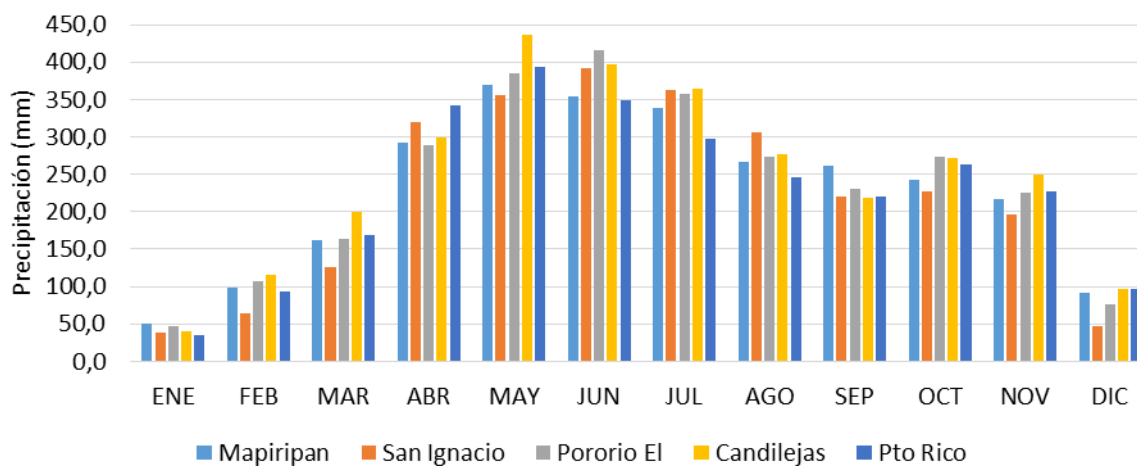
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

En la

Gráfica 18 se presenta la precipitación multianual obtenida gracias a las estaciones pluviométricas instaladas en los diferentes municipios de la subregión. “Mapiripán” y “San Ignacio” están ubicadas al sur del municipio de Mapiripán; “Pororio El” se encuentra en Puerto Concordia y en Puerto Rico se encuentra una estación que recibe el mismo nombre y otra llamada “Candilejas”.

Las lluvias oscilan entre 34.7mm y 435.7mm, se destaca mayo como el mes más lluvioso especialmente en el municipio de Puerto Rico. La subregión describe un régimen de lluvias monododal, con un periodo de lluvias entre abril a noviembre y una temporada de sequía entre diciembre y marzo.

Gráfica 18. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Bajo Ariari Sur



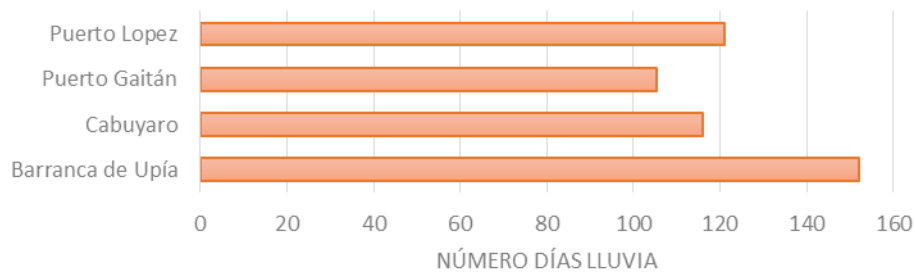
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

7.1.3. Precipitación subregión Rio Meta

En la subregión Rio Meta el número de días con lluvia oscila entre 105 y 152. El mayor número se presenta en el municipio de Barranca de Upía y va descendiendo conforme se aleja de la Cordillera Oriental, siendo Puerto Gaitán el municipio que menor cantidad de días con lluvia presenta, ver

Gráfica 19.

Gráfica 19. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Río Meta

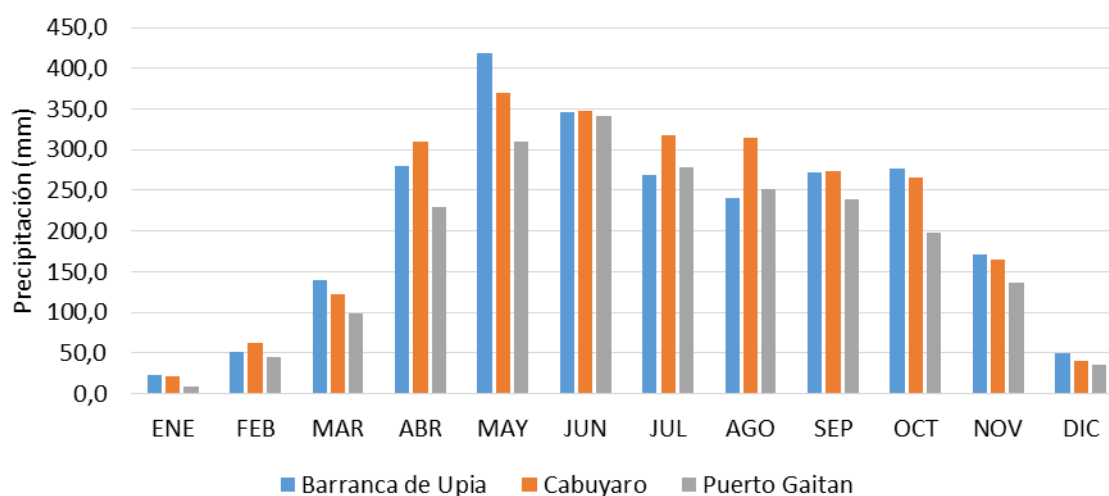


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

Los municipios de Cabuyaro y Puerto Gaitán cuentan con una estación de categoría pluviométrica y Barranca de Upía una climatológica ordinaria. De acuerdo con la

Gráfica 20 la precipitación oscila en un rango de 8mm a 418.4mm, durante el mes de mayo Barranca de Upía alcanza el registro más alto, seguido por Cabuyaro y Puerto Gaitán con 369.1mm y 310.5mm respectivamente. La menor cantidad de lluvias a lo largo del año es registrada por el municipio de Puerto Gaitán, especialmente en el mes de enero.

Gráfica 20. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Rio Meta

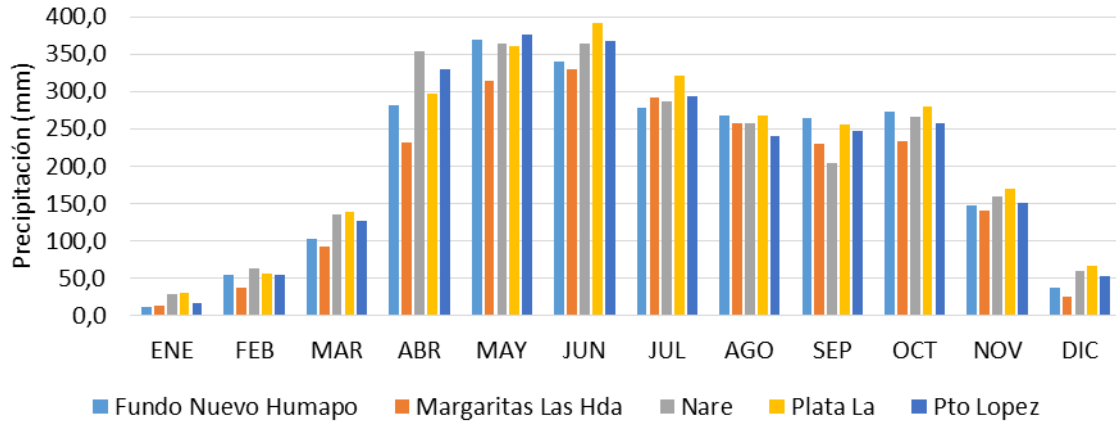


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

En el municipio de Puerto López se encuentran activas 5 estaciones de las cuales 4 son pluviométricas y una es climatológica ordinaria. La mayor cantidad de lluvias se registran durante el mes de junio especialmente en el centro del municipio, como lo demuestra la estación “Plata La” con 391mm y la menor cantidad ocurre al nororiente como lo deja en evidencia la estación “Margarita Las Hda”, ver *Gráfica 21*.

En general la subregión describe un régimen monomodal con un periodo de lluvias y otro de sequía, durante los meses de abril a noviembre y diciembre a marzo, respectivamente.

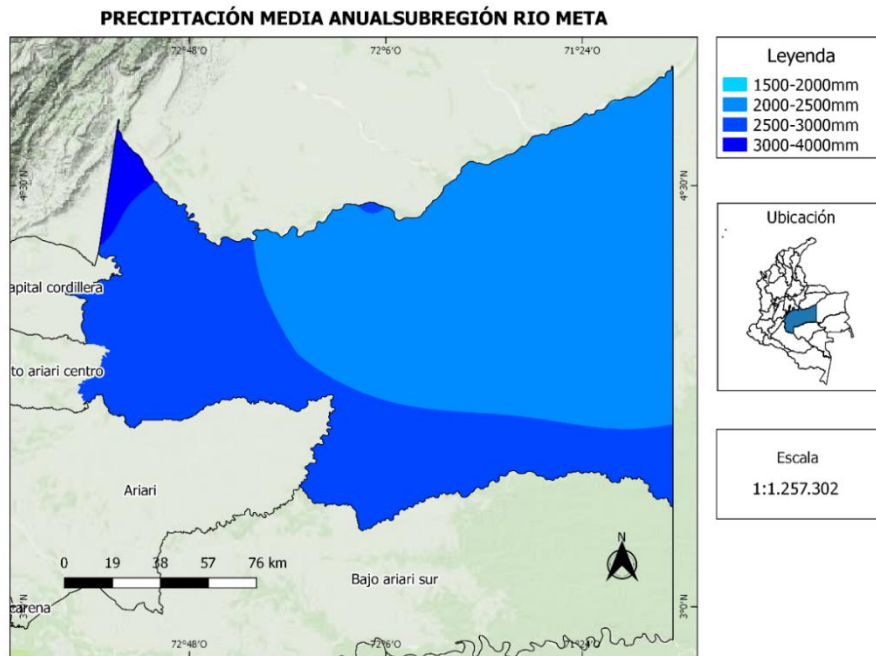
Gráfica 21. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Rio Meta



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

La precipitación media anual presentada en la Figura 9 indica que la mayor cantidad de lluvias se presentan en Barranca de Upía y el occidente de Cabuyaro, con un promedio de 3000mm a 4000mm, seguido por gran parte de Puerto López y el sur de Puerto Gaitán cuya precipitación oscila entre 2500mm a 3000mm, en el resto del territorio disminuye notablemente hasta los valores de 1500mm a 2000mm.

Figura 9. Precipitación media anual subregión Rio Meta

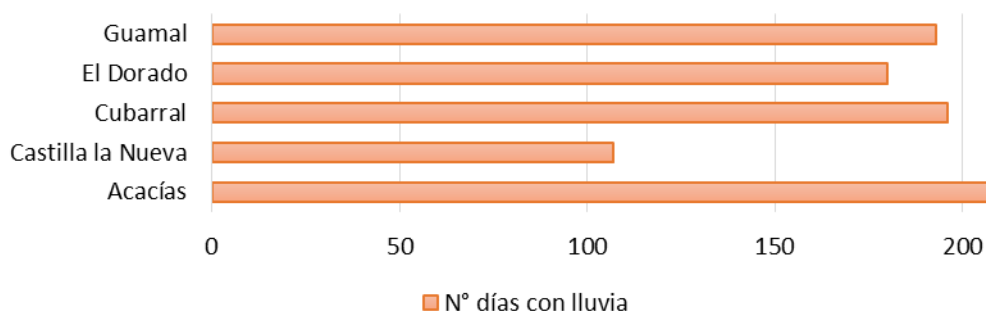


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas - SIAC. IDEAM.

7.1.4. Precipitación subregión Alto Ariari Centro

El promedio climatológico de los años 1981 a 2010 otorgado por el IDEAM permite identificar que en la subregión Alto Ariari Centro el número de días con lluvia superan los 150 días en 4 de sus municipios, sin embargo, en Castilla la Nueva se registra el valor más bajo con apenas 107 días, siendo este uno de los municipios más alejados de la Cordillera Oriental junto con San Carlos de Guaroa, de este último no se tienen registros. Ver *Gráfica 22*.

Gráfica 22. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Alto Ariari Centro



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

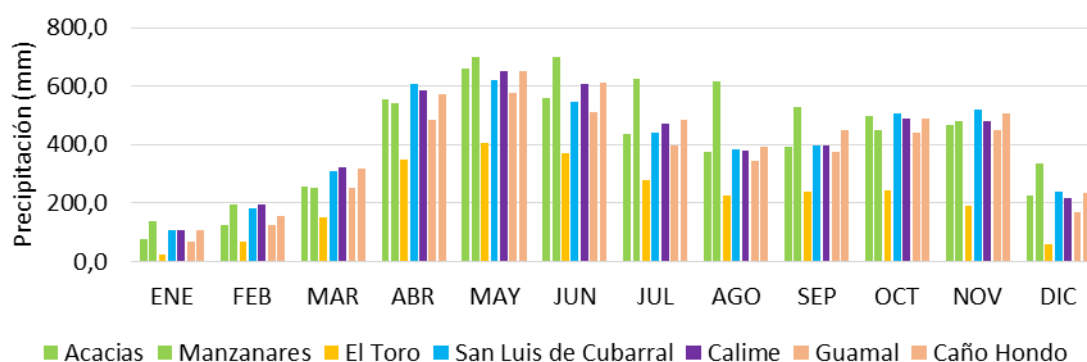
La subregión cuenta con 7 estaciones pluviométricas de las cuales dos, llamadas “Acacias” y “Manzanares”, pertenecen al municipio de Acacias; “El Toro” se encuentra en Castilla la Nueva; “San Luis de Cubarral” se encuentra en el municipio del mismo nombre; la estación “Calime” pertenece a El Dorado; y en Guamal se encuentran “Caño Hondo” y “Guamal”.

La precipitación en la subregión oscila en un rango de 25.5mm a 697.7mm, siendo mayo el mes más lluvioso el mes más lluvioso del año y enero el de mayor sequía. En general el promedio de lluvias es alto en toda la subregión, sin embargo, se observa que en Castilla la Nueva el nivel de lluvias es bajo comparado con el de los demás municipios, especialmente durante el primer mes del año. Ver

primer mes del año. Ver

Gráfica 23.

Gráfica 23. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Alto Ariari Centro

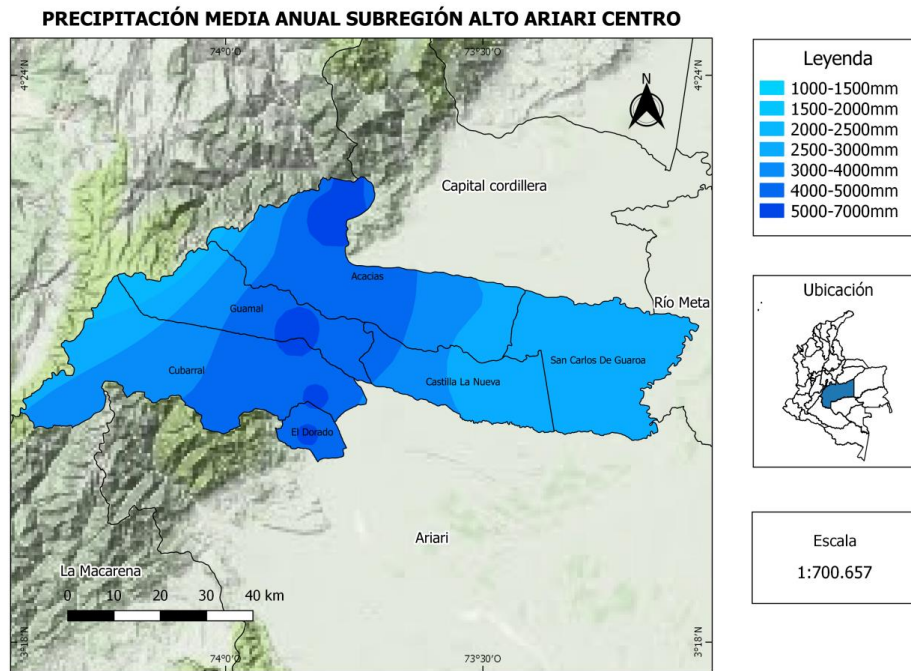


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

De acuerdo con la

Figura 10 la mayor cantidad de lluvias están concentradas en el centro de la subregión, especialmente en las veredas Santa Teresa y el Retiro en Guamal, Sierra Morena en Cubarral y Manzanares, Loma de San Juan, Vista Hermosa y otras, ubicadas al noroccidente del municipio de Acacias. Se observa además que van decreciendo hacia el oriente hasta llegar a un rango que oscila entre 1000mm a 1500mm en San Carlos de Guaroa y el oriente de Castilla la Nueva y Acacias. Esta misma situación se presenta al occidente de la subregión, en la zona correspondiente al páramo Cruz Verde Sumapaz, en donde las lluvias decrecen notablemente hasta llegar incluso a un mínimo de 1000mm.

Figura 10. Precipitación media anual subregión Alto Ariari Centro

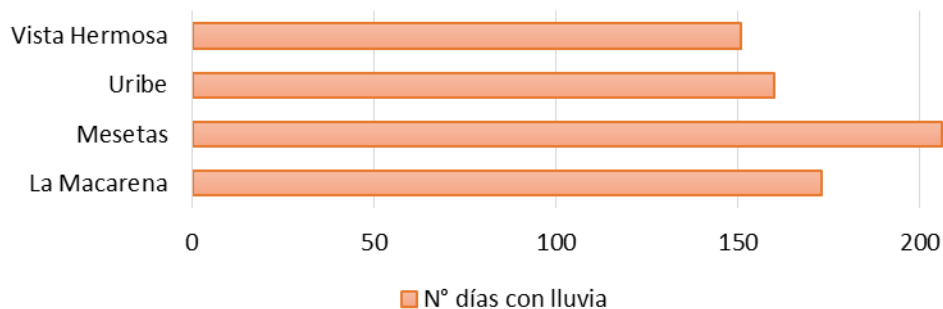


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas - SIAC.IDEAM.

7.1.5. Precipitación subregión La Macarena

De acuerdo con la *Gráfica 24* el número de días con lluvia en la subregión La Macarena oscila entre 151 y 206. El municipio con mayor promedio es Mesetas, seguido por La Macarena, Uribe y Vista Hermosa.

Gráfica 24. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión La Macarena

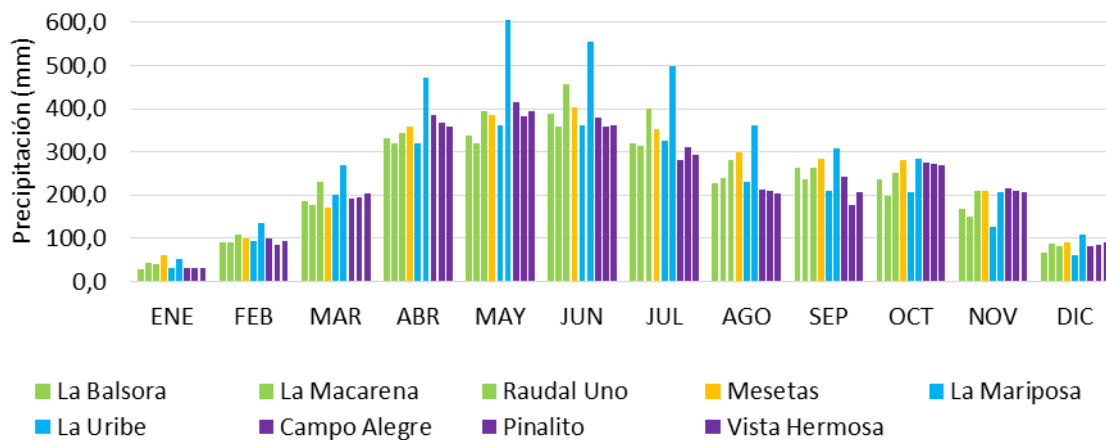


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

En la *Gráfica 25* se observan las estaciones pertenecientes a la subregión y el valor de la precipitación multianual para los años 1981 a 2010. El municipio de La Macarena cuenta con tres estaciones cuyas categorías son climatológica ordinaria, climatológica principal y pluviométrica, éstas son llamadas “La Balsora”, “La Macarena” y “Raudal uno” respectivamente; el municipio de Mesetas posee una estación climatológica ordinaria que recibe el mismo nombre; en la Uribe las estaciones son pluviométricas y reciben los nombres de “La Mariposa” y “La Uribe”; por último, en Vista Hermosa las estaciones “Campo Alegre” y “Pinalito” son pluviométricas y “Vista Hermosa” es climatológica Ordinaria.

La precipitación en La Uribe por su cercanía a la Cordillera Oriental es mucho mayor con respecto a la de los demás municipios, superando incluso durante el mes de mayo los 600mm. En general, la subregión presenta una precipitación que oscila entre 32.5mm y 605.6mm, con un periodo de lluvias en los meses de abril a octubre y uno de sequía entre noviembre y marzo.

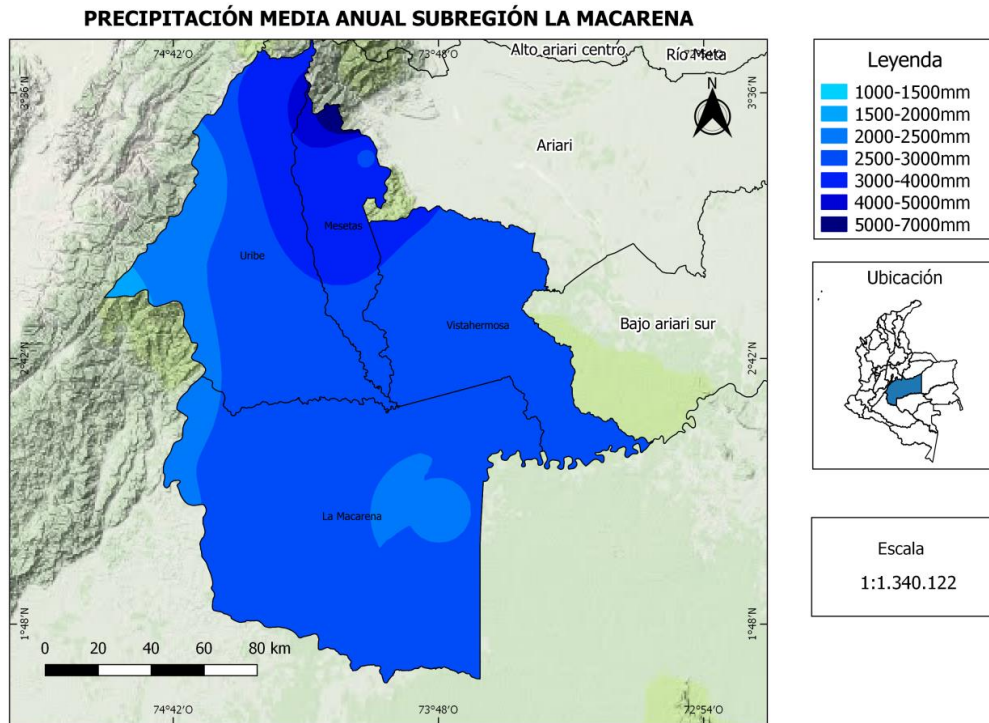
Gráfica 25. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión La Macarena



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

La precipitación media anual de la subregión la Macarena oscila entre 2000mm a 3000mm en gran parte de su territorio, con una pequeña variación al norte del municipio de Mesetas en donde las lluvias alcanzan un promedio de 4000mm a 7000mm, ver *Figura 11*.

Figura 11. Precipitación media anual subregión La Macarena

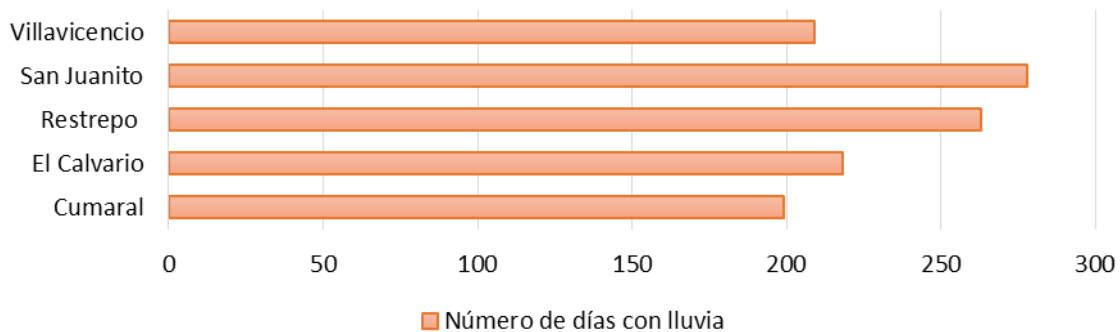


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas - SIAC. IDEAM.

7.1.6. Precipitación en la subregión Capital Cordillera

En la subregión Capital Cordillera el municipio de San Juanito presenta el mayor número de días con lluvia con un total de 278 debido a la presencia de la Cordillera Oriental, seguido por el municipio de Restrepo, El Calvario, Villavicencio y finalmente Cumaral con 199 días, ver Gráfica 26.

Gráfica 26. Promedio multianual 1981-2010 del número de días con lluvia en la subregión Capital Cordillera

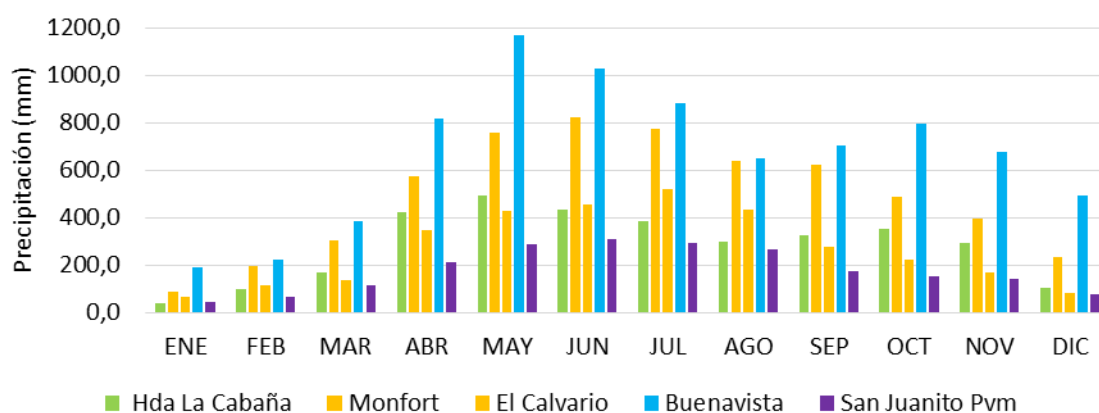


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

El municipio de Cumaral posee una estación climatológica ordinaria llamada “Hda la Cabaña”; El Calvario tiene una pluviográfica que recibe el mismo nombre y una pluviométrica llamada “Monfort”; en Restrepo la estación “Buenavista” es de categoría pluviográfica y finalmente en San Juanito la estación recibe el mismo nombre y es pluviométrica.

En la *Gráfica 27* se observa que, pese a que en el municipio de San Juanito se presenta el mayor número de días con lluvia, este solo alcanza 307.5mm durante el mes de junio, obteniendo el promedio de precipitación más bajo durante el año con respecto a los demás municipios. La mayor cantidad de lluvias se presentan durante el mes de mayo, especialmente en Restrepo, cuyo promedio alcanza 1169.1mm,

Gráfica 27. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Capital Cordillera

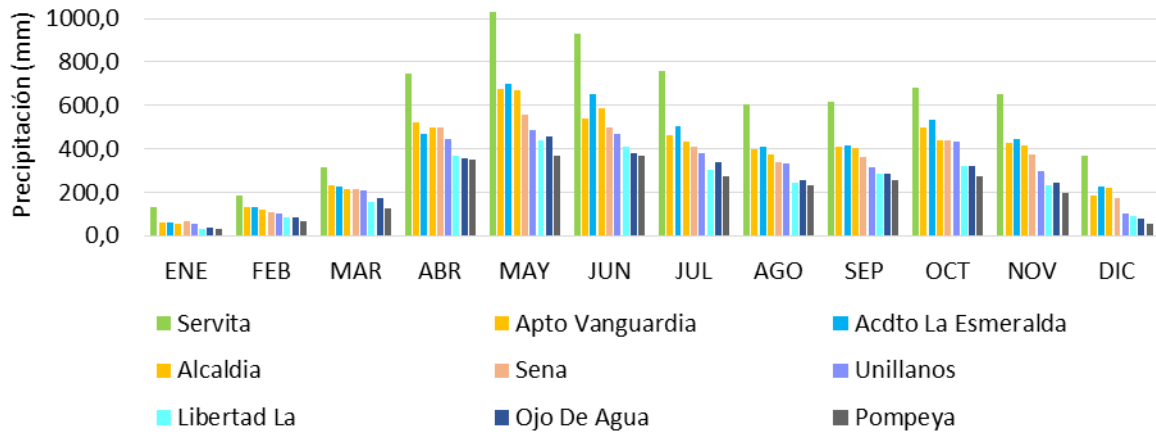


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

En el municipio de Villavicencio hay 9 estaciones activas, estas indican que el promedio de la precipitación oscila entre 29.3mm y 1031.7mm. La mayor cantidad de lluvias se registran en la vereda Servita al suroccidente de la subregión, ver *Gráfica 28*.

En general se observa un régimen monomodal con un periodo de lluvias comprendido en los meses de abril a noviembre y un periodo de sequía entre diciembre y marzo.

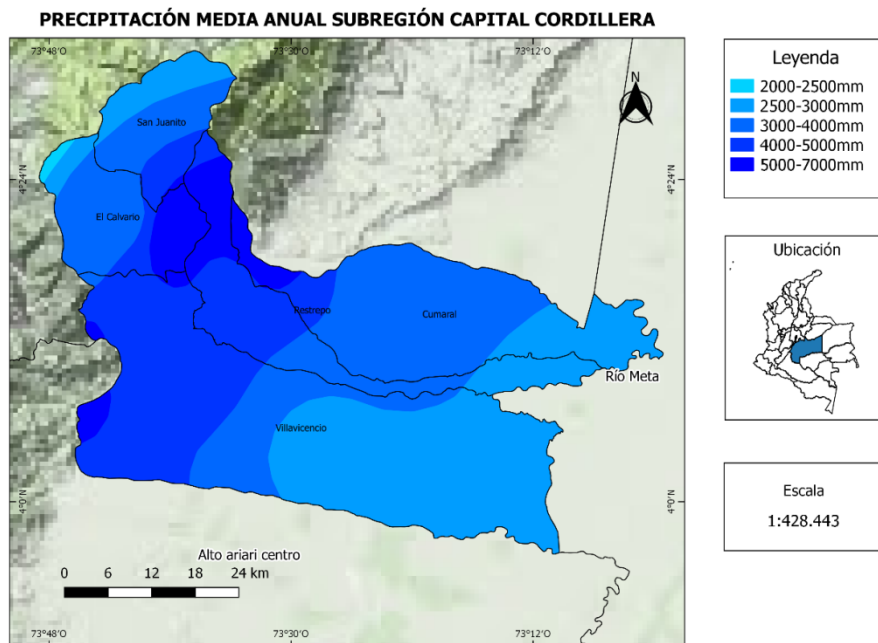
Gráfica 28. Precipitación multianual 1981-2010 en la subregión Capital Cordillera



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 – 2010

En la subregión Capital Cordillera las lluvias tienen su punto de concentración en el occidente de los municipios de Restrepo y Cumaral, el oriente de El Calvario y las veredas Cometal y Pipiral en Villavicencio, con un promedio de 5000mm a 7000mm. En general, la subregión posee una precipitación que oscila de 3000mm a 5000mm, a excepción del oriente, al límite con la subregión Ariari y el occidente de San Juanito y El Calvario donde la precipitación se encuentra en un rango de 2000mm a 3000mm, ver *Figura 12*.

Figura 12. Precipitación media anual subregión Capital Cordillera



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas - SIAC. IDEAM.

7.2. POTENCIAL HIDROENERGÉTICO

De acuerdo con el Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015 cerca del 80% de la generación de energía eléctrica en el país, proviene de centrales hidroeléctricas, sin embargo, esta cifra podría aumentar gracias a la extensa red fluvial superficial con que cuenta Colombia (UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, & IGAC, 2015).

Con el objetivo de identificar este potencial, diferentes instituciones nacionales desarrollaron un estudio para determinar el caudal y la caída hidráulica, y de esta manera obtener y presentar a partir de un conjunto de mapas la distribución espacial del potencial hidroenergético. En el desarrollo de este trabajo, se tomarán dichos resultados como referencia para realizar un análisis que determine la factibilidad de obtener energía a partir de proyectos a filo de agua en cada subregión del departamento del Meta.

Es importante definir caída hidráulica como la diferencia de cota entre el punto de captación del agua y las turbinas; a mayor diferencia de cota, mayor potencia hidráulica disponible. En el documento citado, se asumió que la longitud horizontal (Lc), entre la captación y las turbinas, corresponde a valores de 0.2km, 1km y 5km. En la *Tabla 2*, se presentan los valores medios y máximos de caídas hidráulicas para la región del Orinoco.

Tabla 2. Caída hidráulica en metros para la región del Orinoco

Longitud horizontal de conducción	0.2 km		1 km		5 km
	Media	Máxima	Media	Máxima	Media
Orinoco	10	277	46	444	149

Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

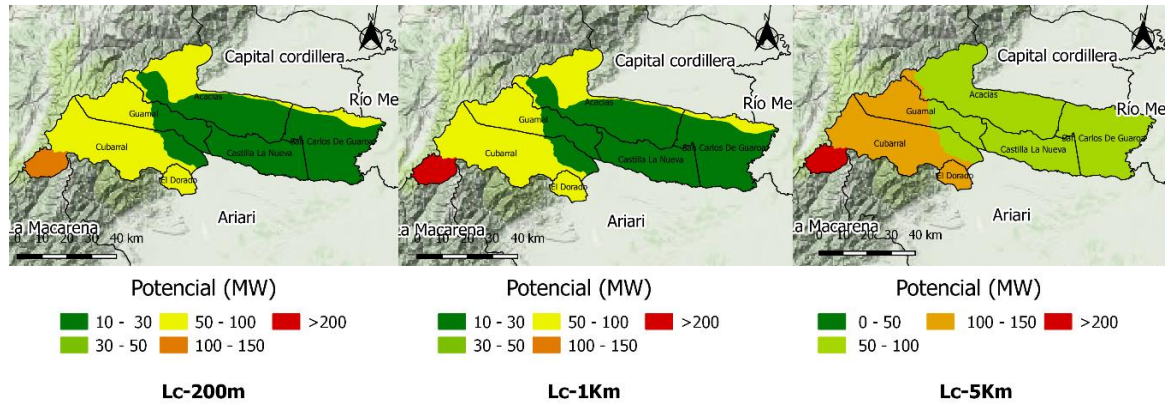
7.2.1. Subregión Alto Ariari Centro

El potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro presenta características similares para una longitud horizontal de 200m y 1km, de acuerdo con la *Figura 13* en los dos casos, el oriente de la subregión presenta el potencial más bajo con un rango que oscila entre 10MW a 30MW, sin embargo, se registra un aumento al occidente, en parte de los municipios de Cubarral, Guamal y Acacias, siendo su potencial de 50MW a 100MW. En cuanto al sur del municipio de Cubarral, exactamente en el Parque Sumapaz las potencias son de 100MW a 150MW y mayor a 200MW, para Lc de 200m y Lc de 1km, respectivamente.

Con respecto a la longitud horizontal de 5km, en los municipios de San Carlos de Guaroa, Castilla la Nueva, Acacias y el oriente de Guamal y Cubarral, el potencial oscila entre

50MW a 100MW, aumentando hacia el suroccidente, siendo incluso mayor a 200MW en la zona que limita con la subregión la Macarena.

Figura 13. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Alto Ariari Centro



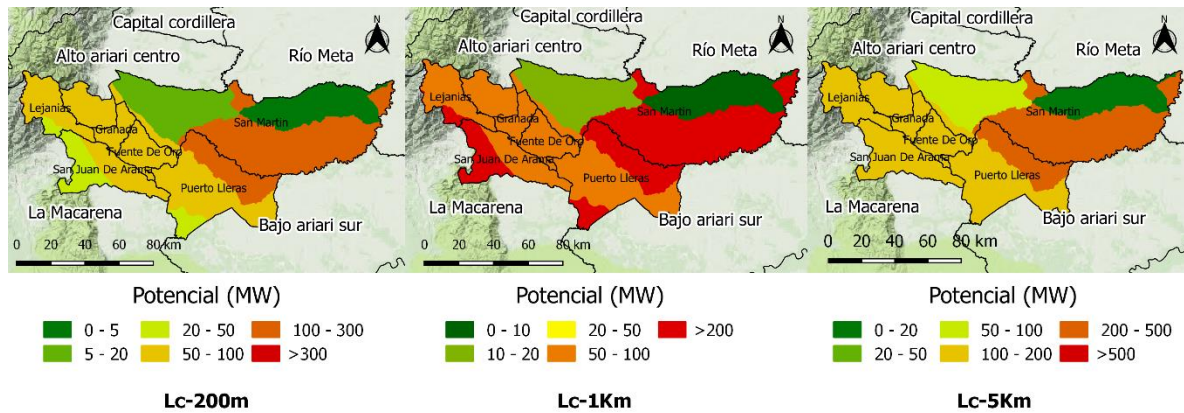
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015.

7.2.2. Subregión Ariari

De acuerdo con la *Figura 14* la capacidad de instalación para centrales hidroeléctricas a filo de agua para Lc200m, es mayor en el límite entre Puerto Lleras y San Martín, con un rango que oscila entre 100MW a 300MW, esta potencia disminuye hacia el occidente, en los municipios de Granada, Fuente de Oro, y parte de Lejanías, San Juan de Arama y Puerto Lleras, con un rango de 50MW a 100MW. El menor potencial se presenta en el sur de los municipios San Juan de Arama, Puerto Lleras y el norte de San Martín.

Para una longitud horizontal de 1km se presenta el mismo comportamiento descrito anteriormente, a excepción del límite entre los municipios de San Martín y Puerto Lleras, pues superan un potencial de 200MW, a estos se suman el sur de dicho municipio, junto con el de San Juan de Arama. Finalmente, en Lc5km se podrían instalar pequeñas centrales hidroeléctricas de hasta 500MW como es el caso del norte de Puerto Lleras y sur de San Martín, sin embargo, al norte de este último se presentan las zonas con menor potencial.

Figura 14. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Ariari



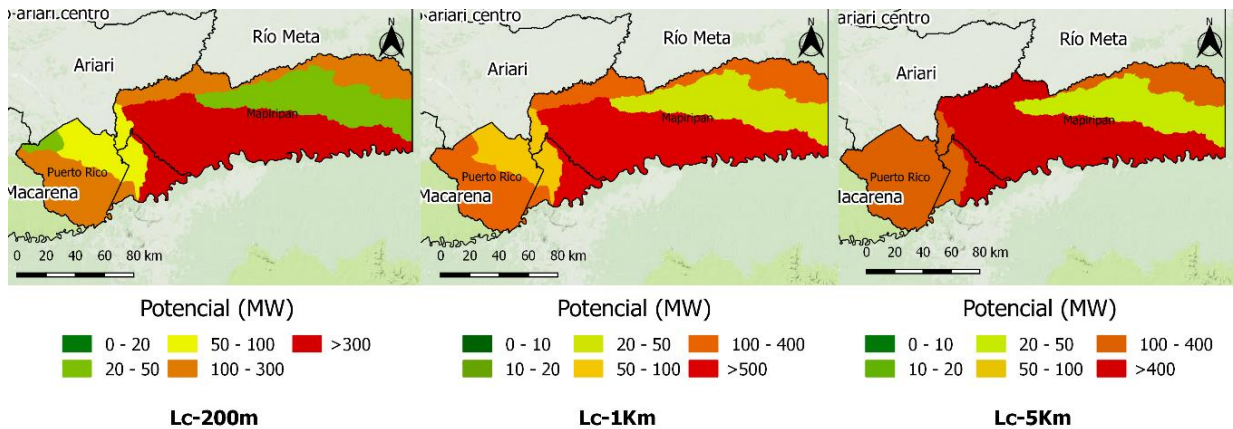
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.2.3. Subregión Bajo Ariari Sur

Un análisis de la

Figura 15 permite establecer que el mayor potencial para la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas en la subregión Bajo Ariari Sur corresponde en especial al sur del municipio de Mapiripán y el oriente de Puerto Concordia con un estimado de más de 300MW en las tres longitudes horizontales. Con esta misma tendencia, el norte de Mapiripán y el occidente de Puerto Rico presentan potenciales altos que oscilan entre 100MW a 400MW. Caso contrario ocurre en la zona centro de Mapiripán, donde el potencial es más bajo, en especial a 200m con un rango de 20MW a 50MW.

Figura 15. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Bajo Ariari Sur



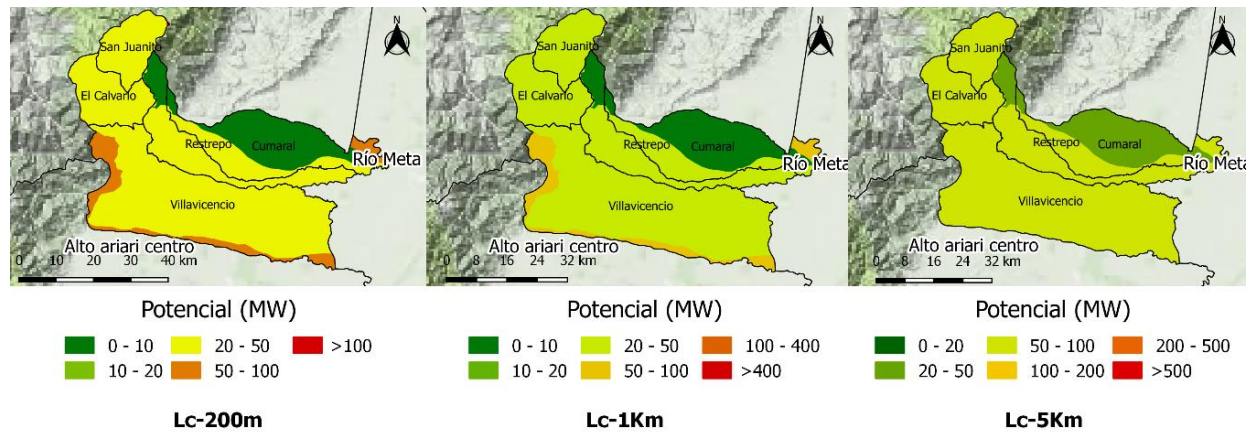
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.2.4. Subregión Capital Cordillera

En la subregión Capital Cordillera la menor capacidad de instalación corresponde a la zona norte en los municipios de Cumaral y Restrepo con un potencial que oscila entre 0 a 10MW para una longitud horizontal de 200m y 1000m, a 5000m aumenta un poco permitiendo la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas de hasta 50MW. Al sur del municipio de Villavicencio el potencial aumenta a un rango de 50MW a 100MW. En el resto de la subregión el potencial esta entre 20MW a 50MW, sin embargo, aumenta para Lc5km. Ver

Figura 16.

Figura 16. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Capital Cordillera



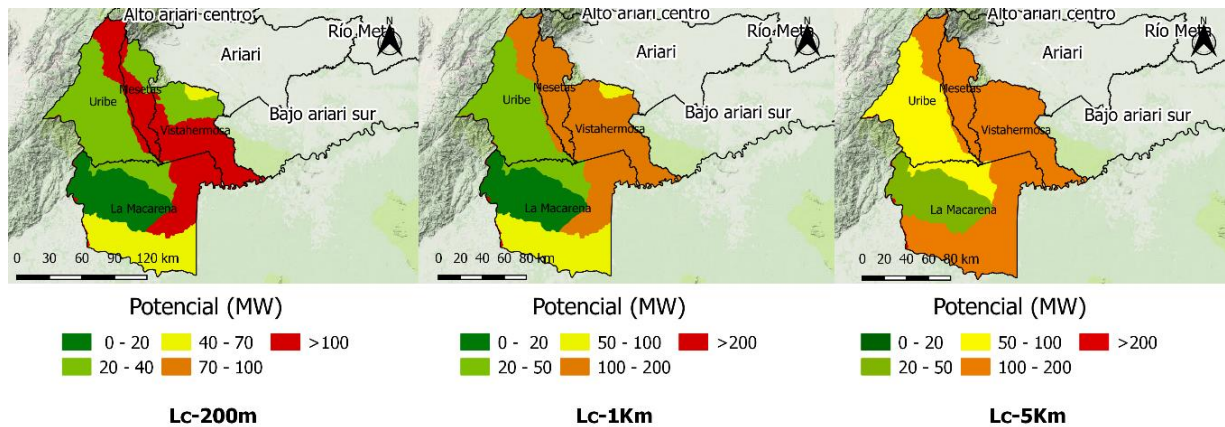
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.2.5. Subregión La Macarena

El potencial hidroenergético en la subregión La Macarena de acuerdo con la Figura 17 es mayor al oriente, en los municipios de Mesetas, Vista Hermosa y parte de la Uribe y la Macarena, oscilando en un rango de 100MW a 200MW, sin embargo, en Lc 200m y al norte de Mesetas y Vista Hermosa, se presenta un potencial un poco más bajo de 20MW a 70MW.

Por otra parte, el potencial encontrado para cada longitud horizontal al occidente de la subregión se encuentra por debajo de 100MW, siendo el municipio de la Macarena el de menor capacidad.

Figura 17. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión La Macarena



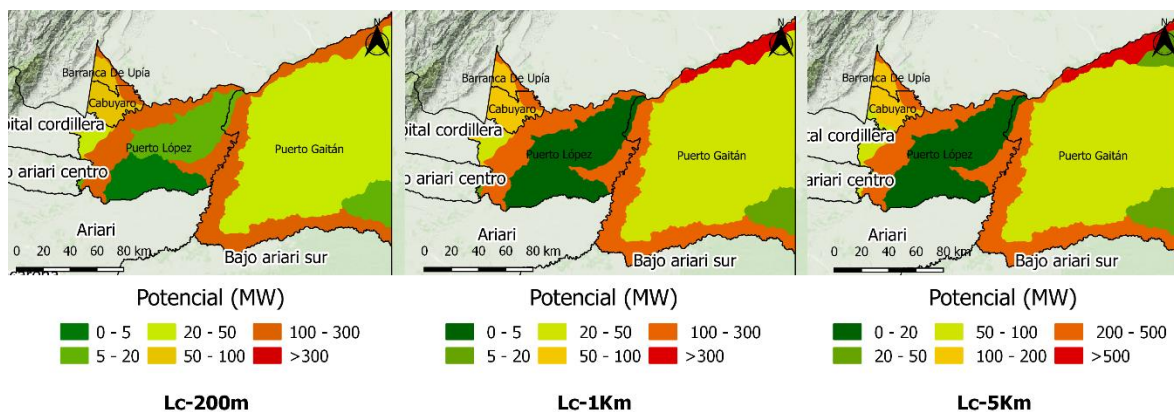
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.2.6. Subregión Río Meta

A partir de la

Figura 18 se conoce que la mayor capacidad de instalación para pequeñas centrales hidroeléctricas se encuentra en los límites entre Cabuyaro y Puerto López, Puerto Gaitán y Puerto López, y el norte de la subregión, con un rango de 100MW a 500MW, de acuerdo con la longitud horizontal; existe además un punto máximo al norte de Puerto Gaitán en Lc 5Km con un potencial mayor a 500MW. En cuanto al centro de Puerto López, el potencial oscila entre 0 a 20MW, siendo esta la zona con menor capacidad de instalación, especialmente para Lc1Km. En el resto de la subregión el potencial oscila entre 20MW a 100MW y en el caso de Lc 5km entre 50MW a 200MW.

Figura 18. Mapa del Potencial Hidroenergético en la Subregión Río Meta



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

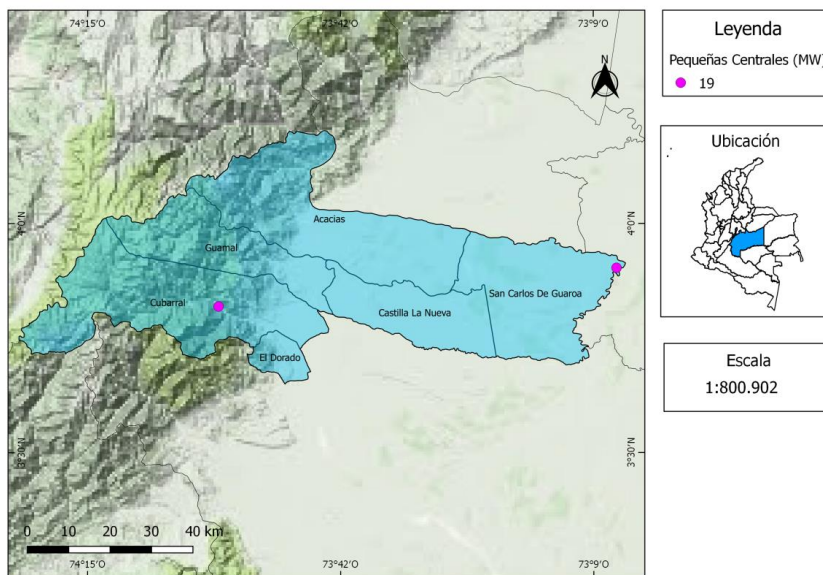
7.3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO DE ACUERDO CON EL ATLAS ELABORADO POR LA UPME

En el año 2015 la UPME publicó un documento llamado Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia en el que entre otras cosas, se identificaron sitios óptimos para el aprovechamiento hidroeléctrico, seleccionando para cada subzona hidrográfica y para cada rango de clasificación de centrales, según su capacidad de generación, el tramo de río en el que se presenta mayor potencial hidroeléctrico aprovechable (UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, & IGAC, 2015), se tomara esta información para realizar un análisis en cada subregión del departamento del Meta.

7.3.1. Subregión Alto Ariari Centro

En la *Figura 19* se observa que en la subregión Alto Ariari Centro se identificaron dos puntos viables para la instalación de pequeña centrales hidroeléctricas, uno en el municipio de Cubarral y otro al oriente en San Carlos de Guaroa.

Figura 19. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro



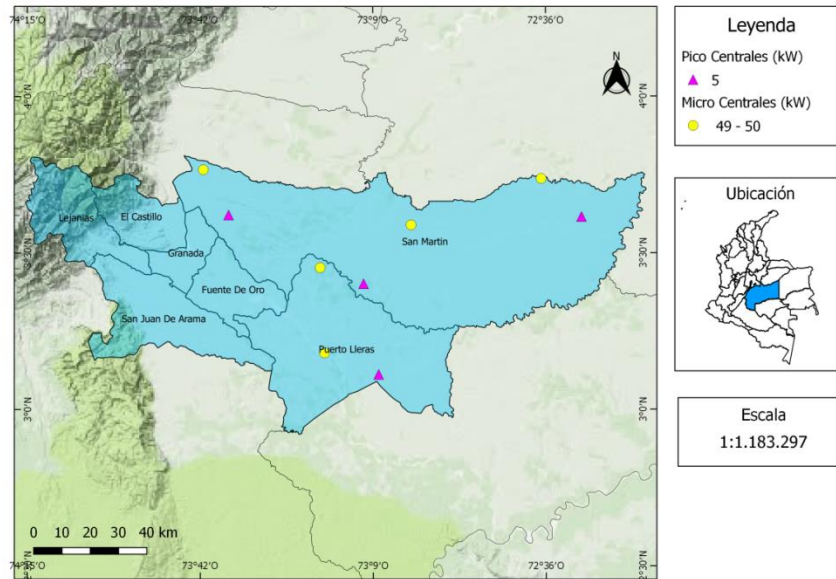
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.3.2. Subregión Ariari

En la subregión Ariari se identificaron 9 puntos viables, de los cuales 4 corresponden a pico centrales de 5kW y se encuentran en San Martín y Puerto Lleras; los 5 restantes son micro centrales de 49kW a 50kW y se encuentran distribuidos en estos mismos municipios, ver

Figura 20.

Figura 20. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Ariari

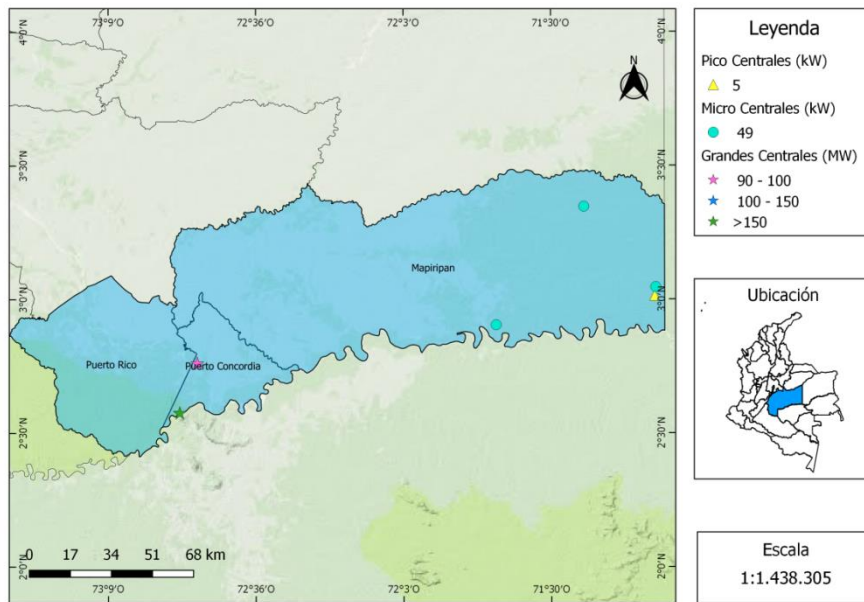


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.3.3. Subregión Bajo Ariari Sur

En la subregión Bajo Ariari Sur se identificó un posible punto para la instalación de una picocentral de 5kW en el oriente de Mapiripán y 3 micro centrales de 49kW en este mismo municipio. Adicionalmente, en el occidente de Puerto Concordia existe la posibilidad de implementar dos grandes centrales, la primera de ellas de 90 a 100MW y la segunda de más de 150MW, como se observa en la *Figura 21*.

Figura 21. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Bajo Ariari Sur

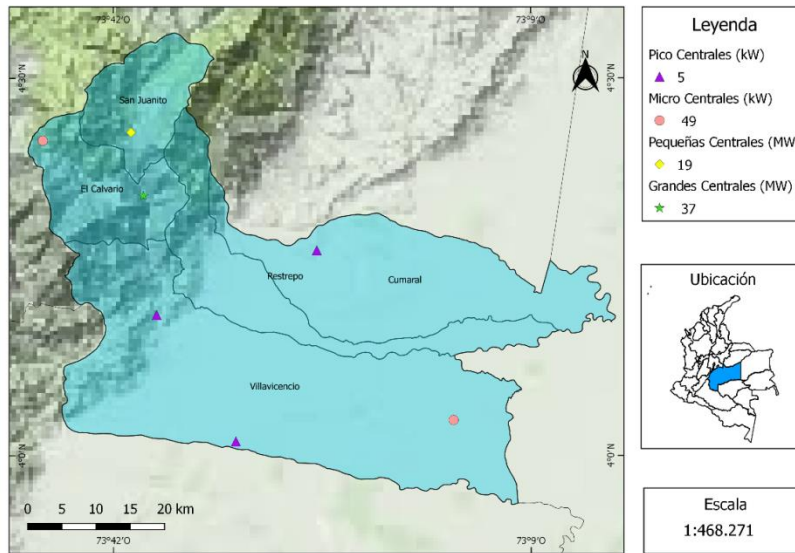


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.3.4. Subregión Capital Cordillera

La subregión Capital Cordillera podría instalar tres picocentrales de 5kW, una de ellas en el norte de Cumaral y las demás en el centro y occidente de Villavicencio. Adicionalmente, en el noroccidente de El Calvario y el oriente de Villavicencio hay dos puntos viables para instalas micro centrales de 49kW. Finalmente, en San Juanito hay un punto que indica una pequeña central de 19MW y en El Calvario una gran central de 37MW, ver *Figura 22*.

Figura 22. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera

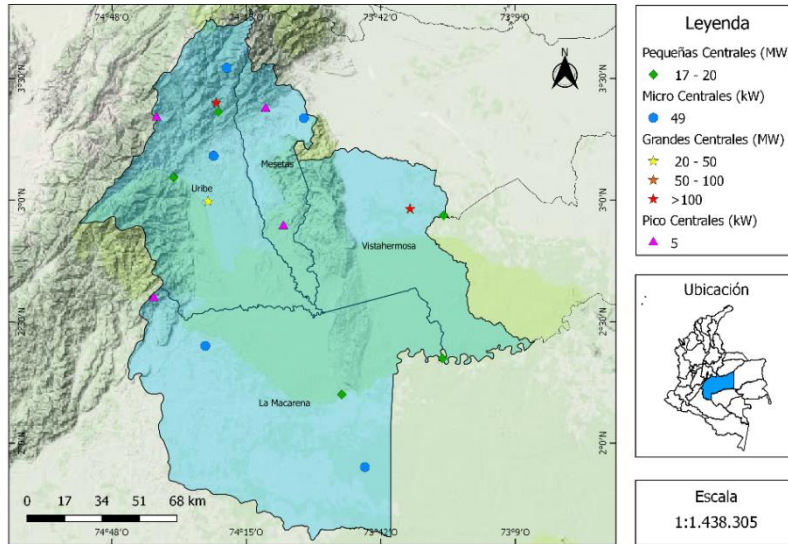


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

7.3.5. Subregión La Macarena

A partir de la *Figura 23* se conoce que en esta subregión existe la posibilidad de instalar cuatro pico centrales de 5kW, dos de ellas en Mesetas, una en la Uribe y otra en La Macarena. En cuanto a pequeñas centrales, hay dos puntos en la Uribe, uno en el oriente de Vista Hermosa en el límite con la subregión Ariari y dos en la Macarena. Hay además, viabilidad para micro centrales de 49kW en la Uribe, Mesetas y la Macarena. Finalmente, en la Uribe y Vista Hermosa se podrían instalar dos grandes centrales de más de 100MW.

Figura 23. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión La Macarena

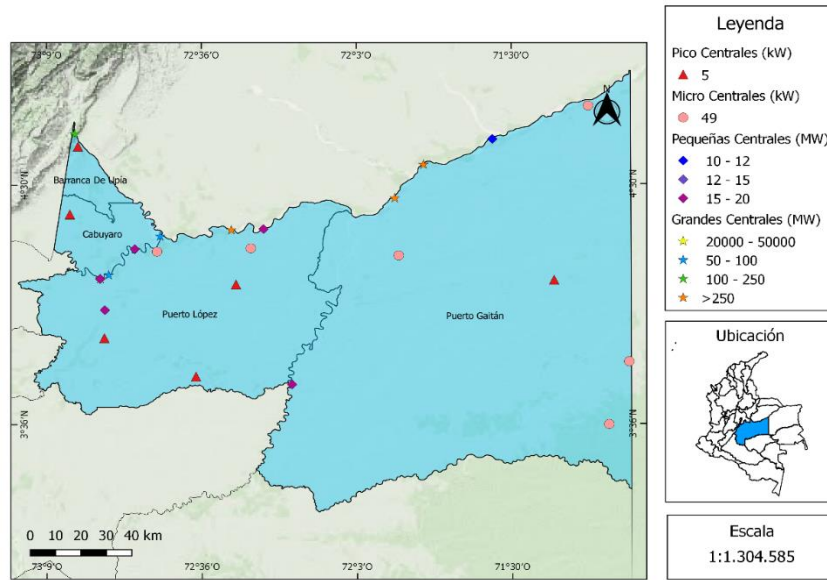


Fuente. *Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia*

7.3.6. Subregión Río Meta

En la subregión Río Meta, de acuerdo con la *Figura 24*, se podrían instalar seis pico centrales de 5kW, siendo Puerto López el municipio que tiene mayor capacidad. Continuando con las micro centrales, se presentan dos puntos en Puerto López y cuatro en Puerto Gaitán, todos con una potencia esperada de 49MW. En este último municipio, al norte se presenta además una pequeña central de 10MW a 12MW y al suroccidente otra de 15MW a 20MW, de este mismo potencial hay cuatro posibles en Puerto López. Finalmente, los puntos viables para instalar grandes centrales se presentan de la siguiente manera: en el límite entre Cabuyaro y Puerto López hay dos de 50MW a 100MW, en el norte de Barranca de Upía hay una de 100MW a 250MW y al norte de la subregión en Puerto López y Puerto Gaitán hay tres de un potencial mayor a 250MW.

Figura 24. Evaluación del potencial hidroenergético en la subregión Río Meta



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

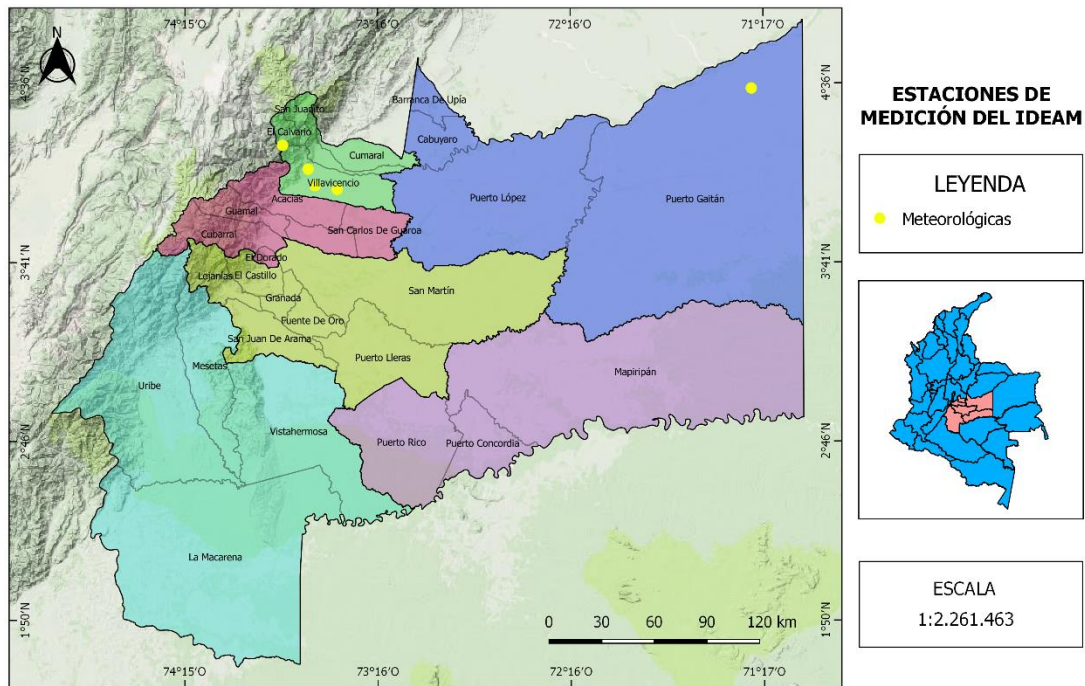
8. ENERGÍA EÓLICA

Colombia, gracias a su posición geográfica que lo ubica en la franja tropical y condiciones como la gran variabilidad en la estructura física de sus cordilleras y su localización frente al mar Caribe y al Océano Pacífico, posee una posición privilegiada en cuanto a recursos renovables de energía como la asociada con el viento (UPME & IDEAM, Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, 2006), en este capítulo se hará un análisis del potencial eólico a través de información suministrada por el IDEAM.

En la

Figura 25 se observa la ubicación de las estaciones de medición, cuatro de ellas se encuentran en el municipio de Villavicencio, una en Puerto Gaitán y una en El Calvario, por lo cual se tiene cobertura únicamente de las subregiones Capital Cordillera y Río Meta.

Figura 25. Mapa de localización de estaciones del IDEAM



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

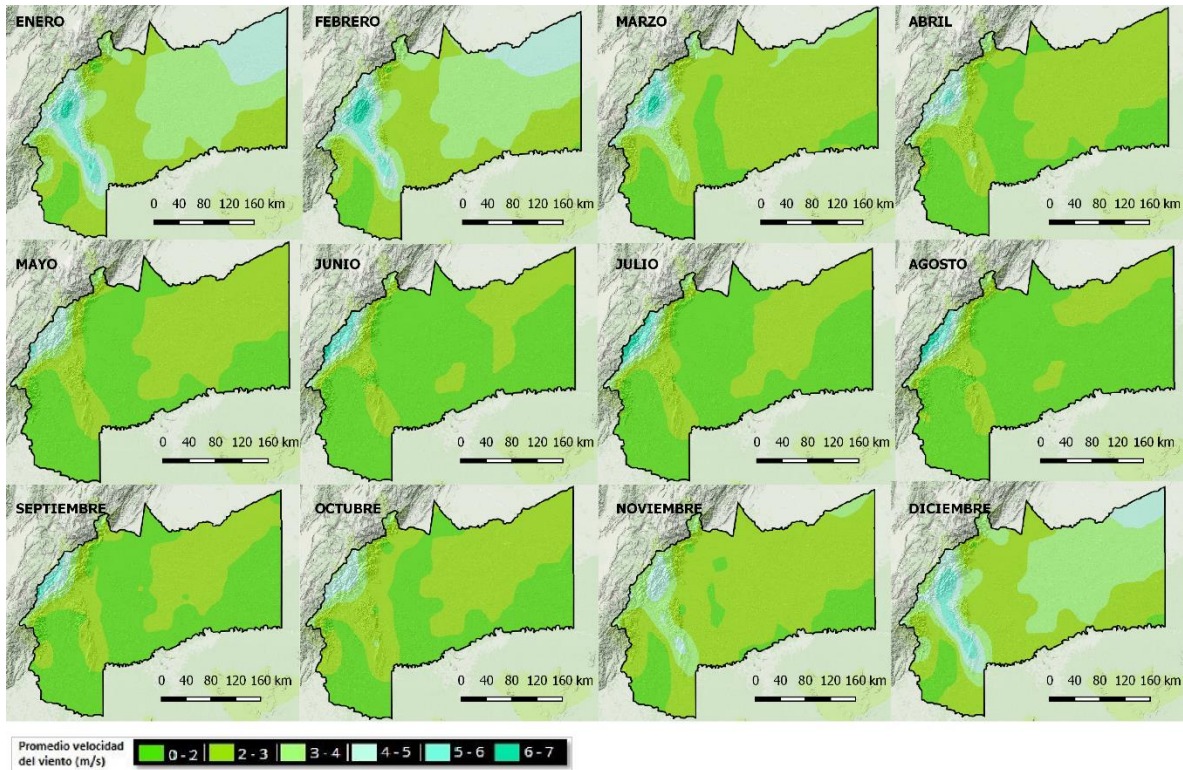
8.1. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO DE ACUERDO CON EL ATLAS INTERACTIVO DEL IDEAM

El IDEAM cuenta con un Atlas del Viento interactivo 2015, que permite conocer el comportamiento del viento en el territorio nacional, entre sus categorías esta la velocidad promedio en superficie, 50m, 80m, 100m, 150m, 200m y 250m, para cada mes o de forma anual.

En la

Figura 26 se observan los mapas correspondientes a la velocidad promedio del viento a una altura de 10m, un análisis de estas permite identificar que la mayor velocidad se presenta durante los meses de diciembre a febrero con al menos 2m/s, se destacan las subregiones ubicadas al occidente del territorio como son Alto Ariari Centro, Ariari y La Macarena y al oriente, la subregión Río Meta, en estas zonas la velocidad puede estar en un rango de 4m/s a 7m/s. En contraste, durante los meses de junio a agosto los vientos tienden a tener una menor intensidad, predominando en la mayoría del territorio una velocidad de 0 a 2 m/s.

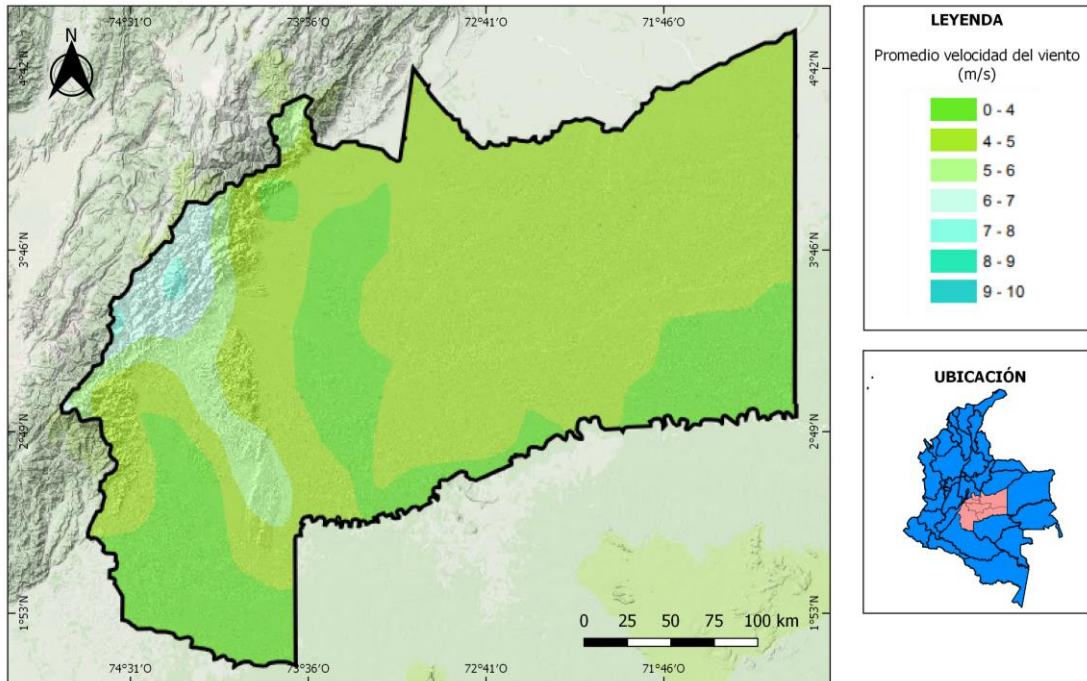
Figura 26. Velocidad promedio mensual del viento a 10m de altura



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

En cuanto al promedio anual a esta misma altura, predomina en el territorio una velocidad de 4 a 5 m/s como se observa en la *Figura 27*, sin embargo al noroccidente en donde se ubica el páramo Sumapaz y en la zona correspondiente al PNN Sierra de la Macarena tiende a aumentar, oscilando entre 5 a 8 m/s.

Figura 27. Mapa de velocidad promedio anual del viento a 10m de altura

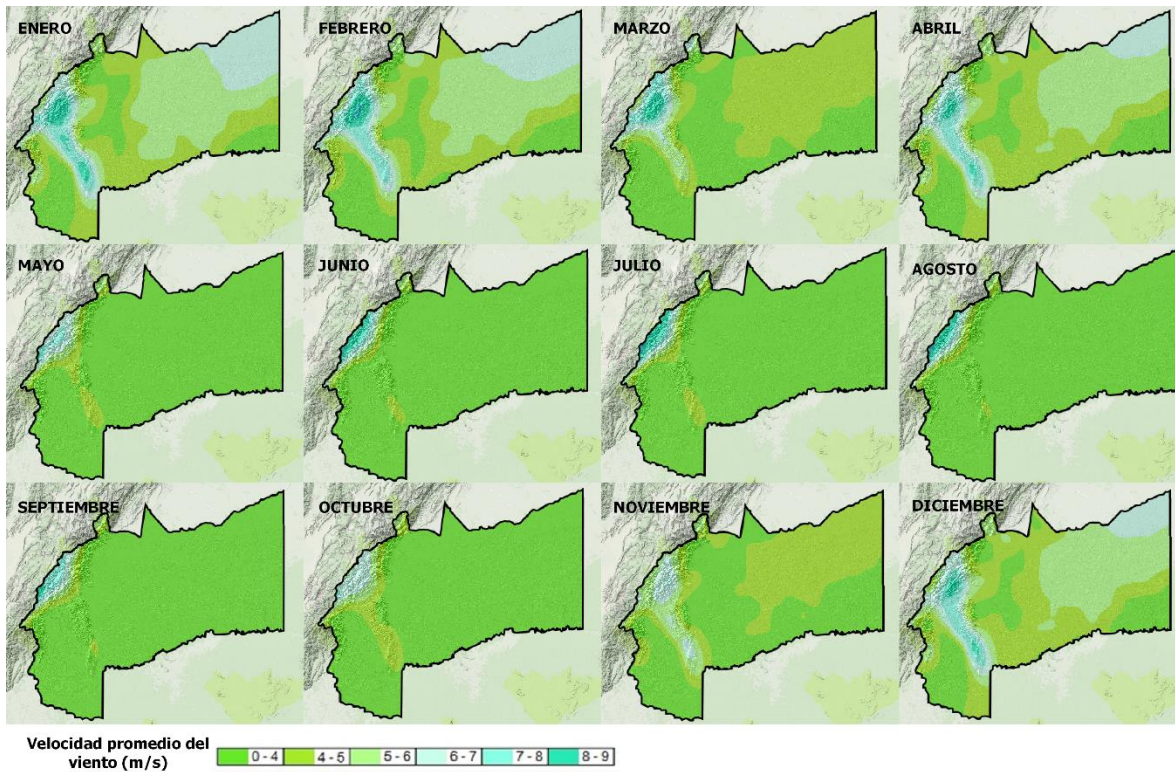


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

La velocidad promedio del viento a una altura de 50m presenta un comportamiento similar al descrito con anterioridad, nuevamente los meses con mayor potencial son diciembre, enero y febrero, siendo la zona nororiental de la subregión La Macarena la de mayor potencial con un rango de hasta 8 m/s, le sigue el nororiente de la subregión Río Meta donde los vientos son de 5 a 7 m/s. Es de resaltar que durante todo el año se observa una alta velocidad en los vientos en la zona aledaña al paramo Sumapaz.

Caso contrario ocurre en los meses de junio a septiembre, cuya velocidad oscila de 0 a 4 m/s en la mayoría del territorio. Ver *Figura 28*.

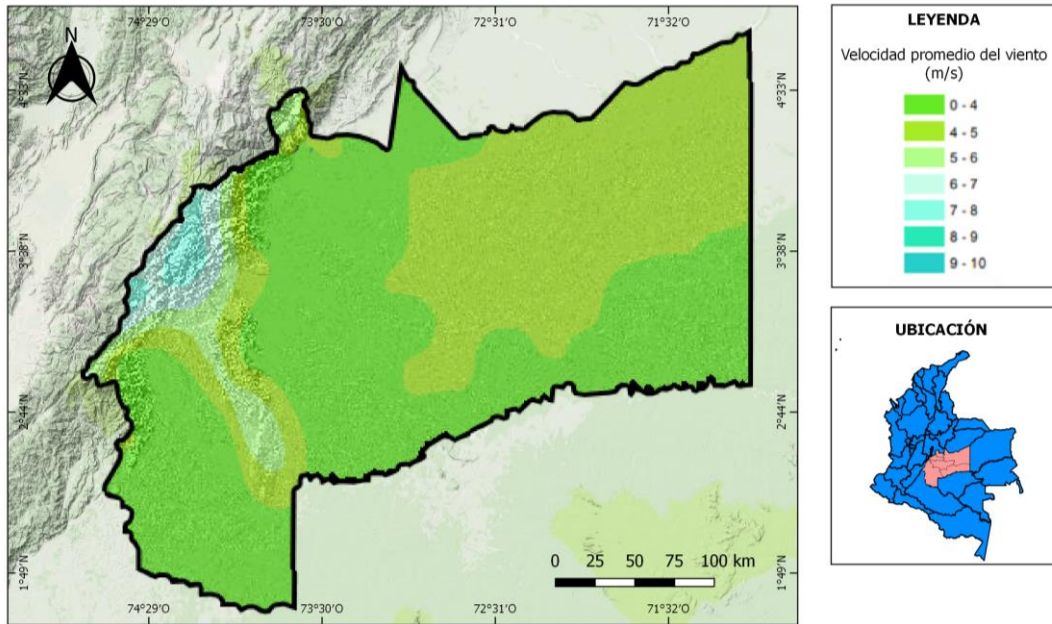
Figura 28. Velocidad promedio mensual del viento a 50m de altura



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

La velocidad promedio anual a una altura de 50m, como era de esperarse, muestra una alta velocidad en la zona aledaña al PNN Sumapaz y el PNN La Macarena, en lo que corresponde a las subregiones Alto Ariari Centro, Ariari y la Macarena, con un rango de 5 a 8 m/s. Además, en la subregión Río Meta, el oriente del Ariari y centro-norte del Bajo Ariari Sur ocurre una velocidad homogénea de 4 a 5 m/s. En el resto del territorio se presenta una velocidad que oscila de 0 a 4m/s, como se ve reflejado en la *Figura 29*.

Figura 29. Velocidad promedio anual del viento a 50m de altura



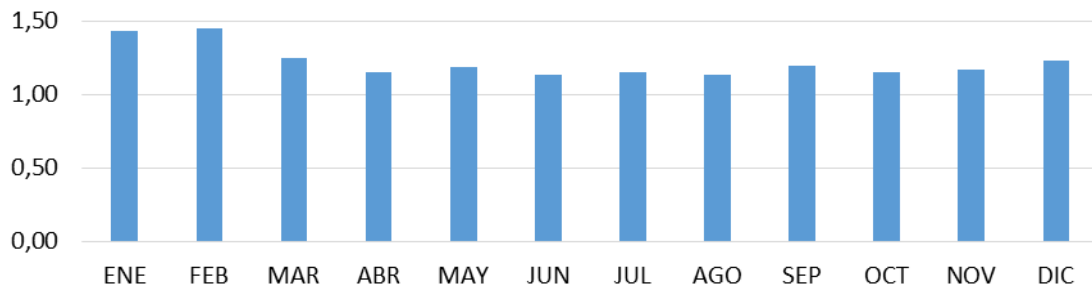
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

8.2. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DE ACUERDO CON INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN DEL IDEAM

8.2.1. Estación La Libertad

La estación la libertad se encuentra ubicada en el municipio de Villavicencio y de acuerdo con lo expuesto en la *Gráfica 29*, la mayor velocidad del viento ocurre durante los meses de enero y febrero, con un valor de 1.43 m/s y 1.45 m/s respectivamente. Caso contrario ocurre en junio y agosto, quienes tienen el menor registro con apenas 1.13 m/s. En los demás meses la velocidad oscila entre 1.15 m/s a 1.25 m/s

Gráfica 29. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación La Libertad

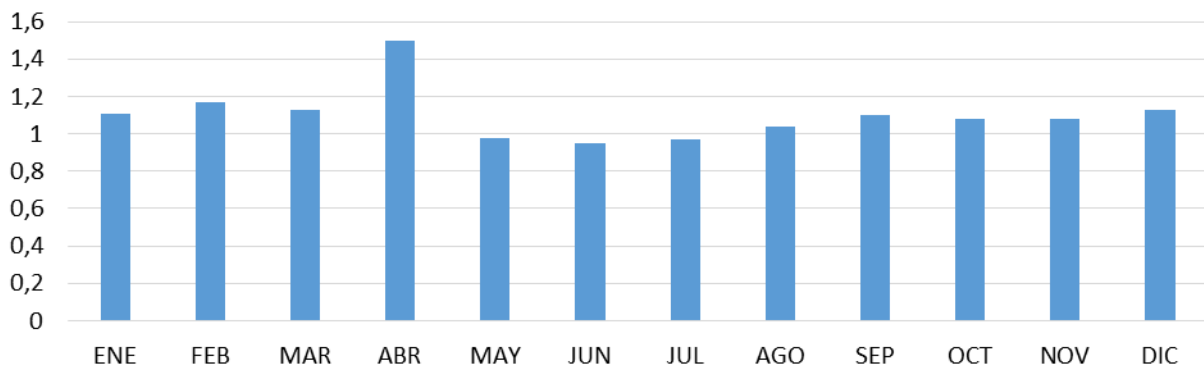


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

8.2.2. Estación Aeropuerto Vanguardia

La estación Aeropuerto Vanguardia pese a estar ubicada en el municipio de Villavicencio, como la inmediatamente anterior, el mes de mayor velocidad en los vientos es totalmente diferente, este corresponde a abril con un promedio multianual de 1.5m. Además, en este sector se presentan velocidades por debajo de 1 m/s durante los meses de mayo a julio. Esta situación se observa en la *Gráfica 30*.

Gráfica 30. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia



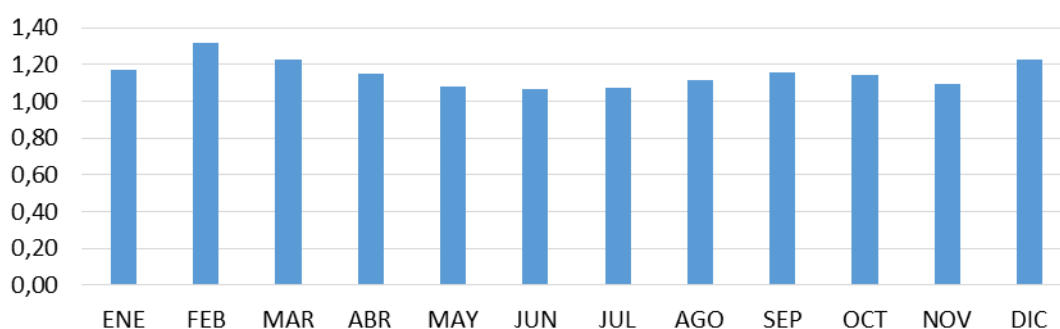
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

8.2.3. Estación Unillanos

En la estación Unillanos, ubicada en Villavicencio, los meses de mayor velocidad en el viento corresponden a diciembre, febrero y marzo, con un promedio de 1.23 m/s y 1.32 m/s, como se observa en la

Gráfica 31. Los de menor potencial son mayo, junio y julio, cuyas velocidades se encuentran en un rango de 1.7 m/s a 1.8 m/s, los demás meses del año oscilan entre 1.12 m/s a 1.17 m/s.

Gráfica 31. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación Unillanos



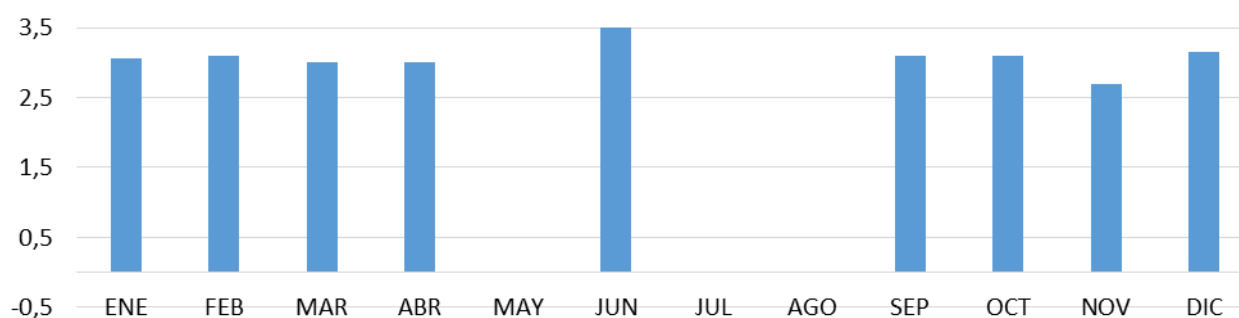
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

8.2.4. Estación Alto del Tigre

La estación de medición Alto del Tigre se encuentra ubicada en el municipio El Calvario, ésta proporciona información multianual de la velocidad del viento a excepción de los meses de mayo, julio y agosto, como se observa en la

Gráfica 32. Durante junio se presenta la velocidad más alta con un promedio de 3.5 m/s y en el mes de noviembre se tiene el menor registro con 2.7 m/s, es de resaltar que las velocidades obtenidas con esta esta estación son las más altas de la subregión Capital Cordillera.

Gráfica 32. Promedio multianual de la velocidad del viento en la estación Alto del Tigre



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM - Promedios climatológicos 1981 - 2010.

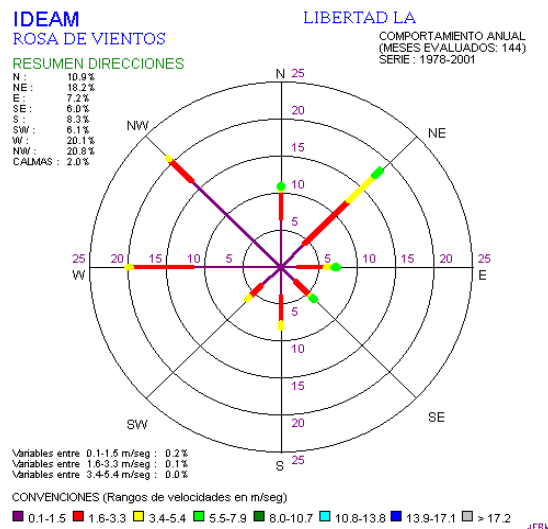
8.3. ANÁLISIS DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO DE ACUERDO CON INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN DEL IDEAM

De acuerdo con la información suministrada por el IDEAM, únicamente las estaciones La Libertad (CP), Unillanos (CP) y Apto Vanguardia (SP) proveen información acerca de la dirección del viento.

8.3.1. Estación la libertad En la

Figura 30 se observa que la dirección que predomina es la del noroeste con 20.8%, en dicho sentido las velocidades van desde 0.1 m/s hasta 5.4 m/s, este rango se conserva para la dirección oeste con 20.1%. En el sentido este, las velocidades del viento tienden a aumentar, siendo el noreste el que más predomina con 18.2% y cuya escala de velocidad va de 0.1 m/s a 7.9 m/s.

Figura 30. Rosa de los vientos de la estación La Libertad

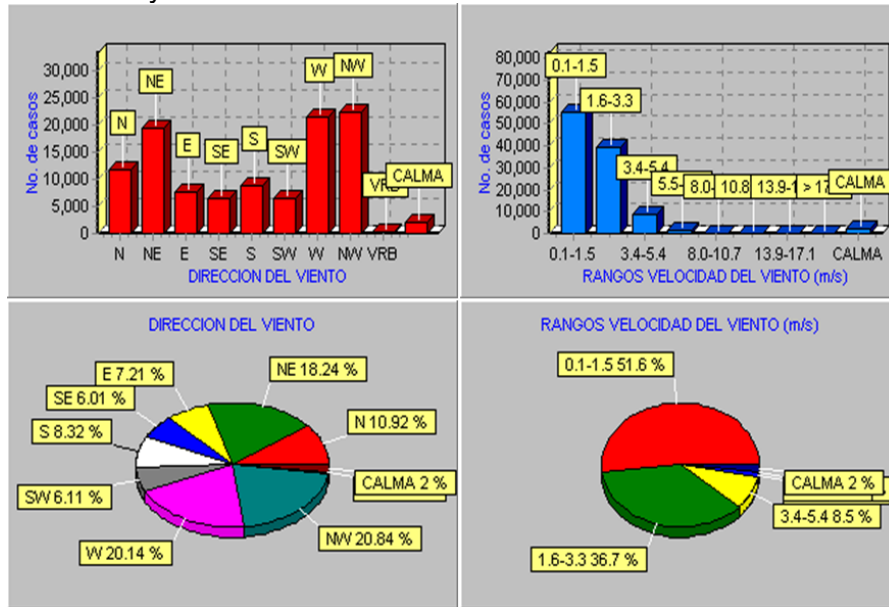


Fuente. Información suministrada por el IDEAM

En la

Gráfica 33 se observa que las direcciones del viento que más predominan en esta estación son las del noroeste y oeste, con un poco más de 20 casos cada una, y la dirección que menos ocurre es la del suroeste con 6.1 casos. En lo que corresponde a los rangos de velocidad del viento, más del 50% estuvieron entre 0.1 m/s a 1.5 m/s, este es seguido por las velocidades comprendidas entre 1.6 m/s y 3.3 m/s con el 36.7% , continuando de forma descendente las velocidades de 3.4 m/s a 5.4 m/s se encuentran por debajo del 10% y finalmente los rangos comprendidos entre 5.5 m/s a 17.1 m/s están por debajo del 5%. En cuanto al estado de calma este es del 2%.

Gráfica 33. Dirección y velocidad del viento en la estación La Libertad

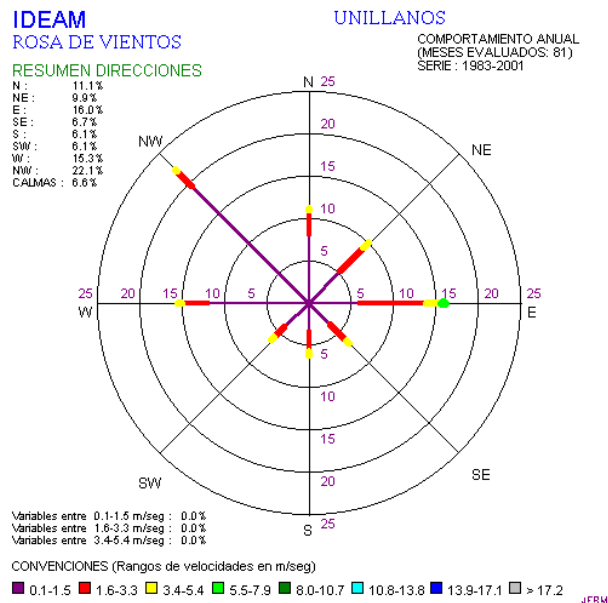


Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

8.3.2. Estación Unillanos

La rosa de los vientos de la estación Unillanos permite identificar que la dirección que más predomina es la del noroeste con 22.1% cuyas velocidades están en un rango de 0.1 m/s a 5.4 m/s, en segundo lugar está la dirección este con 16% y con velocidad de 0.1 m/s a 7.9 m/s. Caso contrario ocurre en las direcciones sur, suroeste y sureste cuya frecuencia es más baja, haciendo que no superen un 6.7%. Ver Figura 31.

Figura 31. Rosa de los vientos de la estación Unillanos

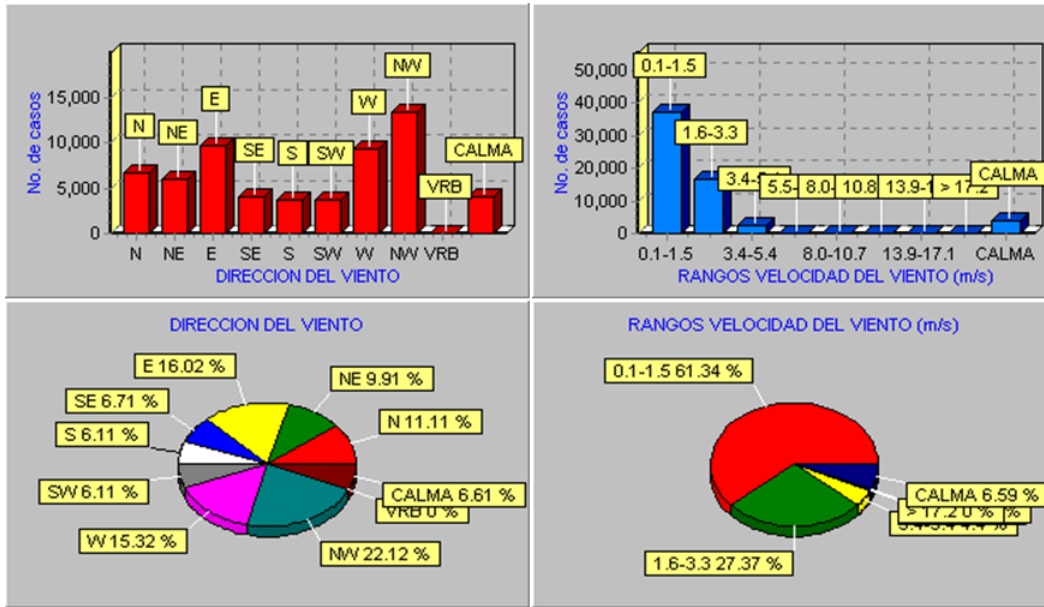


Fuente. Información suministrada por el IDEAM

En la

Gráfica 34 se observa que en el 22.12% de los casos la dirección del viento fue hacia el noroeste, este es seguido por el sentido este con 16.02% y el oeste con 15.32%. En cuanto a su velocidad el 61.34% se reportó en un rango de 0.1 m/s a 1.5 m/s, en segundo lugar están las velocidades comprendidas entre 1.6 m/s a 3.3 m/s con 27.37%. Las velocidades mayores a 3.4 m/s tienen una menor participación y finalmente el estado de calma es del 6.59%.

Gráfica 34. Dirección y velocidad del viento en la estación Unillanos

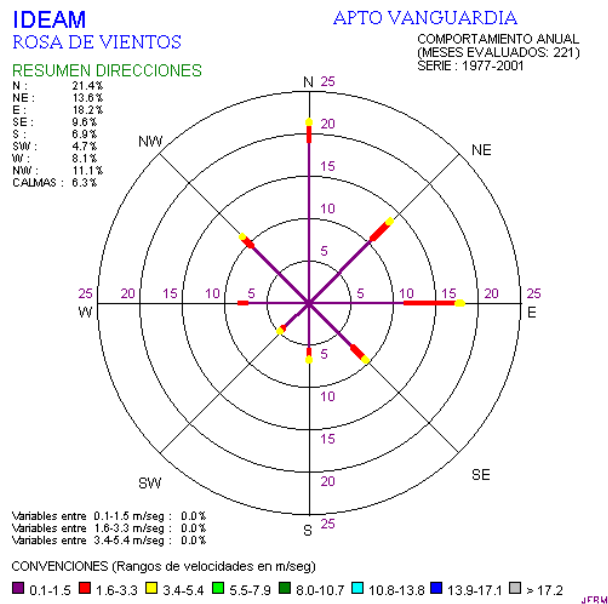


Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

8.3.3. Estación Aeropuerto Vanguardia

La estación Aeropuerto Vanguardia presenta un mayor porcentaje, en cuanto a la dirección del viento, en el sentido norte con 21.4%, seguido por 18.2% en el este y 13.6% en el noreste. En cuanto a la velocidad del viento, a excepción del sentido oeste, todas las direcciones se encuentran en un rango de 0.1 m/s a 5.4 m/s como se observa en la *Figura 32*.

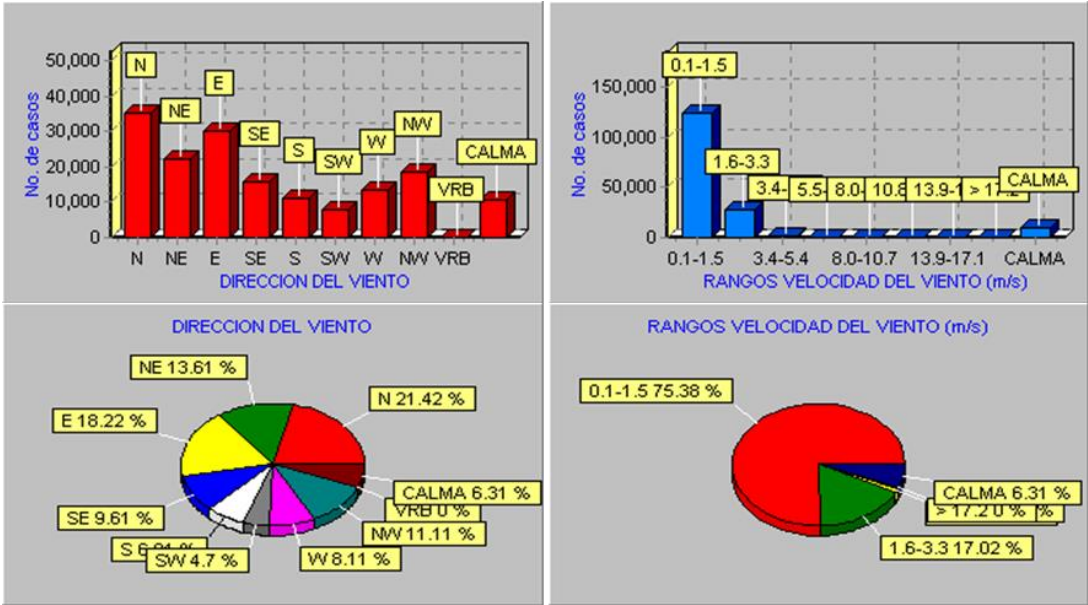
Figura 32. Rosa de los vientos de la estación Aeropuerto Vanguardia



Fuente. Información suministrada por el IDEAM

En la *Gráfica 35* se observa con mayor detalle el porcentaje para cada dirección del viento, siendo como se dijo con anterioridad el norte el ocurrido con mayor frecuencia con 21.42%. En cuanto a la velocidad del viento, el 75.38% de los casos analizados estuvieron en un rango de 0.1 m/s a 1.5 m/s, 19.02% entre 1.6 m/s a 3.3 m/s, 1.29% las velocidades mayores a 3.4 m/s y 6.31% en calma.

Gráfica 35. Dirección y velocidad del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia



Fuente. Información suministrada por el IDEAM

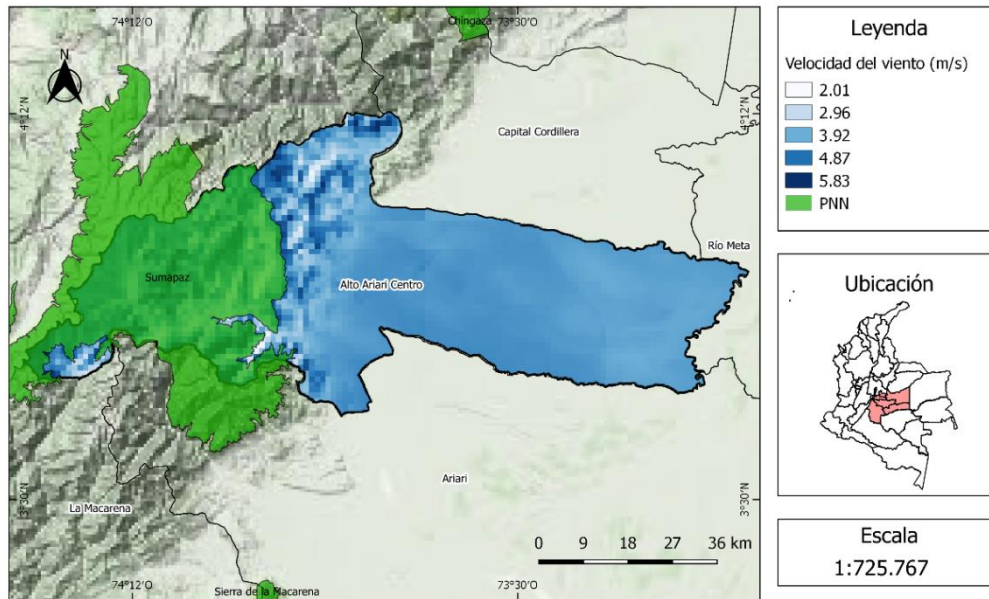
8.4. ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO SEGÚN EL ATLAS GLOBAL DEL IRENA

El siguiente análisis del recurso eólico será elaborado con información obtenida del atlas global de la Agencia Internacional de Energía Renovable –IRENA e instituciones como la Universidad Técnica de Dinamarca –DTU, el Centro Nacional de Energía Renovables – CENER y 3TIER.

8.4.1. Subregión Alto Ariari Centro

La velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro es mayor en el PNN Sumapaz y la zona aledaña, allí se presentan mediciones de hasta 5 m/s como se observa en la *Figura 33*, caso contrario ocurre al oriente de la subregión en donde la velocidad oscila entre 2 m/s a 4 m/s. Es de resaltar que el mapa descrito tiene una resolución espacial de 1km.

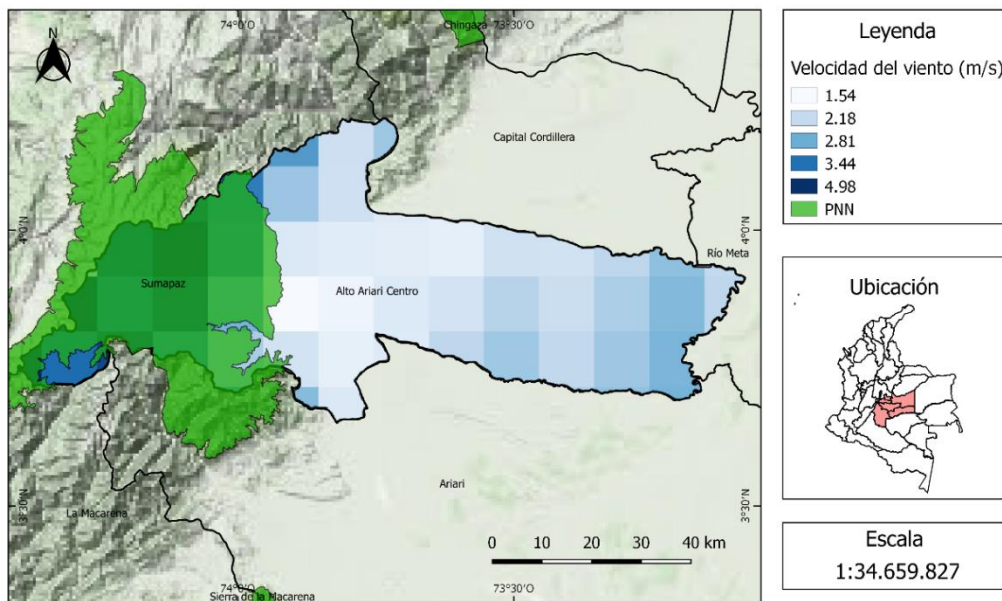
Figura 33. Velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro - DTU



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

En la Figura 34 se observa el mapa de la velocidad del viento elaborado por el CENER, de acuerdo con éste, el occidente de la subregión presenta el potencial más alto con velocidades de hasta 4.8 m/s , en el oriente descende un poco hasta 2.81 m/s y en algunas zonas 3.44 m/s, sin embargo, en el centro de la subregión se presentan los valores más bajos con apenas 1.54 m/s.

Figura 34. Velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro - CENER

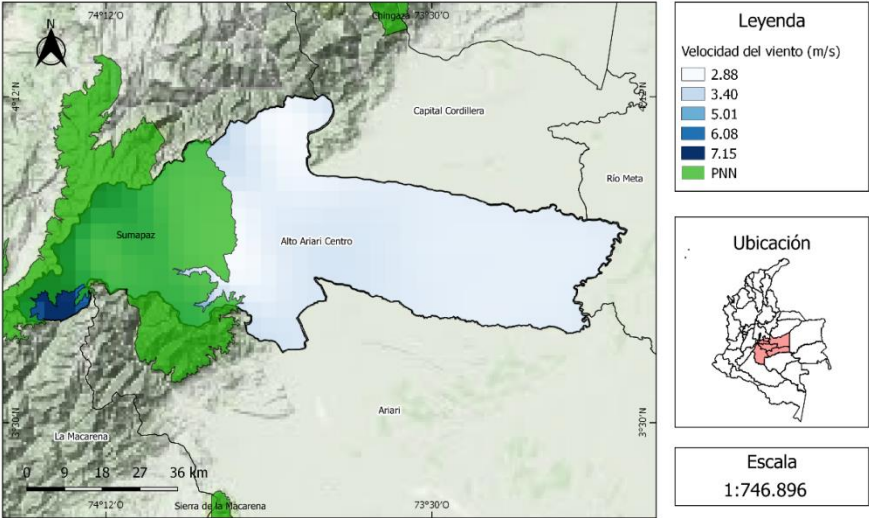


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

El mapa de velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro obtenido del 3TIER muestra un comportamiento homogéneo (2.88 m/s) en todo el territorio a excepción de la zona comprendida por el PNN Sumapaz y una pequeña parte que limita con la subregión La Macarena, cuya velocidad alcanza hasta 7.15 m/s, esta situación se observa con mayor detalle en la

Figura 35.

Figura 35. Velocidad del viento en la subregión Alto Ariari Centro -3TIER

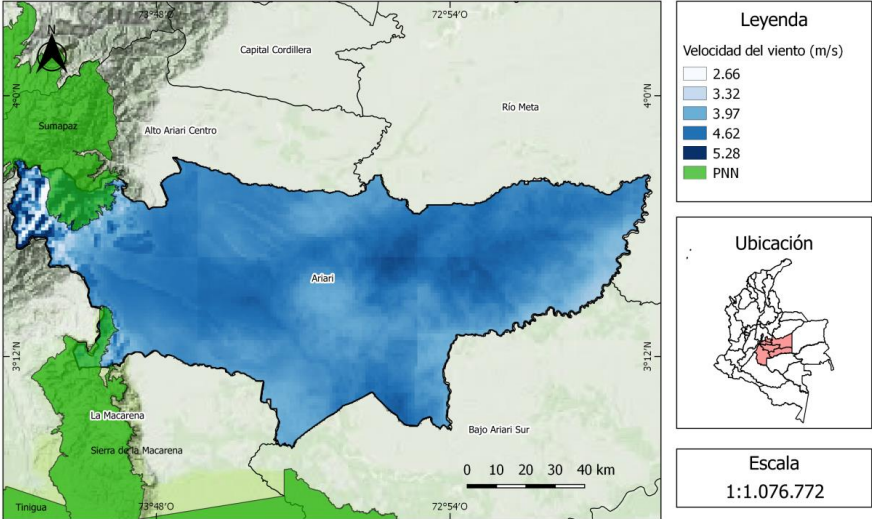


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

8.4.2. Subregión Ariari

La velocidad del viento en la subregión Ariari de acuerdo con el mapa obtenido del DTU es mayor en donde se ubica el PNN Sumapaz y la zona aledaña, con velocidades de hasta 5.28 m/s como se observa en la Figura 36, en el resto del territorio la velocidad oscila entre 2.66 m/s y 4.62 m/s.

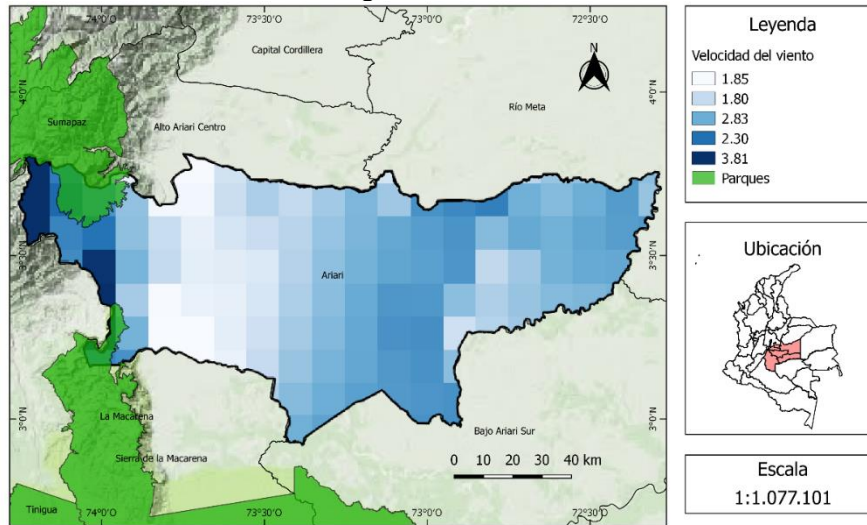
Figura 36. Velocidad del viento en la subregión Ariari - DTU



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

En la *Figura 37* se observa que el mayor potencial eólico corresponde a la zona aledaña al PNN Sumapaz con velocidades que van de 3.32 m/s a 3.81 m/s, este es seguido por los municipios de San Martín y Puerto Lleras en donde la velocidad oscila entre 2.34 m/s y 3.82 m/s, el resto del territorio presenta velocidades que no superan 1.85 m/s.

Figura 37. Velocidad del viento en la subregión Ariari - CENER

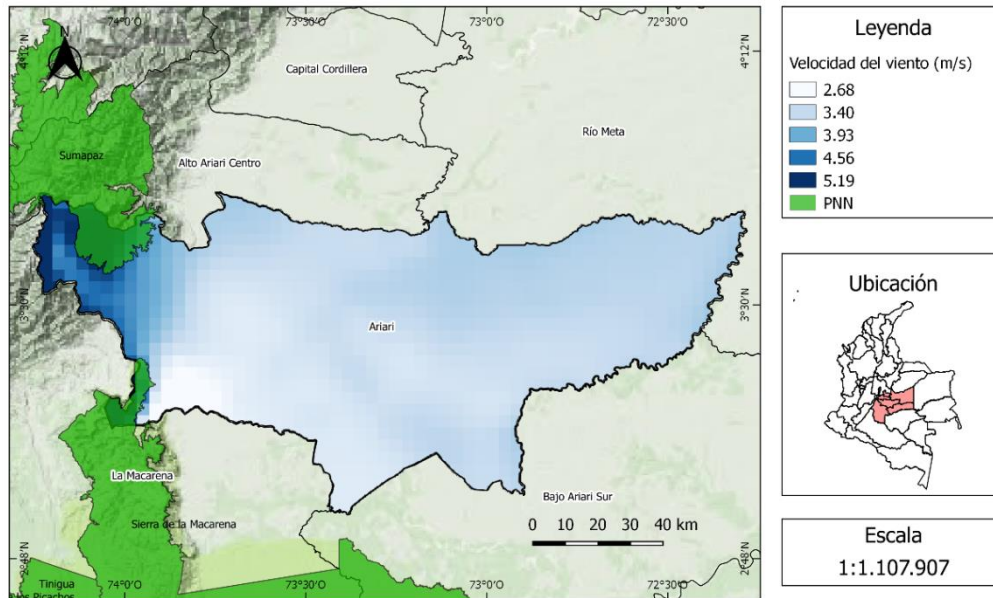


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015

La

Figura 38 corresponde al mapa de velocidad del viento obtenido del 3TIER, en este se observa un comportamiento homogéneo con velocidades de hasta 3.93 m/s, sin embargo, en el nororiente de la subregión como es el caso de los descritos anteriormente, se presenta el mayor potencial con velocidades que alcanzan 5.19 m/s.

Figura 38. Velocidad del viento en la subregión Ariari - 3TIER

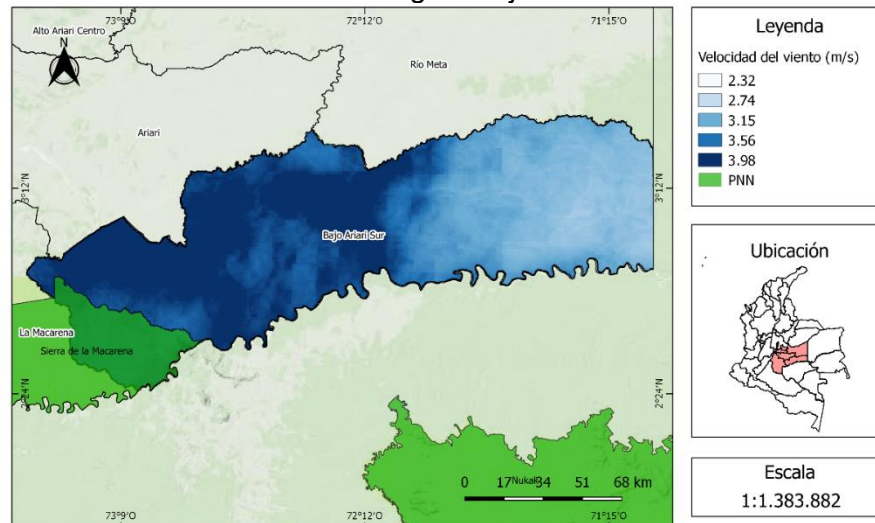


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

8.4.3. Subregión Bajo Ariari Sur

En la subregión Bajo Ariari Sur de acuerdo con el mapa obtenido del DTU la velocidad aumenta gradualmente de derecha a izquierda, siendo el municipio de Puerto Rico el de más alto potencial eólico con velocidades de hasta 3.98 m/s, sin embargo, gran parte de su territorio corresponde al PNN Sierra de La Macarena como se observa en la *Figura 39*.

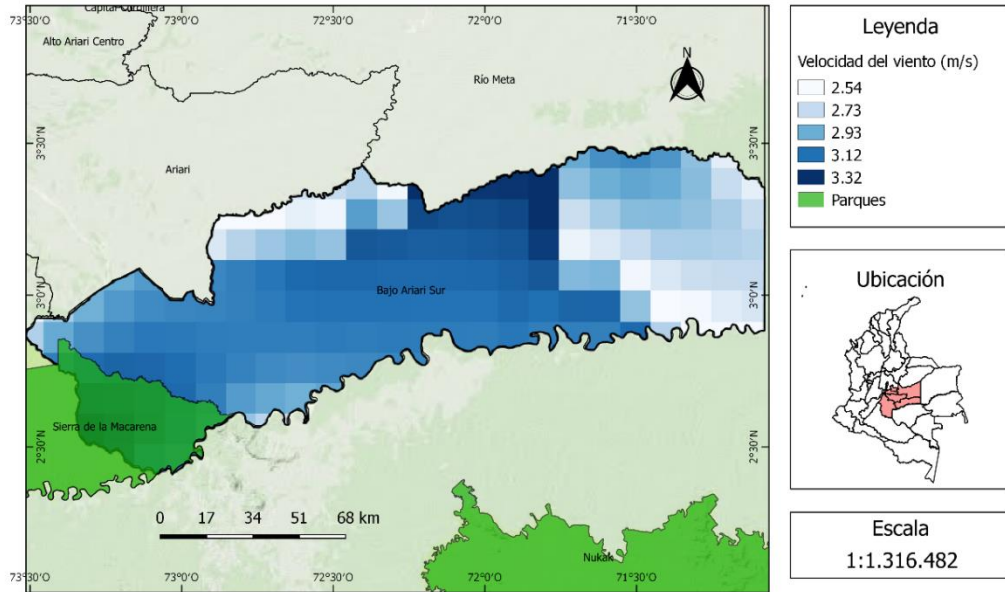
Figura 39. Velocidad del viento en la subregión Bajo Ariari Sur - DTU



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

De acuerdo con la *Figura 40* el menor potencial corresponde al oriente y noroccidente del municipio de Mapiripán con velocidades de 2.54 m/s a 2.73 m/s, mientras la zona centro y occidente de la subregión tienen velocidades de hasta 3.32 m/s.

Figura 40. Velocidad del viento en la subregión Bajo Ariari Sur - CENER

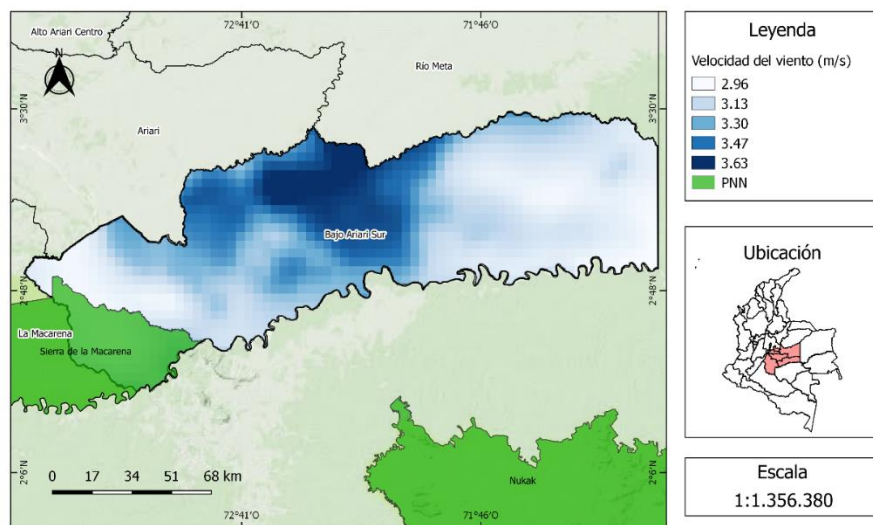


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

Contrario a lo expuesto en los mapas anteriores, en la

Figura 41 se observa que el mayor potencial se concentra en el centro de la subregión en el municipio de Mapiripán con velocidades del orden de 3.63 m/s, por otra parte, en el oriente y occidente del territorio la velocidad es la más baja, con 2.96 m/s.

Figura 41. Velocidad del viento en la subregión Bajo Ariari Sur - 3TIER

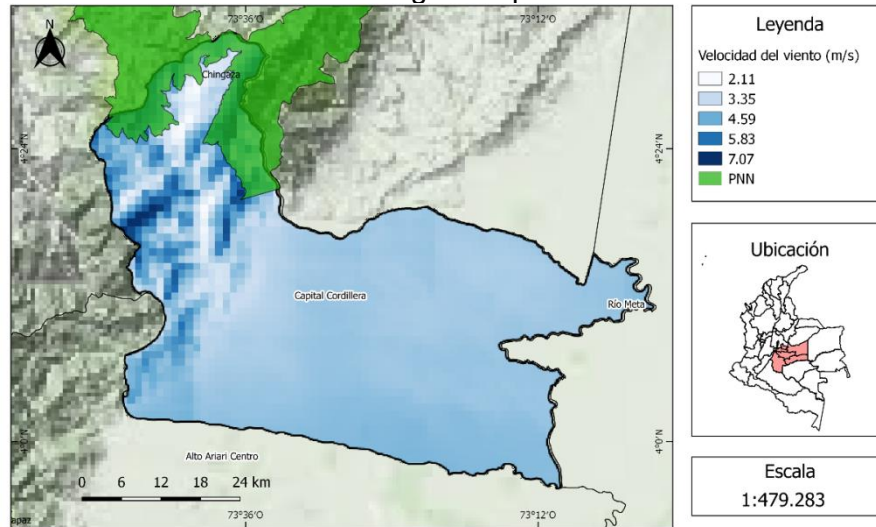


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015

8.4.4. Subregión Capital Cordillera

En la subregión Capital Cordillera el mapa obtenido del DTU describe un mayor potencial eólico en la zona correspondiente a la Cordillera Oriental incluyendo el PNN Chingaza, la velocidad del viento allí presenta valores máximos de 7.7 m/s. Por otra parte, el centro y oriente de la subregión tienen un comportamiento homogéneo con una velocidad de 3.35 m/s. Ver *Figura 42*.

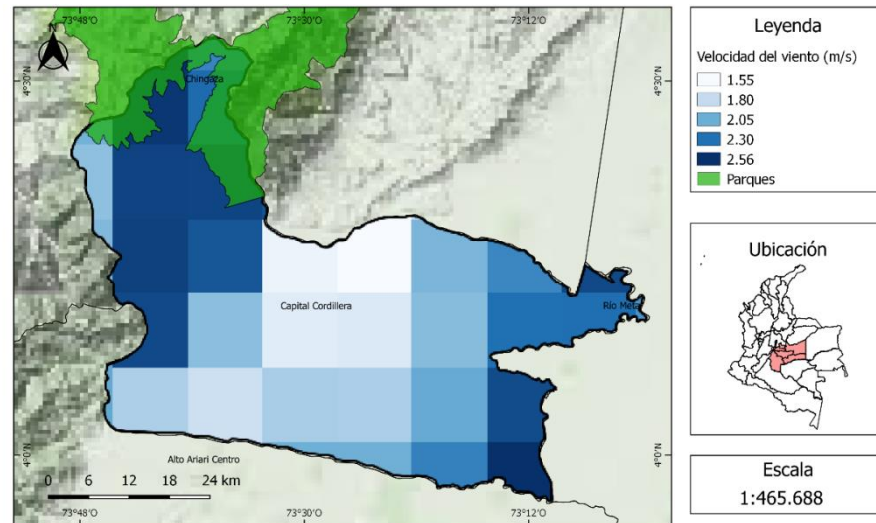
Figura 42. Velocidad del viento en la subregión Capital Cordillera - DTU



Fuente. *Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015*

En la *Figura 43* se observa que en el oriente y occidente de la subregión hay un potencial eólico alto con una velocidad de viento de hasta 2.56 m/s, caso contrario ocurre en el centro del territorio, en los municipios de Villavicencio, Restrepo y Cumaral, cuya velocidad oscila entre 1.55 m/s a 2.05 m/s.

Figura 43. Velocidad del viento en la subregión Capital Cordillera - CENER

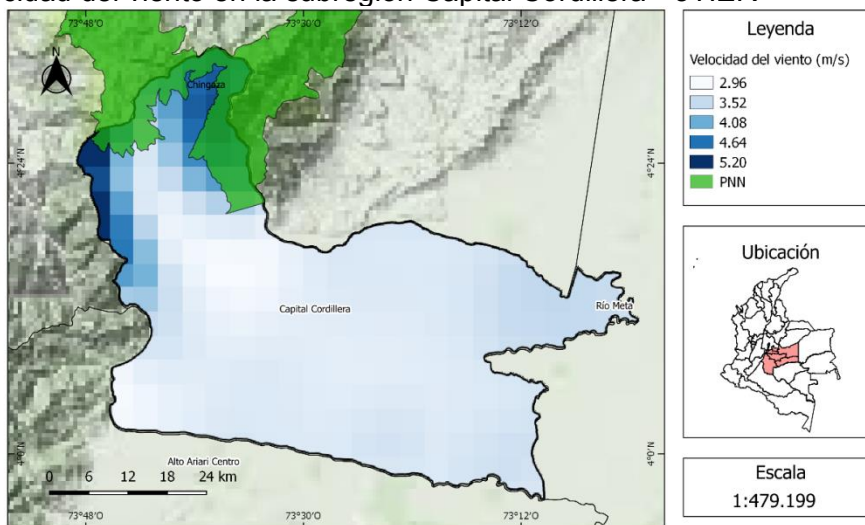


Fuente. *Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015*

El potencial eólico más alto se presenta al occidente de la subregión en los municipios de El Calvario y San Juanito, cuya velocidad tiene un máximo de 5.20 m/s. Los municipios de Villavicencio, Restrepo y Cumaral, por el contrario, presentan una velocidad más baja, con valores por debajo de 3 m/s. Esta información se puede verificar en la

Figura 44.

Figura 44. Velocidad del viento en la subregión Capital Cordillera - 3TIER

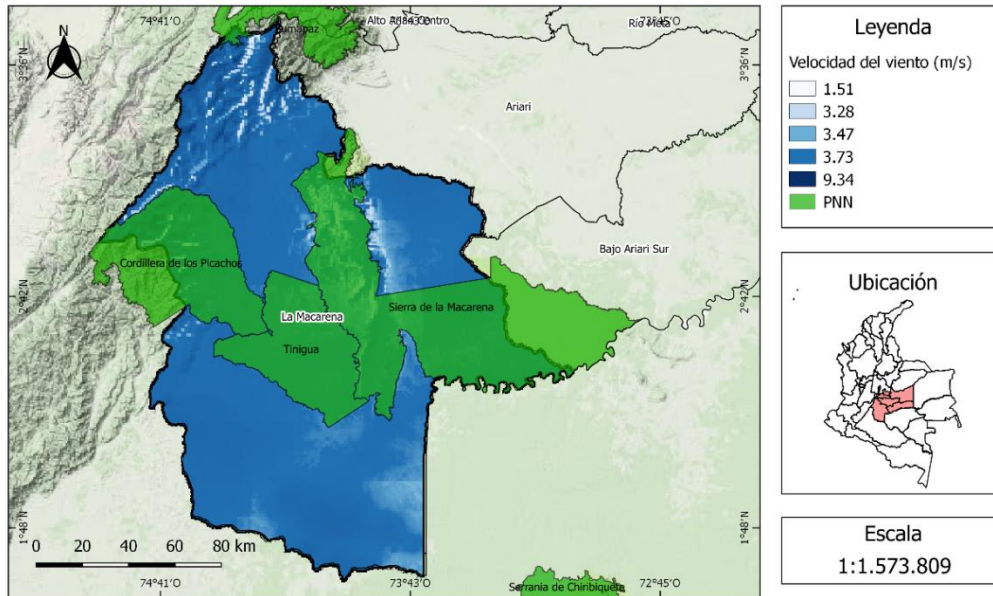


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

8.4.5. Subregión La Macarena

El potencial eólico de la subregión La Macarena es bastante disperso, sin embargo, se identifica el sur, en el municipio de La Macarena y el centro de la subregión como las zonas de menor velocidad en los vientos, esto se observa en la *Figura 45*. Pese a esto, es de resaltar que la subregión posee el promedio más alto de la velocidad en los vientos, con valores máximos de 9.34 m/s que fueron identificados en la zona norte, en la Cordillera Oriental y en las veredas aledañas al PNN Sierra de la Macarena.

Figura 45. Velocidad del viento en la subregión La Macarena - DTU

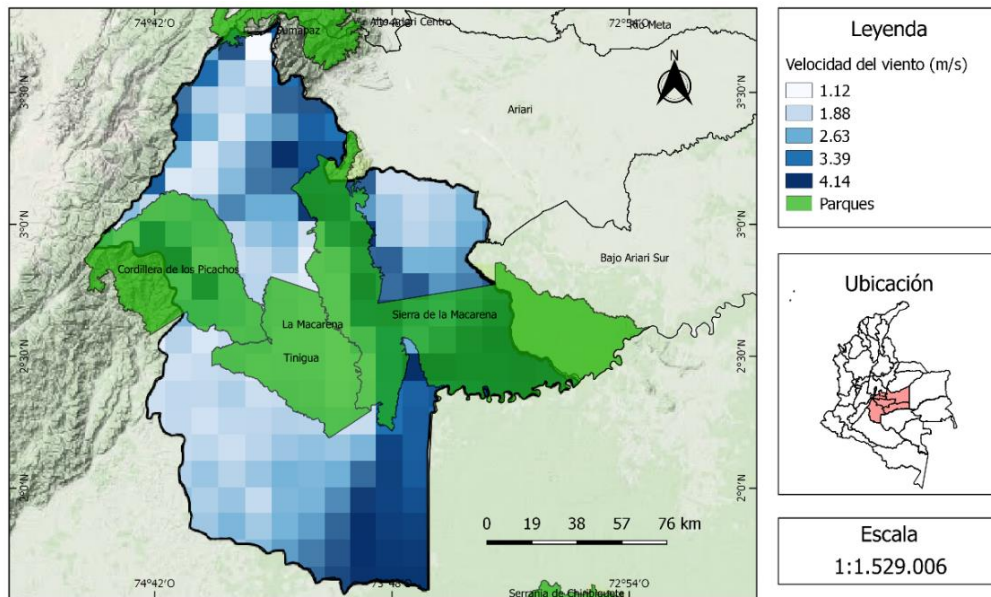


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015

En el mapa obtenido del CENER se puede apreciar que la velocidad de los vientos en el norte de la subregión, el costado derecho del PNN Sierra de la Macarena y el oriente del municipio La Macarena oscila entre 3.39 m/s a 4.1.4 m/s, siendo esta la más alta de la subregión. Por otra parte, los valores mínimos se presentan en La Uribe y el norte de la Macarena, incluyendo el PNN, allí la velocidad es inferior a 2 m/s, como se observa en la

Figura 46.

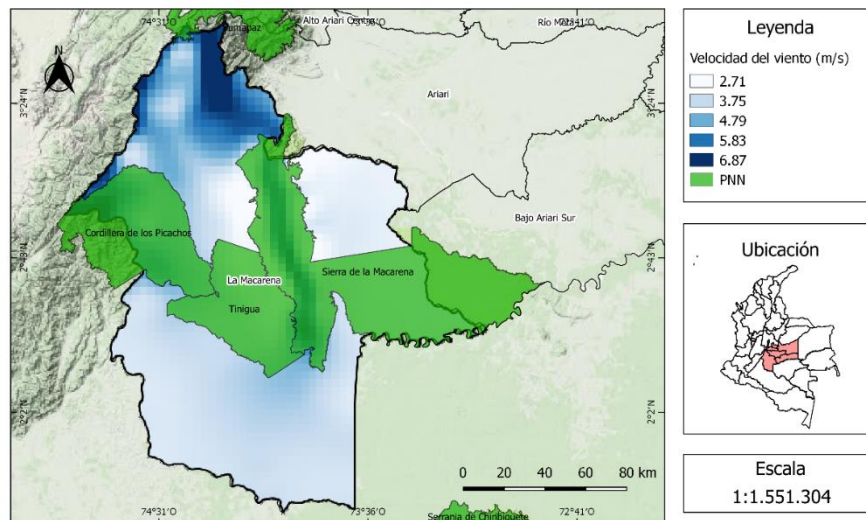
Figura 46. Velocidad del viento en la subregión La Macarena - CENER



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015.

En el mapa obtenido de 3TIER se observa que al norte y nororiente de la subregión, y en el PNN la Sierra de la Macarena exactamente en límite entre los municipios de Mesetas y Vista Hermosa, se presenta la mayor velocidad en los vientos con un máximo de 6.87 m/s. El resto del territorio posee un comportamiento uniforme con vientos por debajo de 3 m/s. Ver Figura 47.

Figura 47. Velocidad del viento en la subregión La Macarena - 3TIER



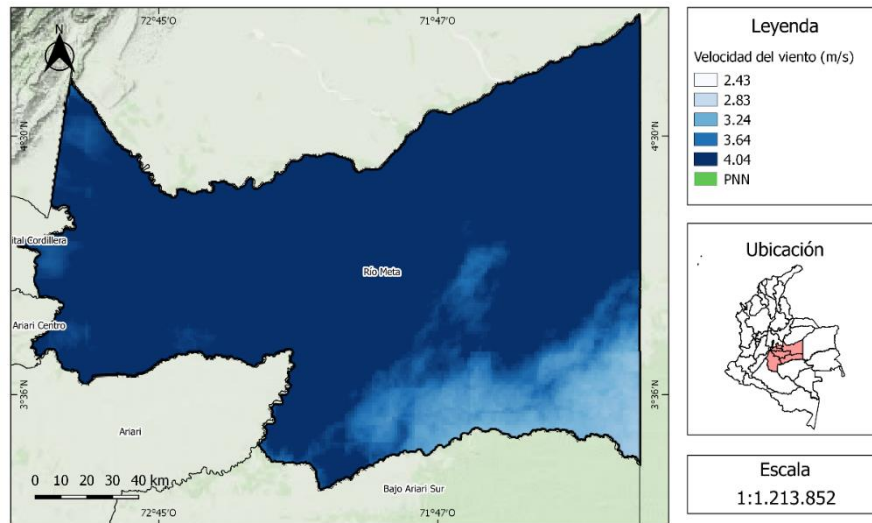
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015

8.4.6. Subregión Río Meta

La velocidad del viento en la subregión Río Meta es de 2.43 m/s en el sur del municipio de Puerto Gaitán y de 3.24 m/s a 4.04 m/s en Cabuyaro, Barranca de Upía, Puerto López y el norte de Puerto Gaitán, esto de acuerdo con el mapa obtenido del DTU que se observa en la

Figura 48.

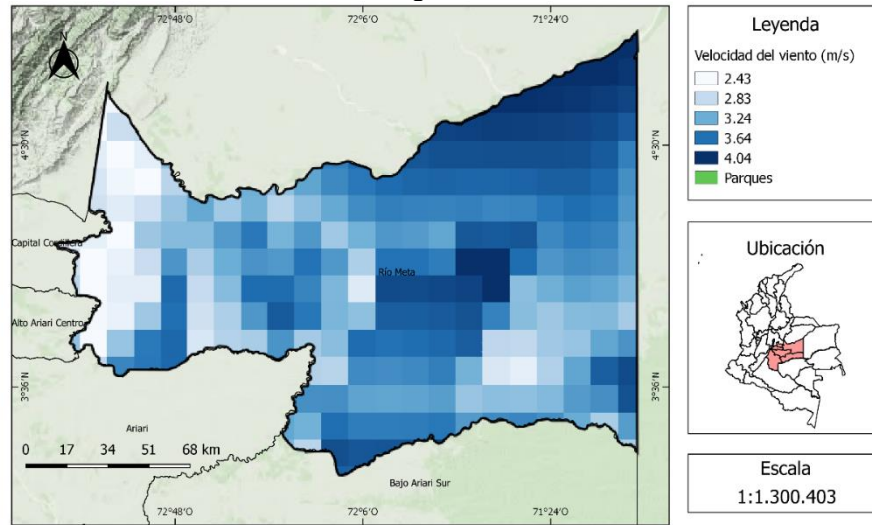
Figura 48. Velocidad del viento en la subregión Río Meta - DTU



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015

El mapa de velocidad del viento obtenido del CENER muestra que el occidente de la subregión, comprendido por los municipios de Barranca de Upía, Cabuyaro y el occidente de Puerto López tiene los niveles más bajos con un rango de 2.20 m/s a 2.52 m/s. El resto del territorio tiene un comportamiento bastante disperso, sin embargo, se destaca el nororiente de Puerto Gaitán con velocidades de 3.48 m/s. Ver Figura 49.

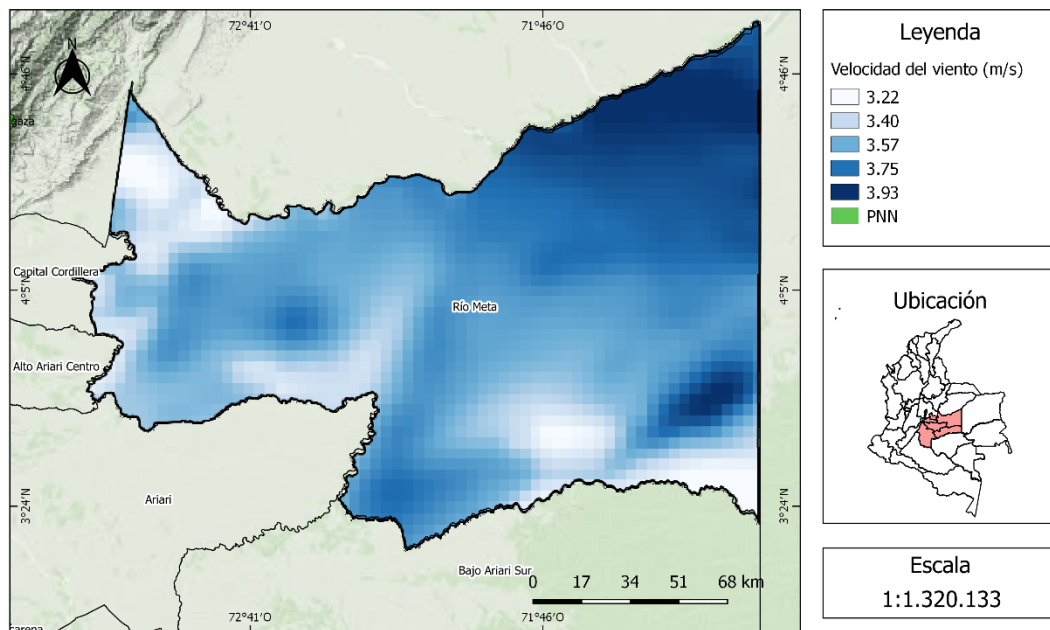
Figura 49. Velocidad del viento en la subregión Río Meta - CENER



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA - 2015

En la Figura 50 se observa que la menor velocidad en los vientos se presenta en los municipios de Barranca Upía, Cabuyaro y el suroriente de Puerto Gaitán con un rango de 3.22 m/s a 3.40 m/s. Adicionalmente, el norte de Puerto Gaitán posee nuevamente la velocidad más alta de la subregión, siendo esta de 3.93 m/s.

Figura 50. Velocidad del viento en la subregión Río Ariari - 3TIER



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Global IRENA – 2015

9. ENERGÍA DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

La producción agrícola en el departamento del Meta está conformada por cultivos permanentes y cultivos transitorios; éstos aportaron un total de 339.407 hectáreas (ha) de área cosechada en el año 2015. En la *Tabla 3* se observan los datos registrados en departamento de Meta para los años 2007 a 2015.

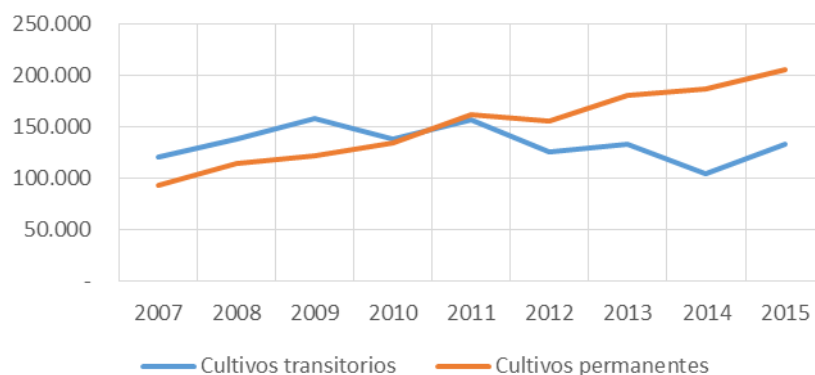
Tabla 3. Área cosechada por tipos de cultivo (2007-2015)

Año	Cultivos permanentes (ha)	Cultivos transitorios (ha)	Total (ha)
2007	93.176	120.863	214.039
2008	114.979	138.417	253.396
2009	122.283	158.896	281.179
2010	134.716	138.400	273.116
2011	162.091	157.286	319.376
2012	156.575	125.788	282.363
2013	180.595	133.590	314.185
2014	186.928	104.370	291.298
2015	205.679	133.728	339.407

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

Según la *Tabla 3*, la cosecha agrícola en el departamento del Meta en el año 2015, estuvo conformada en un 60,59% (205.679 ha) por cultivos permanentes y en un 39,41% (133.728 ha) por cultivos transitorios. Por otra parte, en la *Gráfica 36* se evidencia que a partir del 2011 los cultivos permanentes tienen un mayor número de hectáreas cosechadas que los cultivos transitorios.

Gráfica 36. Registro del área cosechada por tipo de cultivos (2007-2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.1. CULTIVOS PERMANENTES

Los cultivos permanentes son aquellos que al ser plantados tienen un largo periodo de producción, esto permite obtener cosechas durante varios años sin la necesidad de volver a ser sembrados después de cada cosecha (DANE, 2014). En el departamento del Meta, se cosechan los siguientes cultivos permanentes según el registro de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA): aguacate, banano, cacao, café, caña azucarera, caña panelera, caucho, cítricos, guanábana, guayaba, lulo, mangostino, maracuyá, mora, palma de aceite, papaya, piña, plátano, sagú, tomate de árbol, yuca y zapote.

La *Tabla 4* permite observar el área sembrada, área cosechada y la producción de los cultivos permanentes mencionados anteriormente durante los años 2014 y 2015.

Tabla 4. Cultivos permanentes presentes en el departamento del Meta (2014 y 2015).

Cultivo	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Caña Azucarera	7276	9065	4720	7065	396.498	593.460
Palma de aceite	205.838	221.266	139.567	153.054	412.063	509.048

Plátano	16.585	16.944	14.099	15.009	234.867	256.197
Piña	2092	2684	1792	2386	94.012	120.390
Cítricos	6437	6522	5961	5888	107.291	109.175
Yuca	4984	5419	4984	5409	71.076	88.577
Guayaba	4287	4393	2790	2851	42.343	43.988
Papaya	579	662	467	565	16.241	19.027
Maracuyá	1151	925	1008	852	19.144	15.472
Caña panelera	1480	1464	1443	1404	9633	8655
Aguacate	647	780	519	527	4788	5306
Caucho	18.757	19.859	1297	1783	1494	3509
Café	3439	3534	2740	2922	1951	3206
Cacao	6808	7340	5027	5416	2992	3201
Lulo	121	106	112	99	1324	1287
Mora	109	105	97	89	1354	1146
Guanábana	150	155	150	142	1045	1035
Tomate de árbol	28	29	23	18	575	396
Mangostino	50	393	25	66	103	336
Sagú	57	82	57	82	186	264
Banano	33	30	28	28	200	185
Zapote	10	10	10	8	180	144

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

Según la *Tabla 4* los cultivos permanentes de mayor producción en el 2015 fueron: caña azucarera, palma de aceite, plátano, piña y cítricos. Estos cultivos fueron seleccionados para el respectivo estudio de su potencial energético ya que entre ellos suman un total de 1'588.269 toneladas, es decir, el 89,02% de la producción total de los cultivos permanentes del departamento.

9.1.1. Caña de azúcar

La caña de azúcar es el cultivo permanente con mayor producción en el departamento del Meta, aportó el 33,26% de 1'784.107 toneladas que se produjeron en el 2015. En ese mismo año su área sembrada fue de 9.065 ha, de las cuales se cosecharon 7.065 ha, es

decir un 77,93%; también se destaca un aumento del 49,67% en la producción del año 2015 respecto al 2014.

La *Tabla 5* registra información del área sembrada, área cosechada y producción de caña de azúcar en el departamento en los años 2014 y 2015.

Tabla 5. Cultivo de caña de azúcar por subregiones (2014 y 2015).

Subregión	Área sembrada (Ha)		Área cosechada (Ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	0	0	0	0	0	0
Ariari	0	0	0	0	0	0
Bajo Ariari sur	0	0	0	0	0	0
Capital cordillera	0	0	0	0	0	0
La Macarena	0	0	0	0	0	0
Rio Meta	7276	9065	4720	7065	396.498	593.460

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 37* se presentan las toneladas de producción de caña de azúcar por subregión en el año 2015. De acuerdo con ésta, el 100% se obtuvo de la subregión Rio Meta, mientras que en las otras subregiones no hay registro de información respecto a este cultivo. De los municipios que conforman la subregión del Rio Meta, Puerto López fue el único que produjo caña de azúcar en el 2015 (593.460 Ton).

Gráfica 37. Producción de caña de azúcar por subregión (2015).



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.1.2. Palma de aceite

La palma de aceite es el segundo cultivo permanente con mayor producción en el departamento del Meta, aportó el 28,53% de 1'784.107 toneladas que se produjeron en el año 2015. En ese mismo año su área sembrada fue de 221.266 ha, de las cuales se cosecharon 153.064 ha, es decir un 69,17%. También se observa que aumentó en el año 2015 la producción en un 23,53% respecto al año 2014, lo cual es justificable ya que el Meta tiene terrenos que cuentan con los requerimientos óptimos de humedad, oxígeno y temperatura para el cultivo de la palma de aceite.

La *Tabla 6* registra información del área sembrada, área cosechada y producción de palma de aceite en el departamento en los años 2014 y 2015.

Tabla 6. Cultivo de palma de aceite por subregión (2014 y 2015).

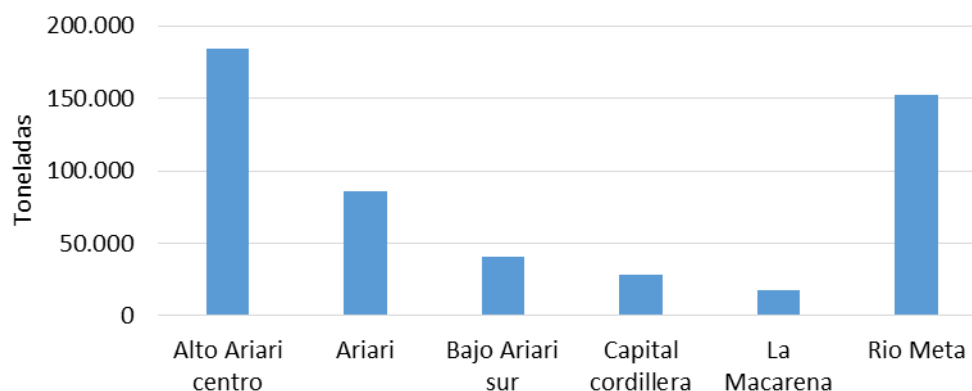
Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	78.355	79.102	54.775	54.652	162.423	183.976
Ariari	30.906	32.990	24.590	28.466	71.679	85.969
Bajo Ariari sur	24.500	27.500	10.015	11.720	28.888	41.020
Capital cordillera	8235	9458	8037	8092	23.887	28.034
La Macarena	7500	8300	6400	6700	19.008	18.065
Rio Meta	56.342	63.916	35.750	43.424	106.178	151.984

Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 38* se presentan las toneladas de producción de palma de aceite por subregión en el año 2015. Se observa que las subregiones Alto Ariari Centro y Rio Meta son las principales productoras de palma de aceite y suman entre ellas un total de 66% lo cual equivale a 335.960 toneladas de las 509.048 producidas en el 2015. Los municipios que más produjeron aceite de palma en el 2015 en la subregión Alto Ariari Centro fueron San Carlos de Guaroa con 52,32% (96.250 Ton) y Acacias con 30,44% (56.000 Ton); y en

la subregión Río Meta fueron Puerto Gaitán con 34,54% (52.500 Ton) y Barranca de Upía con 30,34% (46.109 Ton).

Gráfica 38. Producción de palma de aceite en el departamento del Meta (2015).



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.1.3. Plátano

El plátano es el tercer cultivo permanente con mayor producción en el departamento del Meta, aportó un 14,36% de 1'784.107 toneladas que se produjeron en el 2015. En ese mismo año su área sembrada fue de 16.944 ha, de las cuales se cosecharon 15.099 ha, es decir un 89,11%. Por otra parte, se observa un aumento del 9,08% en la producción del año 2015 respecto al 2014. La *Tabla 7* registra información del área sembrada, área cosechada y producción de plátano en el departamento en los años 2014 y 2015.

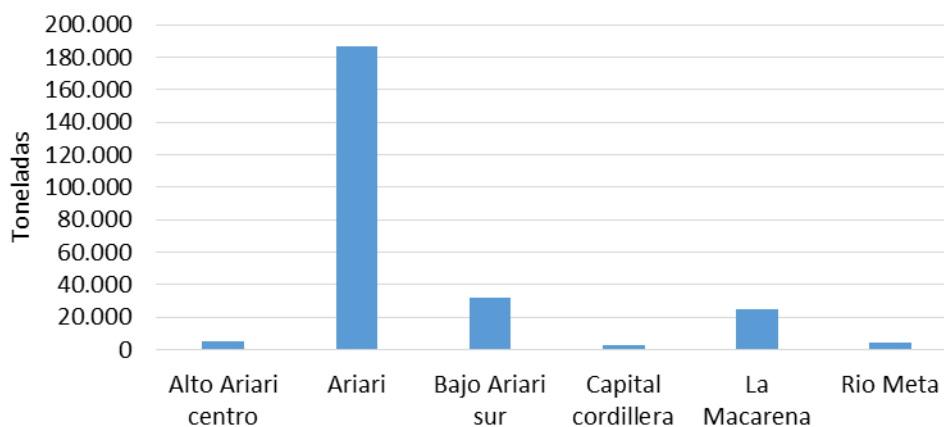
Tabla 7. Cultivo de plátano por subregión (2014 y 2015).

Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (Ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	447	407	364	382	5027	5377
Ariari	11.584	11.444	10.024	10644	168.238	186.808
Bajo Ariari sur	2136	2550	1674	1830	31.304	32.180
Capital cordillera	203	208	137	176	1988	2544
La Macarena	1845	1855	1635	1595	25.150	25.000
Río Meta	370	480	265	382	3160	4288

Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la Gráfica 39 se presentan las toneladas de producción de plátano por subregión en el año 2015. Se resaltan las subregiones Capital cordillera, Rio Meta y Alto Ariari Centro por su bajo aporte, con tan solo un 4,77% equivalente a 12.209 toneladas de las 256.197 obtenidas en el 2015. Por otra parte, la subregión Ariari fue la que más tuvo producción de plátano con un 72,92% lo que equivale a 186.808 toneladas. Los municipios que más produjeron plátano en el 2015 en la subregión del Ariari fueron Fuente de oro con 46,25% (86.400 Ton) y Puerto Lleras con 19,27% (36.000 Ton), en la subregión Bajo Ariari Sur está Puerto Rico con 58,73% (18.900 Ton) y en la subregión de La Macarena se encuentra el municipio de Mesetas con 34% (8500 Ton).

Gráfica 39. Producción de plátano en el departamento del Meta (2015).



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.1.4. Piña

La piña es el cuarto cultivo permanente con mayor producción en el departamento del Meta, aportó el 6,75% de 1'784.565 toneladas que se produjeron en el 2015. En el mismo año, su área sembrada fue de 2.684 hectáreas, de las cuales se cosecharon 2386 hectáreas, es decir un 88,89%. También se observa que este cultivo aumentó su producción en un 28,05% en el 2015 respecto al año 2014.

La Tabla 8 registra información del área sembrada, área cosechada y producción de piña en el departamento en los años 2014 y 2015.

Tabla 8 Cultivo de piña por subregión (2014 y 2015).

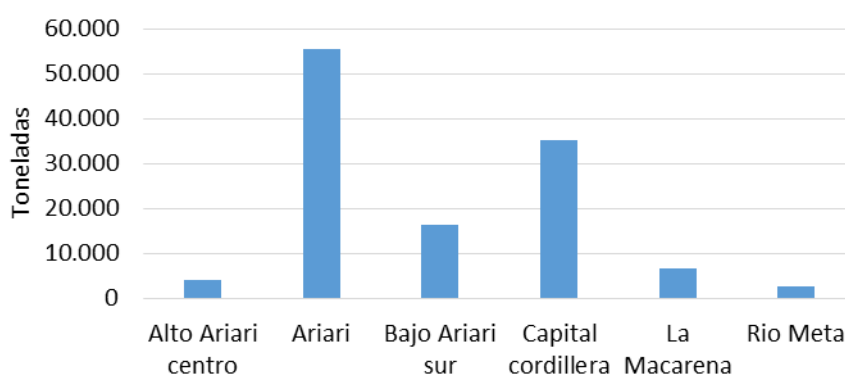
Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015

Alto Ariari centro	23	147	8	101	330	4220
Ariari	884	1043	713	969	45.420	55.565
Bajo Ariari sur	187	430	151	360	7239	16.240
Capital cordillera	771	776	769	738	34.525	35.198
La Macarena	168	188	123	153	5301	6543
Rio Meta	59	100	28	65	1197	2624

Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 40* se presentan las toneladas de producción de piña por subregión en el año 2015. Se evidencia que las subregiones Ariari y Capital Cordillera son las principales productoras de piña, pues suman entre sí un 75,39% lo que equivale a 90.763 toneladas de las 120.390 producidas en el 2015; entre las otras cuatro subregiones conforman las 26.627 toneladas restantes. Los municipios que más produjeron piña en el 2015 en la subregión del Ariari fueron Granada con 34,84% (19.360 Ton) y Fuente de oro con 33,92% (18.850 Ton) mientras que en la subregión Capital Cordillera, Villavicencio fue el municipio que más tuvo producción de este cultivo con 96,41% (35.198 Ton).

Gráfica 40. Producción de piña en el departamento del Meta (2015)



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA)

9.1.5. Cítricos

Los cítricos son el quinto cultivo permanente con mayor producción en el departamento del Meta, aportaron el 6,12% de 1.784.107 toneladas que se produjeron en el 2015.

Durante dicho año su área sembrada fue de 6.522 hectáreas, de las cuales se cosecharon 5888 hectáreas, es decir un 90,27%. También se destaca un aumento del 1,75% en la producción del año 2015 respecto al 2014.

La *Tabla 9* registra información del área sembrada, área cosechada y producción de cítricos en el departamento en los años 2014 y 2015.

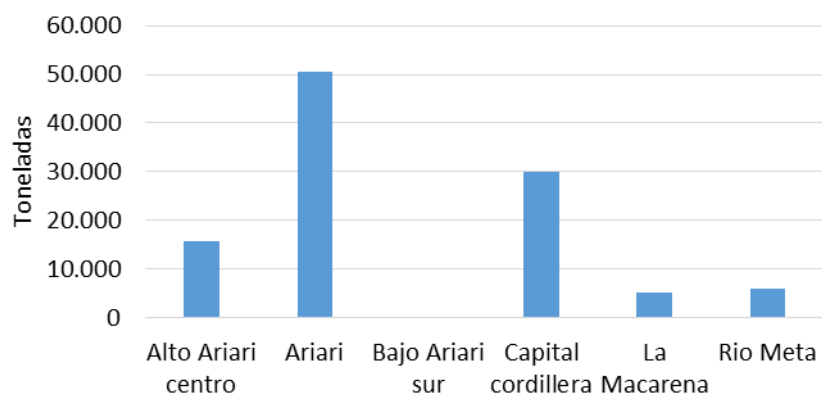
Tabla 9 Cultivos de cítricos por subregión (2014 y 2015).

Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	945	973	922	900	15.623	15.155
Ariari	3230	3280	2840	2907	50.560	53.997
Bajo Ariari sur	0	0	0	0	0	0
Capital cordillera	1682	1682	1677	1602	29.834	28.620
La Macarena	248	250	215	212	5220	5290
Rio Meta	332	337	307	267	6054	6113

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 41* se presentan las toneladas de producción de cítricos por subregión en el año 2015. Se observa que las subregiones Ariari y Capital cordillera son las principales productoras con un total de 75,67% que equivale a 82.617 toneladas de las 109.175 producidas en el 2015. La subregión Bajo Ariari sur no presenta registros de información en cuanto a la producción de cítricos, mientras que las subregiones Alto Ariari centro, La Macarena y Rio Meta conforman el 24,33% restante (26.558 Ton). En la subregión Ariari, exactamente en el municipio de Lejanías predominó la producción de cítricos en el año 2015 con 81,99% (44.270 Ton) mientras que, en la subregión de la Capital Cordillera, el municipio más productor fue Villavicencio con 91,51% (26.190 Ton).

Gráfica 41. Producción de cítricos en el departamento del Meta (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.2. CULTIVOS TRANSITORIOS

Los cultivos transitorios son aquellos cultivos cuyo ciclo vegetativo suele ser menor a un año; su característica fundamental es que después de cada cosecha, tienen la necesidad de volver a sembrarse (DANE, 2014). En el departamento del Meta, se cosechan los siguientes cultivos transitorios según el registro de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA): ahuyama, arroz, arveja, cebolla de bulbo, cebolla de rama, cilantro, frijol, habichuela, maíz, maíz forrajero, papa, patilla, pepino, soya y tomate.

La *Tabla 10* permite observar el área sembrada, área cosechada y la producción de los cultivos transitorios mencionados anteriormente durante los años 2014 y 2015.

Tabla 10 Cultivos transitorios presentes en el departamento del Meta (2014 y 2015).

Cultivo	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Arroz	39.763	63.540	39.763	63.191	200.021	318.483
Maíz	35.623	43.971	35.623	43.810	180.020	247.742
Patilla	2476	3086	2476	2886	85.265	92.731
Soya	22.608	18.810	22.608	18810	52.954	50.005
Maíz forrajero	1509	2237	1509	2237	28.786	43.081
Frijol	2346	2667	2309	2667	2341	2547
Ahuyama	40	54	40	54	818	873
Tomate	4	7	4	7	100	108
Pepino	9	11	9	10	47	43
Cebolla de rama	2	2	2	2	40	40

Habichuela	10	10	10	10	36	40
Cebolla de bulbo	2	2	2	2,5	24	30
Arveja	9	35	9	35	7	29
Papa	2	2	2	2	12	26
Cilantro	5	4	5	4	20	16

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

Según la *Tabla 10*, los cultivos transitorios de mayor producción en el 2015 fueron: arroz, maíz, patilla y soya. Estos cultivos fueron seleccionados para el respectivo estudio de su potencial energético ya que entre ellos suman un total de 708.961 toneladas, es decir, el 93,80% de la producción total de los cultivos transitorios del departamento en el año 2015.

9.2.1. Arroz

El cultivo de arroz es el cultivo transitorio con mayor producción en el departamento del Meta, aportó un 42,14% de las 755.795 toneladas que se produjeron en el 2015. Durante este mismo año su área sembrada fue de 63.540 hectáreas, de las cuales se cosecharon 63.191 hectáreas, es decir que se tuvo una eficiencia del 99,45% en este cultivo. También se puede observar que este cultivo aumentó en 59,22% su producción en el año 2015 con respecto al año 2014.

La *Tabla 11* registra información del área sembrada, área cosechada y producción de arroz en el departamento en los años 2014 y 2015.

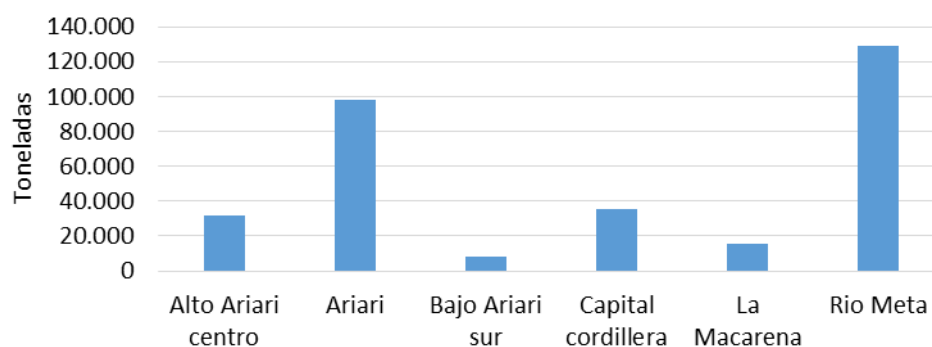
Tabla 11 Cultivo de arroz por subregión (2014 y 2015).

Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	3558	6238	3558	6162	19.342	31.859
Ariari	12.838	19.780	12.838	19.725	65.121	98.389
Bajo Ariari sur	1120	1703	1120	1700	5615	8445
Capital cordillera	4418	7119	4418	7075	23.158	35.752
La Macarena	2023	3095	2023	3089	10.298	15.291
Rio Meta	15.806	25.606	15.806	25.438	76.488	128.744

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 42* se presentan las toneladas de producción de arroz por subregión en el año 2015. Se puede apreciar que las subregiones Ariari y Rio Meta son las principales productoras de arroz con un total de 71,32% lo que equivale a 227.134 toneladas de las 318.483 obtenidas en el 2015. Los municipios de mayor producción de arroz en la subregión del Rio Meta fueron Puerto López con 57,01% (73.401 Ton) y Cabuyaro con 27,73% (35.702 Ton), mientras que en la subregión del Ariari fueron Fuente de oro con 65,11% (64.063 Ton) y Granada con 16,36% (16.100 Ton).

Gráfica 42. Producción de arroz en el departamento del Meta (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.2.2. Maíz

El maíz es el segundo cultivo transitorio con mayor producción en el departamento del Meta, aportó un 32,78% de las 755.795 toneladas que se produjeron en el 2015 y su área sembrada fue de 43.971 hectáreas, de las cuales se cosecharon 43.810 hectáreas, es decir que se tuvo una eficiencia del 99,63%. También se puede observar que este cultivo aumentó su producción 37,62% en el año 2015 respecto al año 2014.

La

Tabla 12 registra información del área sembrada, área cosechada y producción de maíz en el departamento en los años 2014 y 2015.

Tabla 12 Cultivo de maíz por subregión (2014 y 2015).

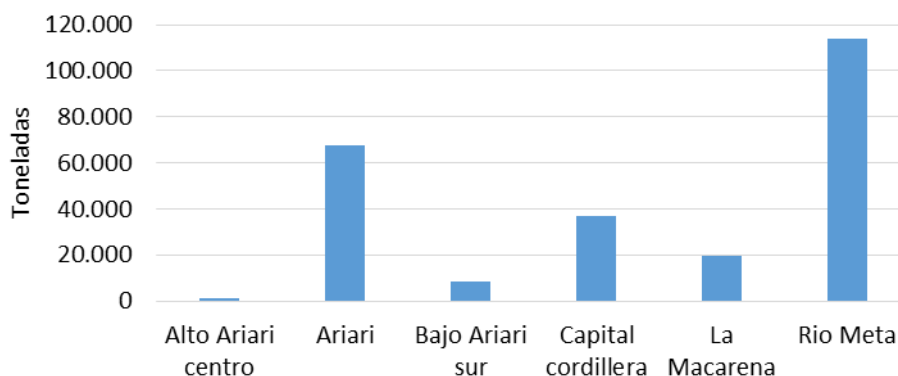
Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	117	320	117	320	207	1067

Ariari	8464	10.861	8464	10.791	43.759	67.830
Bajo Ariari sur	3020	3000	3020	3000	7026	8206
Capital cordillera	5221	6266	5221	6175	30.282	36.915
La Macarena	5690	5161	5690	5161	18.150	19.797
Rio Meta	13.111	18.363	13.111	18.363	80.596	113.930

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 43* se presentan las toneladas de producción de maíz por subregión en el año 2015. Se evidencia que las subregiones Rio Meta y Ariari son las principales productoras de maíz con un total de 73,37%, lo que equivale a 181.761 toneladas de las 247.747 producidas en el 2015. Los municipios de mayor producción de maíz en el 2015 en la subregión del Rio Meta fueron Puerto Gaitán con 57,25% (65.227 Ton) y Puerto López con 40,22% (45.825 Ton), mientras que en la subregión del Ariari fueron Granada con 44,70% (30.230 Ton) y Fuente de oro con 27,27% (18.499 Ton).

Gráfica 43. Producción de maíz en el departamento del Meta (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.2.3 Patilla

La patilla es el tercer cultivo transitorio con mayor producción en el departamento del Meta, aportó un 12,27% de las 755.795 toneladas que se produjeron en el 2015. En ese mismo año su área sembrada fue de 3086 hectáreas, de las cuales se cosecharon 2886 hectáreas, es decir que se tuvo una eficiencia del 93,51% en este cultivo. También se

puede observar que este cultivo aumentó su producción en 8,63% en el año 2015 con respecto al año 2014.

La *Tabla 13* registra información del área sembrada, área cosechada y producción patilla en el departamento en los años 2014 y 2015.

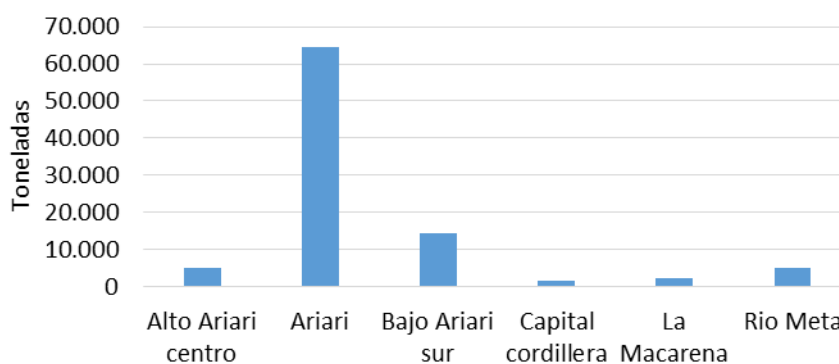
Tabla 13 Cultivo de patilla por subregión (2014 y 2015).

Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	115	180	115	180	3600	4885
Ariari	1872	2182	1872	1982	65.520	64.346
Bajo Ariari sur	310	445	310	445	9920	14.475
Capital cordillera	30	48	30	48	1050	1470
La Macarena	35	65	35	65	1225	2275
Rio Meta	114	166	114	166	3950	5180

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 44* se presentan las toneladas de producción de patilla por subregión en el año 2015. Se puede resaltar que la subregión del Ariari fue la que más tuvo producción de patilla con un 69,39% lo que equivale a la cifra de 64.346 toneladas. De los municipios que conforman la subregión del Ariari, el municipio San Martín fue el que más destacó en producción de patilla en el 2015 aportando un 88,69% (54.500 Ton).

Gráfica 44. Producción de patilla en el departamento del Meta (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.2.3. Soya

La soya es el cuarto cultivo transitorio con mayor producción en el departamento del Meta, aportó un 6,62% de las 755.795 toneladas que se produjeron en el 2015; en este mismo año su área sembrada fue de 18.810 hectáreas, de las cuales se cosecharon 18.810 hectáreas, es decir que se tuvo una eficiencia del 100% en este cultivo. También se puede observar que este cultivo disminuyó en el año 2015 la producción en un 5,56% con respecto al año 2014.

La *Tabla 14* registra información del área sembrada, área cosechada y producción de soya en el departamento en los años 2014 y 2015.

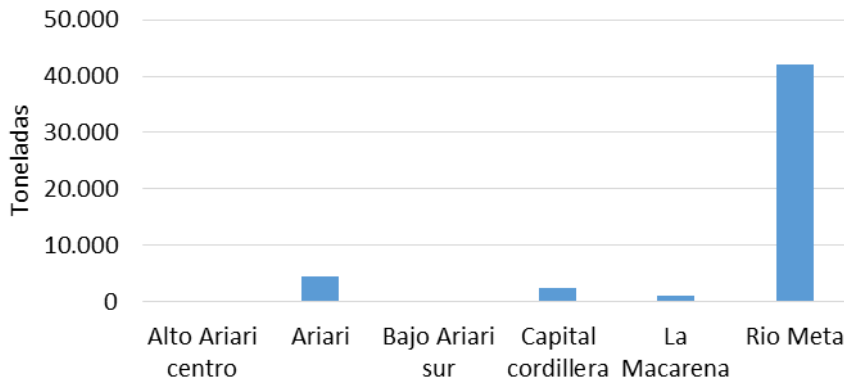
Tabla 14 Cultivo de soya por subregión (2014 y 2015).

Subregión	Área sembrada (ha)		Área cosechada (ha)		Producción (Ton)	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Alto Ariari centro	0	0	0	0	0	0
Ariari	576	2240	576	2240	1423	4480
Bajo Ariari sur	0	0	0	0	0	0
Capital cordillera	0	950	0	950	0	2375
La Macarena	0	560	0	560	0	1120
Rio Meta	22.032	15.060	22.032	15.060	51.530	42.030

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la *Gráfica 45* se presentan las toneladas de producción de soya por subregión en el año 2015. Se puede resaltar que la subregión del Río Meta fue la que más tuvo producción de soya con 84,05% lo que equivale a la cifra de 42.030 toneladas; mientras que las subregiones Alto Ariari Centro y Bajo Ariari Sur no presentan registros de producción. De los municipios que conforman la subregión del Río Meta, los municipios Puerto Gaitán y Puerto López conforman el 99,26% de la producción de soya en la subregión en el 2015 con 61,35% (25.785 Ton) y 37,91% (15.932 Ton) respectivamente.

Gráfica 45. Producción de soya en el departamento del Meta (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.3. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL AGRÍCOLA

Al cosechar un cultivo, ya sea permanente o transitorio, siempre quedan residuos orgánicos diferentes al producto agrícola principal y éstos usualmente son desechados. Sin embargo, estos residuos podrían ser empleados como una fuente de energía, para ello es necesario calcular la cantidad de residuos generados.

Cada cultivo lleva consigo uno o más tipos de residuos que a su vez tienen un factor de residuo. Cada factor de residuo está dado por el valor del peso del residuo dividido por el peso del producto principal (Ministerio de Minas y Energías, 2010). Al multiplicar los factores de residuos de los diferentes tipos de residuos que se generan al cosechar, por la cantidad de producción de este cultivo en el departamento, se puede estimar la cantidad de residuos que presenta este cultivo en todo el departamento. Esto se resume en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Cálculo en toneladas de uno de los residuos de un cultivo

$$Biomasa_{agrícola} = Producción_{agrícola}(\text{ton}) \times \text{Factor de residuo (RPR)}$$

Fuente. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia, 2010

Una vez determinada la cantidad de cada uno de los residuos generados por un cultivo, se hace un análisis para estimar el potencial energético que genera cada uno de estos al multiplicar dicha cantidad por el poder calorífico inferior (PCI) que posee el residuo. El poder calorífico inferior es la energía liberada en forma de calor durante una reacción por oxidación (Ministerio de Minas y Energías, 2010).

En la *Tabla 15* se plantea un ejemplo para facilitar al lector el entendimiento del proceso para calcular el potencial energético de un cultivo.

Tabla 15 Calculo del potencial energético de un cultivo.

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	28.034	Cuesco	0,22	6167,48	16.685,79	102'909.276,11	255,18
		Fibra	0,63	17.661,42	17.882,42	315'828.930,24	
		Raquis	1,06	29.716,04	16.823,86	499'938.496,71	

Fuente. Autores

Según el ejemplo anterior, la palma de aceite tuvo una producción de 28.034 Toneladas en cierta cantidad de tiempo; a continuación, se explicará cada uno de los pasos hasta hallar su potencial energético:

- **Tipo de residuo:** Son los residuos que se generan al cosechar la palma de aceite.
- **Factor de residuo:** Es el valor del peso del residuo dividido por el peso del producto principal.
- **Masa del residuo:** Es la ecuación planteada en la *Ecuación 1* que está dada por la multiplicación de la producción (Ton) por el factor de residuo.
- **PCI:** El PCI se obtiene de diferentes libros, documentos y artículos relacionados con el estudio de la agricultura.
- **Potencial Energético:** Se obtiene al multiplicar la masa del residuo por su respectivo PCI.
- **Energía total:** Es la conversión de la suma de los potenciales energéticos de un cultivo a GWh.

9.4. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS CULTIVOS PERMANENTES EN EL DEPARTAMENTO

Los cultivos permanentes más destacados respecto a la producción en el departamento son la palma de aceite, la caña de azúcar, el plátano, los cítricos y la piña; en la *Tabla 16* se muestran dichos cultivos, su producción, los residuos que genera, el factor de residuo de cada residuo, la masa de cada residuo que hay presente en el departamento, su poder calorífico inferior y el potencial energético en Joule y en Watts/hora que se podría aprovechar.

Tabla 16 Potencial energético de los cultivos permanentes en el departamento del Meta (2015).

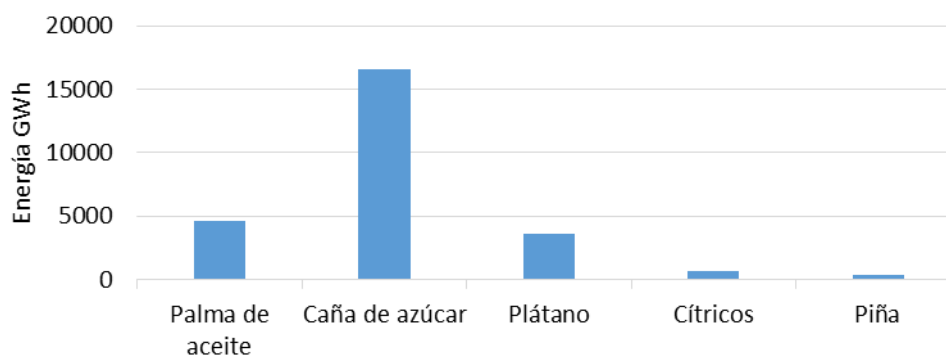
Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	509.048	Cuesco	0,22	111.990,56	16.685,79	1.868'650.966,14	4633,63
		Fibra	0,63	320.700,24	17.882,42	5.734'896.385,78	
		Raquis	1,06	539.590,88	16.823,86	9.078'001.422,40	
Caña de azúcar	593.460	Hojas y cogollo	3,26	1'934.679,60	15.413,86	29.82'880.499,26	16.519,95
		Bagazo	2,68	1'590.472,80	18.643,90	29.652'615.835,92	
Plátano	256.197	Raquis	1	256.197,00	7568,86	1.939'119.225,42	3563,76
		Vástago	5	1'280.985,00	8501,89	10.890'793.561,65	
Cítricos	109.175	Tallos y hojas	1,8	196.515,00	12.560,37	2.468'301.110,55	685,62
Piña	120.390	Tallos y hojas	0,9	108.351,00	12.560,37	1.360'928.649,87	378,03
						Total	25.781,00

Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la

Gráfica 46 se observa el potencial energético en GWh de cada uno de los cinco cultivos permanentes de mayor producción en el departamento. El porcentaje más alto corresponde a la caña de azúcar con 64,07% (16.519,91 GWh) y el más bajo a la piña con 1.46% (378,03 GWh).

Gráfica 46. Potencial energético de los cultivos permanentes en el departamento (2015).



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.5. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS CULTIVOS TRANSITORIOS EN EL DEPARTAMENTO

Como se mencionó anteriormente, los cultivos transitorios más representativos en cuanto a producción en el departamento son el arroz, el maíz, la patilla y la soya; por lo cual estos cultivos son objetos de análisis para estimar el potencial energético que pueden brindar. Se debe aclarar que los cultivos de patilla y soya a pesar de ser un importante cultivo ocupando un 12,27% y 6,62% respectivamente en la región, sus residuos no tienen un gran aprovechamiento energético ya que su poder calorífico inferior es muy bajo.

En la *Tabla 17*, se muestran los cultivos, su producción, los residuos que generan, el factor de residuo de cada residuo, la masa de cada residuo que hay presente en el departamento, su poder calorífico inferior y el potencial energético en Joule y en Watts/hora que se podría aprovechar.

Tabla 17 Potencial energético de los cultivos transitorios en el departamento del Meta (2015).

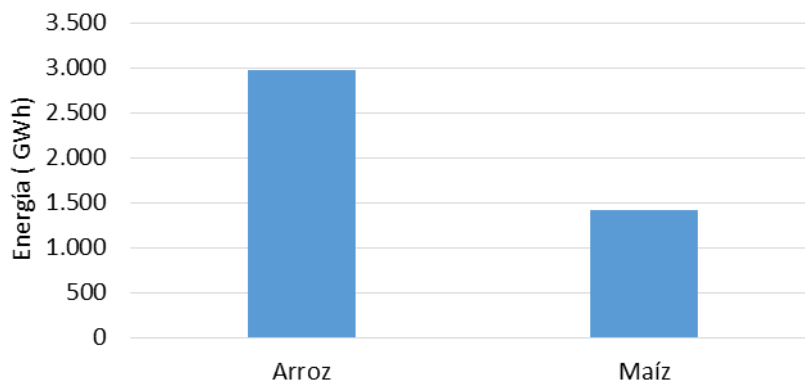
Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Arroz	318.483	Tamo	2,35	748.435	13.024,79	9.748'209.354,89	2974,48
		Cascarilla	0,2	63.696,60	15.074,95	960'223.060,17	
		Rastrojo	0,934	230.400,06	14.346,94	3.305'535.836,82	
Maíz	247.742	Tusa	0,27	66.890,34	14.183,76	948'756.528,88	1412,38
		Capacho	0,211	52.025,82	15.961,96	830'434.057,81	
						Total	4386,86

Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

En la

Gráfica 47 se observa el potencial energético en GWh de los dos cultivos transitorios de mayor producción en el departamento, se destaca el arroz con un 67,8% (2974,48 GWh).

Gráfica 47. Potencial energético de los cultivos transitorios en el departamento del Meta (2015).

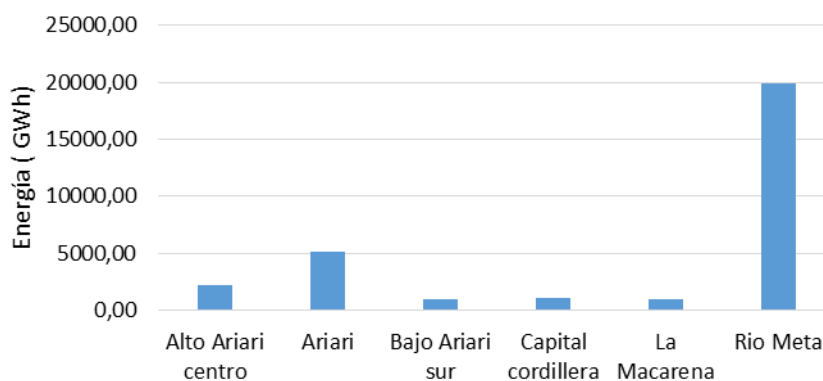


Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.6. OFERTA ENERGÉTICA EN EL DEPARTAMENTO

La **Error! Reference source not found.** muestra la estimación de la oferta energética (GWh) total de cada subregión en la biomasa residual agrícola tanto en los cultivos permanentes como los transitorios. La oferta energética del departamento es de 30.320,43 GWh.

Gráfica 48. Oferta energética por subregión (2015).



Fuente. *Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).*

Según la **Error! Reference source not found.**, la subregión que ofrece mayor oferta de energética es Rio Meta con 19.861,60 GWh, seguida por la subregión del Ariari que cuenta con 5200,27 GWh. Las subregiones con las menores ofertas energéticas son Alto Ariari centro con 2171,5 GWh, Capital Cordillera con 1125,18 GWh, Bajo Ariari Sur con 997,67 GWh y La Macarena con 964,21 GWh, esta última es la subregión con el menor potencial energético de biomasa residual agrícola que hay presente en el departamento.

A continuación, se muestra la estimación de la oferta energética presente en cada subregión del departamento en el año 2015.

9.6.1. Subregión Alto Ariari Centro

En la *Tabla 18* Tabla 18 Oferta energética en la subregión Alto Ariari centro (2015).se presentan los diferentes cultivos propios de la subregión, su producción en toneladas, el tipo de residuo generado, su factor y la masa en toneladas, su poder calorífico inferior y el potencial energético en Joule y en Watts/hora.

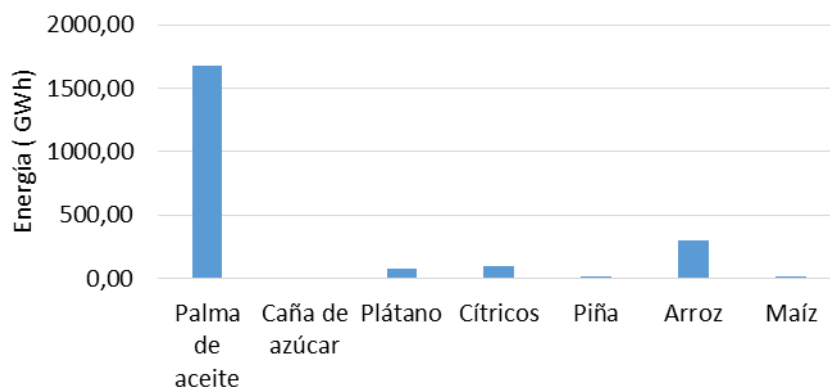
Tabla 18 Oferta energética en la subregión Alto Ariari centro (2015).

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	183.976	Cuesco	0,22	40.474,72	16.685,79	675'352.678,23	1674,65
		Fibra	0,63	115.904,88	17.882,42	2.072'659.744,21	
		Raquis	1,06	195.014,56	16.823,86	3.280'897.655,40	
Caña de azúcar	0	Hojas y cogollo	3,26	0	15.413,86	0	0
		Bagazo	2,68	0	18.643,90	0	
Plátano	5377	Raquis	1	5377,00	7568,86	40'697.760,22	74,80
		Vástago	5	26.885,00	8501,89	228'573.312,65	
Cítricos	15.155	Hojas	1,8	27.279,00	12.560,37	342'634.333,23	95,17
Piña	4220	Tallos y hojas	0,9	3798,00	12.560,37	47'704.285,26	13,25
Arroz	31.859	Tamo	2,35	74.868,65	13.024,79	975'148.443,83	297,55
		Cascarilla	0,21	6371,80	15.074,95	96'054.566,41	
Maíz	1067	Rastrojo	0,93	992,31	14.346,94	14'236.612,03	6,08
		Tusa	0,27	288,09	14.183,76	4'086.199,42	
		Capacho	0,21	224,07	15.961,96	3'576.596,38	
						Total	2161,50

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

La **Error! Reference source not found.** muestra la oferta energética en GWh generada por los residuos de los cultivos en la subregión Alto Ariari centro. Se observa que los cultivos como caña de azúcar, plátano, cítricos, piña, arroz y maíz no tienen relevancia comparado con la palma de aceite, ya que entre estos seis cultivos se suma un total de oferta energética de 486,85 GWh (22,52% de la subregión); mientras que la palma de aceite es el cultivo con mayor oferta energética en la subregión con 1674,65 GWh (77,47%). La caña de azúcar es el único cultivo que no presenta oferta energética debido a que su registro indica que su producción en esta subregión en el 2015 fue de cero toneladas.

Gráfica 49. Oferta energética en la subregión Alto Ariari Centro (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.6.2. Subregión Ariari

En la se muestran los diferentes cultivos propios de la subregión, su producción en toneladas, el tipo de residuo generado, su factor y la masa en toneladas, su poder calorífico inferior y el potencial energético en Joule y en Watts/hora. Al verificar la información el plátano sobresale como el de mayor potencial en la subregión, representando el 49,96% (2598,55 GWh); mientras que el 50,04% restante está distribuido de la siguiente manera: el arroz representa 17,67% (918,91 GWh), la palma de aceite 15,04% (782,54 GWh), el maíz 7,43% (386,7 GWh), los cítricos 6,52% (339,1 GWh) y la piña 2,83% (174,47 GWh). La caña de azúcar es el único cultivo que no

presenta oferta energética debido a que su registro indica que su producción en esta subregión en el 2015 fue de cero toneladas.

Tabla 19 se muestran los diferentes cultivos propios de la subregión, su producción en toneladas, el tipo de residuo generado, su factor y la masa en toneladas, su poder calorífico inferior y el potencial energético en Joule y en Watts/hora. Al verificar la información el plátano sobresale como el de mayor potencial en la subregión, representando el 49,96% (2598,55 GWh); mientras que el 50,04% restante está distribuido de la siguiente manera: el arroz representa 17,67% (918,91 GWh), la palma de aceite 15,04% (782,54 GWh), el maíz 7,43% (386,7 GWh), los cítricos 6,52% (339,1 GWh) y la piña 2,83% (174,47 GWh). La caña de azúcar es el único cultivo que no presenta oferta energética debido a que su registro indica que su producción en esta subregión en el 2015 fue de cero toneladas.

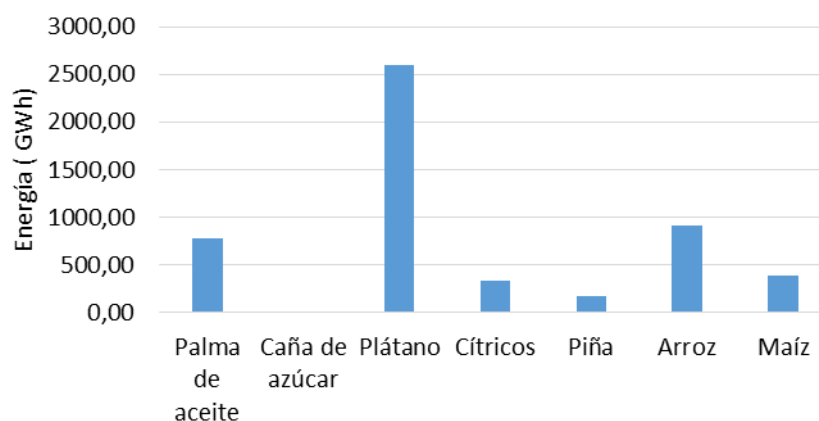
Tabla 19 Oferta energética en la subregión del Ariari (2015).

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	85.969	Cuesco	0,22	18.913,18	16.685,79	315'581.349,71	782,54
		Fibra	0,63	54.160,47	17.882,42	968'520.271,94	
		Raquis	1,06	91.127,14	16.823,86	1.533'110.245,56	
Caña de azúcar	0	Hojas y cogollo	3,26	0	15.413,86	0	0
		Bagazo	2,68	0	18.643,90	0	
Plátano	186.808	Raquis	1	186.808,00	7568,86	1.413'923.598,88	2598,55
		Vástago	5	934.040,00	8501,89	7.941'105.335,60	
Cítricos	53.997	Hojas	1,8	97.194,60	12.560,37	1.220'800.138,00	339,10
Piña	55.565	Tallos y hojas	0,9	50.008,50	12.560,37	628'125.263,15	174,47
Arroz	98.389	Tamo	2,35	231.214,15	13.024,79	3.011'515.748,78	918,91
		Cascarilla	0,2	19.677,80	15.074,95	296'641.851,11	
		Rastrojo	0,93	63.081,90	14.346,94	905'032.234,39	
Maíz	67.830	Tusa	0,27	18.314,10	14.183,76	259'762.799,02	386,70
		Capacho	0,21	14.244,30	15.961,96	227'366.946,83	
						Total	5200,27

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

La **Error! Reference source not found.** muestra la oferta energética en GWh generada por los residuos de los cultivos en la subregión del Ariari. De acuerdo con ésta, el plátano sobresale respecto a los demás cultivos.

Gráfica 50. Oferta energética en la subregión del Ariari (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.6.3. Subregión Bajo Ariari Sur

En la *Tabla 20* se muestran los cultivos, su producción, los residuos que generan, el factor y la masa en toneladas, su poder calorífico inferior y el potencial energético aprovechable en Joule y en Watts/hora. Se observa que el plátano y la palma de aceite lideran la oferta energética con 44,86% (447,63 GWh) y el 37,42% (373,39 GWh) respectivamente; el 17,72% de la oferta energética restante está conformada de la siguiente manera: el arroz aporta 5,55% (55,44 GWh), el maíz 4,68% (46,78 GWh) y la piña 5,11% (50,99 GWh). Los cultivos de caña de azúcar y cítricos no presentan oferta energética debido a que su registro indica que sus producciones en esta subregión en el 2015 fueron de cero toneladas.

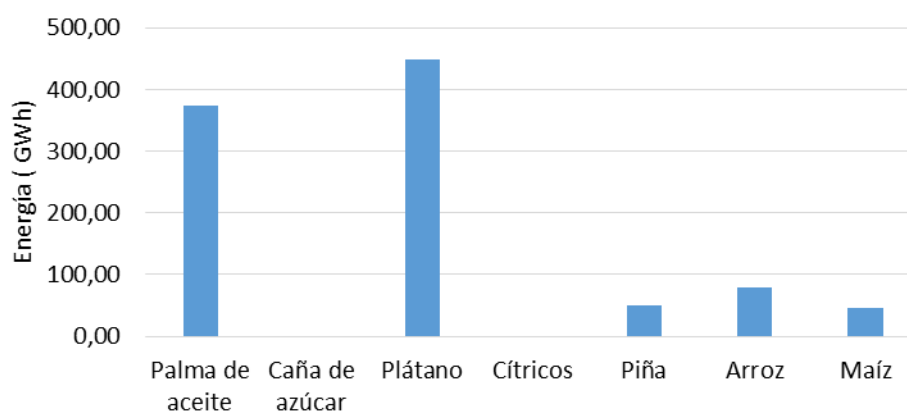
Tabla 20 Oferta energética en la subregión Bajo Ariari Sur (2015).

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	41.020	Cuesco	0,22	9024,40	16.685,79	150'579.243,28	373,39
		Fibra	0,63	25.842,60	17.882,42	462'128.227,09	
		Raquis	1,06	43.481,20	16.823,86	731'521.621,43	
Caña de azúcar	0	Hojas y cogollo	3,26	0	15.413,86	0	0
		Bagazo	2,68	0	18.643,90	0	
Plátano	32.180	Raquis	1	32.180,00	7568,86	243'565.914,80	447,63
		Vástago	5	160.900,00	8501,89	1.367'954.101,00	
Cítricos	0	Hojas	1,8	0	12.560,37	0	0
Piña	16.240	Tallos y hojas	0,9	14.616,00	12.560,37	183'582.367,92	50,99
Arroz	8445	Tamo	2,35	19.845,75	13.024,79	258'486.726,14	78,87
		Cascarilla	0,2	1689,00	15.074,95	25'461.590,55	
		Rastrojo	0,934	7631,58	14.346,94	109'489.820,37	
Maíz	8206	Tusa	0,27	2215,62	14.183,76	31'425.822,33	46,78
		Capacho	0,211	1723,26	15.961,96	27'506.607,19	
Total							997,67

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

Por otra parte, la **Error! Reference source not found.** muestra la oferta energética en GWh generada por los residuos de los cultivos en la subregión Bajo Ariari Sur, de acuerdo con ésta la palma de aceite y el plátano son los cultivos con mayor oferta energética en la subregión con más de 300 GWh y 400 GWh respectivamente; a su vez, los cultivos de piña, arroz y maíz tienen ofertas energéticas por debajo de 100 GWh.

Gráfica 51. Oferta energética en la subregión Bajo Ariari Sur (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.6.4. Subregión Capital Cordillera

En la *Tabla 21* se muestran los cultivos, su producción, el tipo de residuos que genera, el factor y la masa en toneladas que hay presente en la subregión, su poder calorífico inferior y el potencial energético aprovechable en Joule y en Watts/hora. Se observa que el arroz es el cultivo que tiene mayor oferta energética con 29,67% (333,91 GWh), la palma de aceite es el segundo con 22,67% (255,18 GWh), seguido está el maíz con 18,7% (210,45 GWh), luego están los cítricos con 15,97% (179,73 GWh) y finalmente se encuentran los de menor oferta energética que son la piña y el plátano con 9,82% (110,52 GWh) y 3,14% (35,39 GWh). La caña de azúcar es el único cultivo que no presenta oferta energética debido a que su registro indica que su producción en esta subregión en el 2015 fue de cero toneladas.

Tabla 21 Oferta energética en la subregión Capital Cordillera (2015).

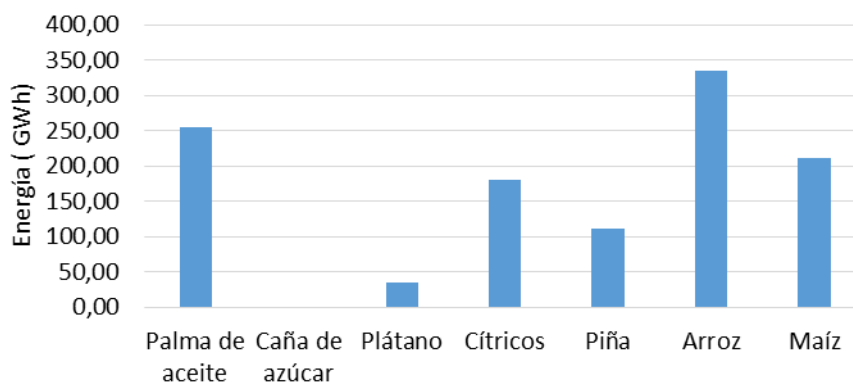
Fuente: *Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias*

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	28.034	Cuesco	0,22	6167,48	16.685,79	102'909.276,11	255,18
		Fibra	0,63	17.661,42	17.882,42	315'828.930,24	
		Raquis	1,06	29.716,04	16.823,86	499'938.496,71	
Caña de azúcar	0	Hojas y cogollo	3,26	0	15.413,86	0	0
		Bagazo	2,68	0	18.643,90	0	
Plátano	2544	Raquis	1	2544,00	7568,86	19'255.179,84	35,39
		Vástago	5	12.720,00	8501,89	108'144.040,80	
Cítricos	28.620	Hojas	1,8	51.516,00	12.560,37	647'060.020,92	179,73
Piña	35.198	Tallos y hojas	0,9	31.678,20	12.560,37	397'889.912,93	110,52
Arroz	35.752	Tamo	2,35	84.017,20	13.024,79	1.094'306.386,39	333,91
		Cascarilla	0,2	7150,40	15.074,95	107'791.922,48	
		Rastrojo	0,934	34.330,95	14.346,94	492'544.079,79	
Maíz	36.915	Tusa	0,27	9967,05	14.183,76	141'370.245,11	210,45
		Capacho	0,211	7752,15	15.961,96	123'739.508,21	
						Total	1125,18

Municipales (EVA).

La **Error! Reference source not found.** muestra la oferta energética en GWh generada por los residuos de los cultivos en la subregión Capital Cordillera, de acuerdo con esta información la palma de aceite, el maíz y el arroz son los cultivos con mayor potencial pues están por encima de 200 GWh cada uno.

Gráfica 52. Oferta energética en la subregión Capital Cordillera (2015).



Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.6.5. Subregión La Macarena

En la *Tabla 22* se muestran los cultivos, su producción, el tipo de residuos que generan, el factor y la masa en toneladas, su poder calorífico inferior y el potencial energético aprovechable en Joule y en Watts/hora. De acuerdo con esta información el plátano representa el 36,06% (347,76 GWh) de la oferta energética, los cítricos ocupan el segundo lugar con 18,64% (179,73 GWh), seguido está la palma de aceite con 17,05% (164,44 GWh), luego está el arroz con 14,81% (142,81 GWh), luego el maíz con 11,70% (112,86 GWh) y finalmente se encuentra la piña con 1,72% (16,61 GWh). La caña de azúcar es el único cultivo que no presenta oferta energética debido a que su registro indica que su producción en esta subregión en el 2015 fue de cero toneladas

Tabla 22 Oferta energética en la subregión La Macarena (2015).

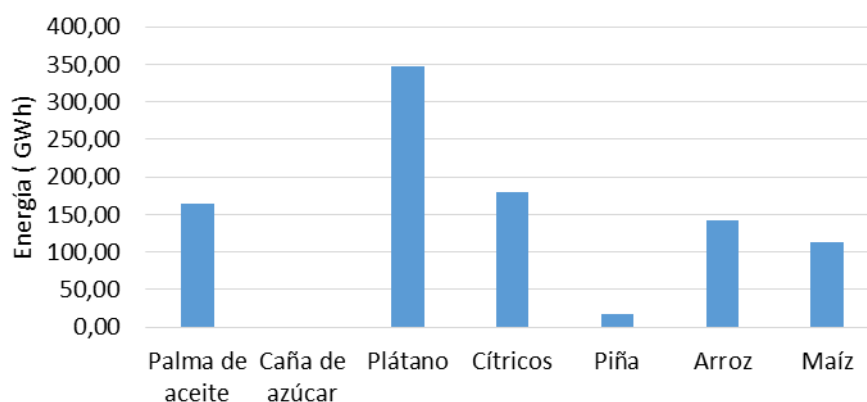
Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	18.065	Cuesco	0,22	3974,30	16.685,79	66'314.335,20	164,44
		Fibra	0,63	11.380,95	17.882,42	203'518.927,90	
		Raquis	1,06	19.148,90	16.823,86	322'158.412,75	
Caña de azúcar	0	Hojas y cogollo	3,26	0	15.413,86	0	0
		Bagazo	2,68	0	18.643,90	0	

Plátano	25.000	Raquis	1	25.000,00	7568,86	189'221.500,00	347,76
		Vástago	5	125.000,00	8501,89	1.062'736.250,00	
Cítricos	28.620	Hojas	1,8	51.516,00	12.560,37	647'060.020,92	179,73
Piña	5290	Tallos y hojas	0,9	4761,00	12.560,37	59'799.921,57	16,61
Arroz	15.291	Tamo	2,35	35.933,85	13.024,79	468'030.850,14	142,81
		Cascarilla	0,2	3058,20	15.074,95	46'102.212,09	
		Rastrojo	0,934	18.411,21	14.346,94	264'144.525,20	
Maíz	19.797	Tusa	0,27	5345,19	14.183,76	75'814.892,11	112,86
		Capacho	0,211	4157,37	15.961,96	66'359.773,65	
						Total	964,21

Fuente: Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA)

La **Error! Reference source not found.** permite conocer que el plátano es el cultivo que presenta mayor oferta energética con más de 300 GWh; por otra parte, se encuentran los cultivos de cítricos, palma de aceite, arroz y maíz que cuentan con una oferta energética alrededor de los 150 GWh y la piña que presenta la oferta energética más baja de la región con un potencial energético por debajo de 20 GWh.

Gráfica 53. Oferta energética en la subregión La Macarena (2015).



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

9.6.6. Subregión Río Meta

En la *Tabla 23* se muestran los cultivos, su producción, el tipo de residuo generado, el factor y la masa en toneladas, su poder calorífico inferior y el potencial energético aprovechable en Joule y en Watts/hora.

Tabla 23 Oferta energética en la subregión Río Meta (2015).

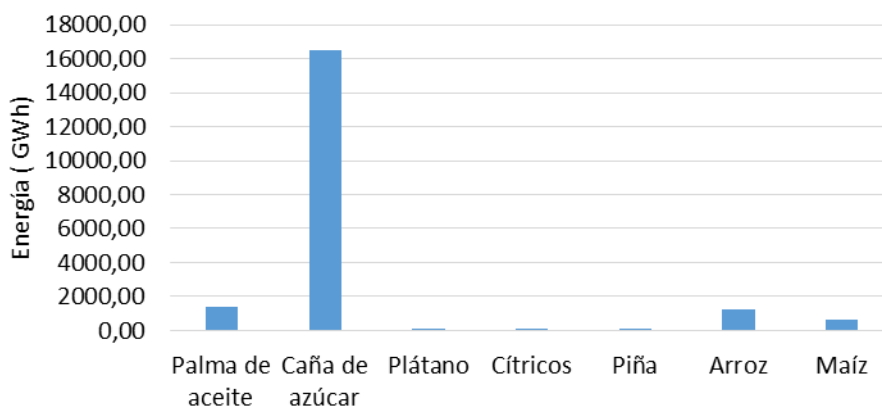
Fuente: *Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias*

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Palma de aceite	151.984	Cuesco	0,22	33.436,48	16.685,79	557'914.083,62	1383,44
		Fibra	0,63	95.749,92	17.882,42	1.712'240.284,41	
		Raquis	1,06	161.103,04	16.823,86	2.710'374.990,53	
Caña de azúcar	593.460	Hojas y cogollo	3,26	1'934.679,60	15.413,86	29.820'880.499,26	16.519,95
		Bagazo	2,68	1'590.472,80	18.643,90	29.652'615.835,92	
Plátano	4288	Raquis	1	4288,00	7568,86	32'455.271,68	59,65
		Vástago	5	21.440,00	8501,89	182'280.521,60	
Cítricos	6113	Hojas	1,8	11.003,40	12.560,37	138'206.775,26	38,39
Piña	2624	Tallos y hojas	0,9	2361,60	12.560,37	29'662.569,79	8,24
Arroz	128.744	Tamo	2,35	302.548,40	13.024,79	3.940'629.374,84	1202,41
		Cascarilla	0,2	25.748,80	15.074,95	388'161.872,56	
		Rastrojo	0,934	105.954,90	14.346,94	1.520'128.593,01	
Maíz	113.930	Tusa	0,27	30.761,10	14.183,76	436'308.059,74	649,52
		Capacho	0,211	23.925,30	15.961,96	381'894.681,59	
						Total	19.861,60

Municipales (EVA).

Por otra parte, en la ***Error! Reference source not found.*** se puede observar que los cultivos de palma de aceite, plátano, cítricos, piña, arroz y maíz no tienen relevancia comparado con la caña de azúcar, ya que entre estos seis cultivos se suma un total de oferta energética de 3341,65 GWh (16,82% de la subregión); mientras que la caña de azúcar es el cultivo con mayor oferta energética en la subregión con 16519,95 GWh (83,17%).

Gráfica 54. Oferta energética en la subregión Rio Meta (2015).



Fuente. Elaboración propia a partir del registro de Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA).

10. ENERGÍA DE LA BIOMASA RESIDUAL PECUARIA

Cuando se habla de biomasa residual pecuaria se está haciendo referencia a los residuos orgánicos generados por los animales implicados en las actividades ganaderas. La energía de la biomasa residual pecuaria se obtiene a través de la recolección y tratamiento del estiércol de los animales pecuarios.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) presenta información a nivel municipal y departamental sobre los sectores pecuarios avícola, bovino, bufalino, caprino, equino, ovino y porcino, que permite hacer estudios y análisis sobre estos.

En el presente trabajo solo se estudia el sector avícola, bovino y porcino ya que son los sectores pecuarios más representativos en el departamento del Meta.

10.1. BIOMASA PECUARIA DEL SECTOR AVÍCOLA

El sector avícola está comprendido por dos tipos de aves, las aves de engorde y las aves ponedoras. Las aves de engorde son aquellas que están destinadas al sacrificio y posterior consumo humano mientras que las aves ponedoras tienen como función la producción de huevos.

La *Tabla 24* muestra información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de aves de cada tipo y el número de predios destinados a cada actividad a lo largo del departamento. De acuerdo con esto, en el 2016 el departamento tuvo un total de 2'310.500 cabezas avícolas de las cuales el 92% estuvieron destinadas a las actividades de engorde y el 8% a la producción de huevos. También se observa que solo hubo información registrada en las subregiones Alto Ariari Centro, Ariari y Capital cordillera, donde esta última fue la de mayor producción de aves con el 68,67%. En cuanto a los predios, se registró información de 84 predios en el 2016, de los cuales 71 estuvieron relacionados con actividades de engorde de aves y 13 en la producción de huevos.

Tabla 24. Número de cabezas y predios en el sector avícola en el departamento (2016)

Subregión	Número de cabezas avícolas		Número de predios	
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras
Alto Ariari Centro	507.500	68.100	36	7
Ariari	145.000	3200	4	1
Bajo Ariari Sur	0	0	0	0
Capital Cordillera	1'464.700	122.000	31	5
La Macarena	0	0	0	0
Río Meta	0	0	0	0
Total	2'117.200	193.300	71	13

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.1.1. Subregión Alto Ariari Centro

La *Tabla 25* presenta información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de aves de cada tipo y el número de predios destinados a cada actividad en la subregión Alto Ariari Centro; en esta se evidencia que la subregión tuvo un total de 561.200 cabezas avícolas, lo cual representa el 24,28% de la cantidad del departamento en el 2016. De estas 561.200 aves, el 90% estuvieron destinadas a las actividades de engorde y el 10% a la producción de huevos. Se registró información de 43 predios en el 2016, de los cuales 36 fueron destinados al engorde de aves y 7 a la producción de huevos. Los municipios de mayor aporte en la subregión fueron Guamal con 42,96% y Castilla La Nueva con 39,55% (estos dos municipios representan el 82,51% de la cantidad total de aves en la subregión).

Tabla 25 Número de cabezas y predios en el sector avícola en la subregión Alto Ariari Centro (2016).

Municipios	Número de cabezas avícolas		Número de predios	
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras
Acacias	80.000	1600	5	2
Castilla la Nueva	222.000	0	10	0
Cubarral	16.500	0	1	0
El Dorado	0	0	0	0
Guamal	189.000	52.100	20	5
San Carlos de Guaroa	0	0	0	0
Total	507.500	53.700	36	7

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.1.2. Subregión Ariari

La *Tabla 26* muestra información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de aves de cada tipo y el número de predios destinados a cada actividad en la subregión del Ariari. En general se observa que la subregión tuvo un total de 148.200 cabezas avícolas, lo cual representa el 6,41% de la cantidad del departamento en el 2016. De estas 148.200 aves, el 98% estuvieron destinadas a las actividades de engorde y el 2% a la producción de huevos. Se registró información de 5 predios en el 2016, de los cuales 4 fueron destinados al engorde de aves y 1 a la producción de huevos. El municipio con mayor cantidad de aves en el 2016 fue Granada con 60.000 (40,48% de la subregión).

Tabla 26 Número de cabezas y predios en el sector avícola en la subregión del Ariari (2016).

Municipios	Número de cabezas avícolas		Número de predios	
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras
El Castillo	0	0	0	0
Fuente de Oro	34.000	0	1	0
Granada	60.000	0	1	0
Lejanías	32.000	0	1	0
Puerto Lleras	0	0	0	0
San Juan de Arama	0	0	0	0
San Martín	19.000	3.200	1	1
Total	145.000	3200	4	1

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.1.3. Subregión Capital cordillera

La *Tabla 27* permite observar que la subregión tuvo un total de 1'586.700 cabezas avícolas, lo cual representa el 68,67% de la cantidad del departamento en el 2016. De estas 1'586.700 aves, el 92% estuvieron destinadas a las actividades de engorde y el 8% a la producción de huevos. Se registró información de 36 predios en el 2016, de los cuales 31 fueron destinados al engorde de aves y 5 a la producción de huevos. Restrepo fue el municipio con mayor cantidad de aves con 1'180.700 (74,41% de la subregión).

Tabla 27 Número de cabezas y predios en el sector avícola en la subregión Capital Cordillera (2016).

Municipios	Número de cabezas avícolas		Número de predios	
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras
Cumarál	152.000	10.000	6	1
El Calvario	0	0	0	0
Restrepo	1'145.700	35.000	16	2
San Juanito	0	0	0	0
Villavicencio	167.000	77.000	9	2
Total	1.464.700	122.000	31	5

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2. BIOMASA PECUARIA DEL SECTOR BOVINO

La *Tabla 28* muestra información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de bovinos y la cantidad de predios con determinadas cabezas de bovinos a lo largo del departamento. Los predios se agrupan según la cantidad de bovinos en su terreno.

A partir de estos datos se conoce que en el 2016 el departamento tuvo un total de 1'660.217 bovinos distribuidos en 13.740 predios. Se observa que todas las subregiones tenían bovinos en sus tierras, de las cuales la subregión Río Meta y Ariari son las de mayor cantidad con 27,58% y 27,21% respectivamente. En cuanto a los predios en el departamento, se observa que más del 50% de estos contaban con menos de 50 bovinos.

Tabla 28 Cantidad de cabezas y predios en el sector bovino en el departamento (2016).

Subregión	Número de cabezas	N° cabezas bovinas	Cantidad de predios
-----------	-------------------	--------------------	---------------------

Alto Ariari Centro	200.000	< 50	7120
Ariari	451.760	51 a 100	2657
Bajo Ariari Sur	155.762	101 a 500	3382
Capital Cordillera	181.007	> 500	581
La Macarena	213.688	Total	13.740
Río Meta	458.000		
Total	1'660.217		

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2.1. Subregión Alto Ariari Centro

La *Tabla 29* permite observar que en la subregión la mayor cantidad de bovinos están en una edad mayor a 36 meses con un 33,15% de los bovinos presentes en la subregión durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de bovinos fueron Acacias con 69.000 y Castilla La Nueva con 48.000 (34,5% y 24% de la subregión respectivamente).

Tabla 29 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Alto Ariari Centro (2016).

Municipios	Cantidad de bovinos por grupo etario			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
Acacias	10.900	12.800	22.800	22.500
Castilla la Nueva	8000	10.970	12130	16.900
Cubarral	2830	2695	4997	4602
El Dorado	1600	2380	3520	3000
Guamal	2869	3372	4996	5763
San Carlos De Guaroa	6005	9982	10.845	13.544
Total	32.204	42.199	59.288	66.309

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2.2. Subregión Ariari

La información contenida en la **Error! Not a valid bookmark self-reference.** permite identificar que la mayor cantidad de bovinos en la subregión Ariari se encuentran en una edad mayor a 36 meses, por lo que representan el 33,81% de los presentes en la subregión durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de bovinos fueron San Martín con 164.000 y Puerto Lleras con 110.000 (36% y 24% de la subregión respectivamente).

Tabla 30 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión del Ariari (2016).

Municipios	Cantidad de bovinos por grupo etario			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
El Castillo	4288	5471	12.112	7889
Fuente De Oro	6450	8200	9100	13.450
Granada	4100	5400	5300	8500
Lejanías	2860	3090	4960	5590
Puerto Lleras	17.950	25.000	30.950	37.100
San Juan de Arama	11.630	15.070	19.550	23.750
San Martín	26.500	34.000	47.000	56.500
Total	73.778	96.231	128.972	152.779

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2.3. Subregión Bajo Ariari Sur

La *Tabla 31* muestra que en la subregión Bajo Ariari Sur la mayor cantidad de bovinos pertenecen al grupo etario de mayores a 36 meses con un 35,13% de los bovinos presentes en la subregión durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de bovinos fueron Mapiripán con 65.262 y Puerto Rico con 53.000 (41,8% y 34% de la subregión respectivamente).

Tabla 31 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).

Municipios	Cantidad de bovinos por grupo etario			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
Mapiripán	12.394	14.013	14.752	24.103
Puerto Concordia	5700	8700	9500	13.600
Puerto Rico	7300	13.200	15.470	17.030
Total	25.394	35.913	39.722	54.733

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2.4. Subregión Capital cordillera

En la **Error! Not a valid bookmark self-reference**.Tabla 29 se observa que en su mayoría los bovinos están en el grupo etario de mayores a 36 meses con un 34,31% de los presentes en la subregión durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de bovinos fueron Villavicencio con 89.738 y Cumaral con 55.000 (49,59% y 30,39% de la subregión respectivamente).

Tabla 32 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Capital Cordillera (2016).

Municipios	Cantidad de bovinos por grupo etario			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
Cumaral	7100	10.600	15.800	21.500
El Calvario	400	535	545	720
Restrepo	4382	6984	9992	11.741
San Juanito	90	290	290	230
Villavicencio	12.257	20.598	28.987	27.896
Total	24.229	39.007	55.614	62.087

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2.5. La Macarena

De acuerdo con la **Error! Not a valid bookmark self-reference**.Tabla 29 el 33,1% de los bovinos presentes en la subregión durante el 2016 están en el grupo etario de mayores a 36 meses. Los municipios con mayor cantidad de bovinos fueron Vista hermosa con 79.000 y Cumaral con 63.817 (36,96% y 29,86% de la subregión respectivamente).

Tabla 33 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión La Macarena (2016).

Municipios	Cantidad de bovinos por grupo etario			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
La Macarena	7775	8966	11.502	16.628
Mesetas	9482	12.857	22.192	19.286
Uribe	4250	4250	7880	9620
Vistahermosa	12.550	16.550	24.700	25.200
Total	34.057	42.623	66.274	70.734

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.2.6. Subregión Rio Meta

La **Tabla 34**Tabla 29 muestra que en la subregión la mayor cantidad de bovinos se encuentran en una edad de más de 36 meses y representan en total el 41,58% de los registrados durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de bovinos fueron Puerto

López con 220.000 y Puerto Gaitán con 161.000 (48,03% y 35,15% de la subregión respectivamente).

Tabla 34 Cantidad de bovinos según su edad y municipio en la subregión Río Meta (2016).

Municipios	Cantidad de bovinos por grupo etario			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
Barranca de Upía	3400	3600	6000	9000
Cabuyaro	10.016	10.909	11.198	22.877
Puerto Gaitán	27.330	35.889	29.453	68.328
Puerto López	38.758	49.381	41.618	90.243
Total	79.504	99.779	88.269	190.448

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3. BIOMASA PECUARIA DEL SECTOR PORCINO

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en su base de datos clasifica al sector porcino en: lechones, levante, ceba, hembras de reemplazo, hembras cría, machos reproductores y cerdos de traspatio.

En la *Tabla 35* se observa la cantidad de porcinos criados en las subregiones durante el año 2016 y el número de predios usados (tecnificados y de traspatio). De acuerdo con esta información en todo el territorio se criaron estos animales, pero se destacan las subregiones Río Meta y Capital Cordillera por poseer el 69% y 16,64% respectivamente. En cuanto a los predios se observa que el 56,83% de estos eran tecnificados y el 43,16% de traspatio.

Tabla 35 Cantidad de cabezas y predios en el sector porcino en el departamento (2016).

Subregión	Número de cabezas	Predios	
		Tecnificados	Traspatio
Alto Ariari	16.098	710	269
Centro			
Ariari	9487	351	191
Bajo Ariari Sur	1366	98	132
Capital Cordillera	39.323	626	321
La Macarena	4828	185	125
Río Meta	165.172	413	772

Total 236.274 2383 1810

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3.1. Subregión Alto Ariari Centro

La *Tabla 36* presenta información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de porcinos por municipio. En este orden de ideas, la mayor cantidad de porcinos pertenecen a la categoría de ceba con un 50,48% y fueron criados en Guamal y Acacias en una distribución de 6.113 y 5.643 cabezas respectivamente.

Tabla 36 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Alto Ariari Centro (2016).

Municipios	Cantidad de porcinos						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras reemplazo	Hembras cría	Machos reproductores (reemplazo)	Traspatio
Acacias	699	369	3278	99	440	58	700
Castillo la Nueva	144	76	683	31	151	16	383
Cubarral	78	28	55	3	15	3	110
El Dorado	207	101	545	22	48	11	127
Guamal	767	394	3035	179	781	81	876
San Carlos de Guaroa	314	273	531	8	86	9	284
Total	2209	1241	8127	342	1521	178	2480

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3.2. Subregión Ariari

La *Tabla 37* muestra que en la subregión Ariari durante el año 2016 la mayor cantidad de porcinos fueron de ceba con un 47,94%, se destacan además, los municipios de Granada y San Martín con 4.362 y 1.860 cabezas respectivamente.

Tabla 37 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión del Ariari (2016).

Municipios	Cantidad de porcinos						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras reemplazo	Hembras cría	Machos reproductores (reemplazo)	Traspatio
El Castillo	57	32	257	8	12	7	51
Fuente de Oro	33	17	325	5	6	2	111
Granada	630	305	1823	171	218	82	1133
Lejanías	60	34	702	7	16	2	131
Puerto Lleras	203	82	233	10	14	2	98

San Juan de Arama	97	60	248	65	111	9	158
San Martin	296	148	961	35	170	67	183
Total	1376	678	4549	301	547	171	1865

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3.3. Subregión Bajo Ariari Sur

La *Tabla 38* presenta información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de porcinos según su clasificación y municipio en la subregión Bajo Ariari Sur. De acuerdo con estos datos la mayor cantidad de porcinos corresponde a los de ceba con un 51,46% de los registrados durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de porcinos fueron Puerto Concordia con 528 y Puerto Rincón con 1860 (38,65% y 36,45% de la subregión respectivamente).

Tabla 38 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).

Municipios	Cantidad de porcinos						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras reemplazo	Hembras cría	Machos reproductores (reemplazo)	Traspatio
Mapiripan	44	18	179	3	8	3	85
Puerto Concordia	67	55	281	2	7	4	112
Puerto Rincón	113	64	243	9	12	10	47
Total	224	137	703	14	27	17	244

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3.4. Subregión Capital cordillera

La *Tabla 39* presenta información obtenida del ICA que permite conocer la cantidad de porcinos según su clasificación y el municipio al que pertenecen. En este orden de ideas, el 43,3% de las cabezas registradas durante el 2016 fueron de ceba y estuvieron distribuidas en los municipios de Cumaral y Villavicencio con 51,15% y 29,39% respectivamente.

Tabla 39 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Capital Cordillera (2016).

Municipios	Cantidad de porcinos						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras reemplazo	Hembras cría	Machos reproductores (reemplazo)	Traspatio
Cumaral	3554	5203	8613	239	874	52	3152
El Calvario	71	42	108	13	16	3	128
Restrepo	647	342	2732	157	439	59	982

San Juanito	103	57	98	2	6	1	71
Villavicencio	1567	1255	5477	212	859	69	2120
Total	5942	6899	17.028	623	2194	184	6453

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3.5. Subregión La Macarena

La *Tabla 40* muestra que en la subregión La Macarena la mayor cantidad de porcinos fueron de ceba con un 62,09% de los criados durante el 2016. Los municipios con mayor cantidad de porcinos fueron Mesetas con 2326 y la Macarena con 1077 (48,17% y 22,3% de la subregión respectivamente).

Tabla 40 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión La Macarena (2016).

Municipios	Cantidad de porcinos						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras reemplazo	Hembras cría	Machos reproductores (reemplazo)	Traspatio
La Macarena	171	65	529	30	50	46	186
Mesetas	222	133	1502	31	68	21	349
Uribe	18	13	280	4	10	3	92
Vistahermosa	63	36	677	20	33	11	155
Total	474	247	2998	85	161	81	782

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.3.6. Subregión Río Meta

La *Tabla 41* permite conocer que el 43,96% de porcinos criados durante el 2016 fueron de ceba y los municipios de mayor concentración fueron Puerto López con 99.347 y Puerto Gaitán con 63.846.

Tabla 41 Cantidad de porcinos según su tipo y municipio en la subregión Río Meta (2016).

Municipios	Cantidad de porcinos						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras reemplazo	Hembras cría	Machos reproductores (reemplazo)	Traspatio
Barranca de Upía	106	68	548	12	47	14	321
Cabuyaro	102	43	356	16	60	31	255
Puerto Gaitán	172	89	60.511	55	28	6	2985
Puerto López	34.465	38.594	11.235	3672	10.666	202	513
Total	34.845	38.794	72.650	3755	10.801	253	4074

Fuente: Base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.4. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL PECUARIA

A medida que ocurren las actividades del sector pecuario, los animales van generando estiércol que puede ser recolectado con el objetivo de ser aprovechados a través de tecnologías termoquímicas o mediante el proceso de digestión anaeróbica según la humedad de su residuo orgánico.

Al Clasificar los animales pecuarios (aves, bovinos y porcinos) según la humedad de su estiércol, quedan distribuidos en los siguientes dos grupos:

- Baja humedad: Aves destinadas al engorde.
- Alta humedad: Aves de postura, bovinos y porcinos.

A continuación, se explica el procedimiento para obtener el potencial energético de los dos grupos mencionados anteriormente.

10.4.1. Aves ponedoras, bovinos y porcinos

Para calcular la estimación del potencial energético en los animales cuyos residuos son de alta humedad se emplea la fórmula de la digestión anaeróbica. Ver Ecuación 2.

Ecuación 2. Formula del potencial energético mediante el proceso digestión anaeróbica

$$PE_{BRP} = \sum_{i=1}^n MR_i * \%MS_i * \%SV * B_o * PCI_{CH_4}$$

Fuente: Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca, Universidad Distrital.

Dónde:

- PE_{BRP} : Potencial energético biomasa residual por digestión anaerobia (TJ/año)
- MR: Masa de residuo (Kg estiércol / año)
- %MS: Porcentaje de materia seca (Kg ms/Kg estiércol)
- %SV: Sólidos volátiles (Kg SV /kg materia seca)
- Bo: Producción de biogás (m^3 /Kg SV)
- PCI_{CH_4} : Poder calorífico inferior del metano $2,24 \times 10^{-5} \frac{TJ}{m^3}$

En la *Tabla 42* se muestran las variables a reemplazar en la *Ecuación 2* según el animal del que se desea hallar el potencial energético de sus residuos.

Tabla 42 Variables constantes de la fórmula del potencial energético según el sector.

Sector	% de materia seca (%MS) (Kg MS / Kg estiércol)	% de sólidos volátiles (%SV) (Kg SV / Kg MS)	Producción de biogás (m^3 / Kg SV)
Bovino	0,18	0,8	0,21

Porcino	0,31	0,73	0,32
Aves	0,35	0,65	0,31
Ponedoras			

Fuente: Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca, Universidad Distrital.

Otra incógnita presente en la fórmula es la cantidad de estiércol generada en un año; es por eso que la *Tabla 43* muestra la cantidad de Kilogramos de estiércol que genera un solo animal al año.

Tabla 43 Tasa de producción de estiércol por sector pecuario.

Bovinos	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Porcinos	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Avícola	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]
< 12 meses	1460	Lechones	102,20	Aves	38,33
12 a 24 meses	3285	Levante	445,3	Ponedoras	
24 a 36 meses	5110	Ceba	799,35		
> 36 meses	6570	Hembras reemplazo	2693,7		
		Hembras cría	1971		
		Machos reproductores	2051,3		
		Traspatio	1343,8		

Fuente: Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca, Universidad Distrital.

La *Tabla 44* plantea un ejemplo para el entendimiento del lector.

Tabla 44 Ejemplo de cálculo del potencial energético por digestión anaeróbica.

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
------	-------------------	---	---	---------	----------

Ceba	8127	799,35	6'496.317,45	10,53	2,92
------	------	--------	--------------	-------	------

Fuente: Autores.

Producción de estiércol = 8.127 × 799,35

$$PE(TJ) = 6'496.317,45 \text{ (Kg estiércol)} * 0,31 \left(\frac{KgMS}{Kg \text{ estiercol}} \right) * 0,73 \frac{KgSV}{KgMS} * 0,32 \frac{m3}{KgSV} \\ * 2,24 \times 10^{-5} \frac{TJ}{m^3} = 10,53 \text{ TeraJoules para el año 2016}$$

El último paso es la conversión de TJ a GWh mediante un conversor de unidades.

10.4.2. Aves de engorde

El proceso termoquímico es el adecuado para obtener potencial energético a partir de residuos orgánicos de baja humedad como los de las aves de engorde. En la Ecuación 3 se muestra su fórmula.

Ecuación 3. Fórmula del potencial energético para procesos termoquímicos

$$PE_{BRAE} = MR_E * \%MS_E * PCI_E$$

Fuente: Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca, Universidad Distrital.

Donde:

- PE_{BRAE} : Potencial energético biomasa residual avícola de engorde (TJ/año)
- MR_E : Masa de residuo del sector avícola de engorde (Kg estiércol / año)
- $\%MS_E$: Porcentaje de materia seca (Kg ms/Kg estiércol)
- PCI_E : $1,53 \times 10^{-5} \frac{TJ}{Kg}$

Tabla 45 Datos para hallar el potencial energético de las aves de engorde.

Ave	% de materia seca (%MS) (Kg MS / Kg estiércol)	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]
Engorde	0,7974	25,55

Fuente: Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca, Universidad Distrital.

A partir de la *Tabla 46* se desarrolla un ejercicio para mejor comprensión del lector.

Tabla 46 Ejemplo de cálculo del potencial energético para aves de engorde.

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Engorde	145.000	25,55	3.704.750,00	45,19	12,55

Fuente: Autores.

Producción de estiércol = 145.000 × 25,55

$$PE(TJ) = 3'704.750 (Kg \text{ estiércol}) * 0,7974 \left(\frac{KgMS}{Kg \text{ estiercol}} \right) * 1,53 \times 10^{-5} \frac{TJ}{Kg} =$$

45,19 TeraJoules para el año 2016

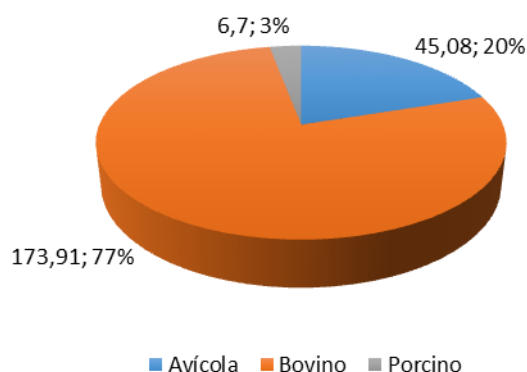
10.5. POTENCIAL ENERGÉTICO

10.5.1. Subregión Alto Ariari Centro

La .

Gráfica 55 permite visualizar el aporte individual de cada sector pecuario al potencial energético total de la subregión, de esta manera se identifica que el sector bovino es el más viable con 173,91 GWh equivalente al 77% del potencial identificado.

Gráfica 55. Distribución del potencial energético en la subregión Alto Ariari Centro por sector pecuario (2016).



Fuente. Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.1.1. Potencial avícola

La *Tabla 47* registra el potencial energético del sector avícola en la subregión. Se puede observar que de los 45,08 GWh las aves de engorde aportan la mayor parte del potencial energético con el 97,47%.

Tabla 47 Potencial energético del sector avícola en la subregión Alto Ariari Centro (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Engorde	507.500	25,55	12.966.625,00	158,19	43,94
Ponedoras	68.100	38,33	2.610.273,00	4,12	1,14
Total	575.600	---	15.576.898,00	162,31	45,08

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.1.2. Potencial bovino

La *Tabla 48* registra el potencial energético del sector bovino en la subregión. Se puede observar que de los 173,91 GWh los bovinos mayores de 36 meses aportan gran parte del potencial energético con el 47,13%.

Tabla 48 Potencial energético del sector bovino en la subregión Alto Ariari Centro (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
< 12 meses	32.204	1460	47'017.840	31,85	8,85
12 a 24 meses	42.199	3285	138'623.715	93,90	26,08

24 a 36 meses	59.288	5110	302'961.680	205,22	57
> 36 meses	66.309	6570	435'650.130	295,10	81,97
Total	200.000	---	924'253.365	626,07	173,91

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.1.3. Potencial porcino

La *Tabla 49* registra el potencial energético del sector porcino en la subregión. Se puede observar que de los 6,7 GWh la etapa de ceba es la de mayor aporte al potencial energético con el 43,58%.

Tabla 49 Potencial energético del sector porcino en la subregión Alto Ariari Centro (2016).

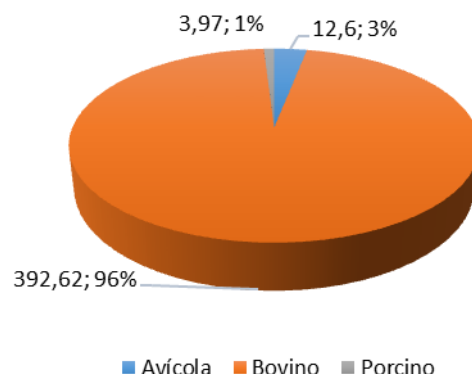
Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Lechones	2209	102,20	225.759,80	0,36	0,1
Levante	1241	445,3	552.617,30	0,89	0,24
Ceba	8127	799,35	6'496.317,45	10,53	2,92
Hembras reemplazo	342	2693,7	921.245,40	1,49	0,41
Hembras cría	1521	1971	2'997.891,00	4,86	1,35
Machos reproductores	178	2051,3	365.131,40	0,59	0,16
Traspatio	2480	1343,8	3'332.624,00	5,40	1,5
Total	16.098	---	12'707.762,15	24,15	6,70

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.2. Subregión Ariari

La **Error! Reference source not found.** permite visualizar el aporte individual de cada sector pecuario al potencial energético total en la subregión, de esta manera se identifica que el sector bovino es el más viable con 392,62 GWh lo que equivale al 96% de la subregión.

Gráfica 56. Distribución del potencial energético en la subregión del Ariari por sector pecuario (2016).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.2.1. Potencial avícola

La *Tabla 50* registra el potencial energético del sector avícola en la subregión. Se puede observar que de los 12,06 GWh las aves de engorde aportan la mayor parte del potencial energético con el 99,47%.

Tabla 50 Potencial energético del sector avícola en la subregión del Ariari (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Engorde	145.000	25,55	3.704.750,00	45,19	12,55
Ponedoras	3200	38,33	122.656,00	0,19	0,05
Total	148.200	---	3.827.406,00	45,39	12,6

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.2.2. Potencial bovino

La *Tabla 51* registra el potencial energético del sector bovino en la subregión. Se puede observar que de los 392,62 GWh los bovinos mayores de 36 meses aportan gran parte del potencial energético con el 48,1%.

Tabla 51 Potencial energético del sector bovino en la subregión del Ariari (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
------	-------------------	---	---	---------	----------

< 12 meses	73.778	1460	107'715.880	72,96	20,27
12 a 24 meses	96.231	3285	316'118.835	214,13	59,48
24 a 36 meses	128.972	5110	659'046.920	446,42	124,01
> 36 meses	152.779	6570	1.003'758.030	679,92	188,87
Total	451.760	---	2.086'639.665	1.413,44	392,62

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.2.3. Potencial porcino

La *Tabla 52* registra el potencial energético del sector porcino en la subregión. Se puede observar que de los 3,97 GWh la etapa de ceba es la de mayor aporte al potencial energético con el 41,05%.

Tabla 52 Potencial energético del sector porcino en la subregión del Ariari (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Lechones	1376	102,20	140.627,20	0,22	0,06
Levante	678	445,3	301.913,40	0,48	0,13
Ceba	4549	799,35	3'636.243,15	5,89	1,63
Hembras reemplazo	301	2693,7	810.803,70	1,31	0,36
Hembras cría	547	1971	1'078.137,00	1,74	0,48
Machos reproductores	171	2051,3	350.772,30	0,56	0,15
Traspatio	1865	1343,8	2'506.187,00	4,06	1,12
Total	9487	---	8'824.683,75	14,31	3,97

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.3. Subregión Bajo Ariari Sur

En esta subregión se identifica que el sector bovino es el más viable con 135,02 GWh lo que equivale al 99,64% de la subregión; mientras que el sector porcino aporta el 0,36% restante.

10.5.3.1. Potencial bovino

La *Tabla 53* registra el potencial energético del sector bovino en la subregión. Se puede observar que de los 135,02 GWh los bovinos mayores de 36 meses aportan gran parte del potencial energético con el 50,11%.

Tabla 53 Potencial energético del sector bovino en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
< 12 meses	25.394	1460	37.075.240	25,11	6,97
12 a 24 meses	35.913	3285	117.974.205	79,91	22,19
24 a 36 meses	39.722	5110	202.979.420	137,49	38,19
> 36 meses	54.733	6570	359.595.810	243,58	67,66
Total	155.762	---	717.624.675	486,1	135,02

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.3.2. Potencial porcino

La *Tabla 54* registra el potencial energético del sector porcino en la subregión. Se puede observar que de los 0,49 GWh la etapa de ceba es la de mayor aporte al potencial energético con el 51,02%.

Tabla 54 Potencial energético del sector porcino en la subregión Bajo Ariari Sur (2016).

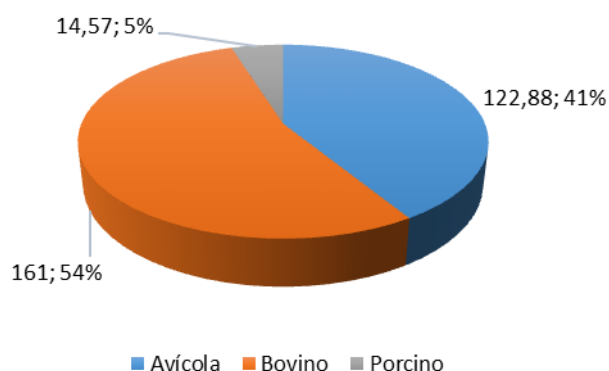
Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Lechones	224	102,20	22.892,8	0,03	0,01
Levante	137	445,3	61.006,1	0,09	0,02
Ceba	703	799,35	561.943,05	0,91	0,25
Hembras reemplazo	14	2693,7	37.711,8	0,06	0,01
Hembras cría	27	1971	53.217	0,08	0,02
Machos reproductores	17	2051,3	34.872,1	0,05	0,01
Traspatio	244	1343,8	327.887,2	0,53	0,14
Total	1366	---	1'099.530,05	1,78	0,49

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.4. Subregión Capital Cordillera

La **Gráfica 57** **Error! Reference source not found.** permite visualizar el aporte individual de cada sector pecuario al potencial energético total en la subregión, de esta manera se identifica que el sector bovino es el que predomina con 161,54 GWh lo que equivale al 54% de la subregión

Gráfica 57. Distribución del potencial energético en la subregión Capital Cordillera por sector pecuario (2016).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.4.1. Potencial avícola

La *Tabla 55* registra el potencial energético del sector avícola en la subregión. Se puede observar que de los 128,88 GWh las aves de engorde aportan la mayor parte del potencial energético con el 98,4%.

Tabla 55 Potencial energético del sector avícola en la subregión Capital Cordillera (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Engorde	1'464.700	25,55	37'423.085	456,56	126,82
Ponedoras	122.000	38,33	4'676.260	7,38	2,05
Total	1'586.700	---	42'099.345	463,96	128,88

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.4.2. Potencial bovino

La *Tabla 56* registra el potencial energético del sector bovino en la subregión. Se puede observar que de los 161 GWh los bovinos mayores de 36 meses aportan gran parte del potencial energético con el 47,67%.

Tabla 56 Potencial energético del sector bovino en la subregión Capital Cordillera (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
< 12 meses	24.299	1460	35'476.540	24,03	6,67
12 a 24 meses	39.007	3285	128'137.995	86,79	24,11
24 a 36 meses	55.614	5110	284'187.540	192,5	53,47
> 36 meses	62.087	6570	407'911.590	276,3	76,75
Total	181.007	---	855'713.665	579,63	161

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.4.3. Potencial porcino

La *Tabla 57* registra el potencial energético del sector porcino en la subregión. Se puede observar que de los 14,57 GWh la etapa de ceba es la de mayor aporte al potencial energético con el 42,07%.

Tabla 57 Potencial energético del sector porcino en la subregión Capital Cordillera (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Lechones	5942	102,20	607.272,4	0,98	0,27
Levante	6899	445,3	3'072.124,7	4,98	1,38
Ceba	17.028	799,35	13'611.331,8	22,07	6,13
Hembras reemplazo	623	2693,7	1'678.175,1	2,72	0,75
Hembras cría	2194	1971	4'324.374	7,01	1,94
Machos reproductores	184	2051,3	377.439,2	0,61	0,17
Traspatio	6453	1343,8	8'671.541,4	14,06	3,9
Total	39.323	---	32'342.258,6	52,46	14,57

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.5. Subregión La Macarena

En esta subregión se identifica el sector bovino como el de mayor potencial con 186,86 GWh lo que equivale al 99% de la subregión; mientras que el sector porcino aporta el 1% con 1,94 GWh.

10.5.5.1. Potencial bovino

La *Tabla 58* registra el potencial energético del sector bovino en la subregión. Se puede observar que de los 186,86 GWh los bovinos mayores de 36 meses aportan gran parte del potencial energético con el 46,79%.

Tabla 58 Potencial energético del sector bovino en la subregión La Macarena (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
< 12 meses	34.057	1460	49'723.220	33,68	9,35
12 a 24 meses	42.623	3285	140'016.555	94,84	26,34
24 a 36 meses	66.274	5110	338'660.140	229,4	63,72
> 36 meses	70.734	6570	464'722.380	314,79	87,44
Total	213.688	---	993'122.295	672,71	186,86

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.5.2. Potencial porcino

La *Tabla 59* registra el potencial energético del sector porcino en la subregión. Se puede observar que de los 1,94 GWh la etapa de ceba es la de mayor aporte al potencial energético con el 55,15%.

Tabla 59 Potencial energético del sector porcino en la subregión La Macarena (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Lechones	474	102,20	48.442,8	0,07	0,02
Levante	247	445,3	109.989,1	0,17	0,04
Ceba	2998	799,35	2'396.451,3	3,88	1,07
Hembras reemplazo	85	2693,7	228.964,5	0,37	0,1
Hembras cría	161	1971	317.331	0,51	0,14
Machos reproductores	81	2051,3	166.155,3	0,26	0,07

Traspatio	782	1343,8	1'050.851,6	1,70	0,47
Total	4828	---	4'318.185,6	7,00	1,94

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.6. Subregión Río Meta

En la subregión Río Meta, el sector bovino es el de mayor potencial con 403,81 GWh lo que equivale al 89% de la subregión. El 11% restante corresponde a un potencial de 52,4 GWh por parte del sector porcino.

10.5.6.1. Potencial bovino

La *Tabla 60* registra el potencial energético del sector bovino en la subregión. Se puede observar que, de los 403,81 GWh los bovinos mayores de 36 meses aportan gran parte del potencial energético con el 58,3%.

Tabla 60 Potencial energético del sector bovino en la subregión Río Meta (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
< 12 meses	79.504	1460	116'075.840	78,62	21,84
12 a 24 meses	99.779	3285	327'774.015	222,02	61,67
24 a 36 meses	88.269	5110	451'054.590	305,53	84,86
> 36 meses	190.448	6570	1.251'243.360	847,56	235,43
Total	458.000	---	2.146'147.805	1453,74	403,81

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.6.2. Potencial porcino

La *Tabla 61* registra el potencial energético del sector porcino en la subregión. Se puede observar que de los 52,4 GWh la etapa de ceba es la de mayor aporte al potencial energético con el 49,92%.

Tabla 61 Potencial energético del sector porcino en la subregión Río Meta (2016).

Tipo	Número de cabezas	Tasa de producción de estiércol [kg/cabeza*año]	Producción de estiércol (kg estiércol /año)	PE (TJ)	PE (GWh)
Lechones	34.845	102,20	3'561.159,00	5,77	1,60
Levante	38.794	445,3	17'274.968,20	28,02	7,78
Ceba	72.650	799,35	58'072.777,5	94,2	26,16
Hembras reemplazo	3755	2693,7	10'114.843,50	16,4	4,55
Hembras cría	10.801	1971	21'288.771,00	34,53	9,59

Machos reproductores	253	2051,3	518.978,90	0,84	0.23
Traspatio	4074	1343,8	5.474.641,20	8,88	2,46
Total	165.172	---	116'306.139,55	188,66	52,4

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

10.5.7. Potencial energético en el departamento

En la *Tabla 62* se observa que, de los tres sectores pecuarios, el bovino es el de mayor potencial en el departamento; y de las 6 subregiones, la de mayor potencial es Río Meta con una diferencia de 47,02 GWh de la subregión del Ariari.

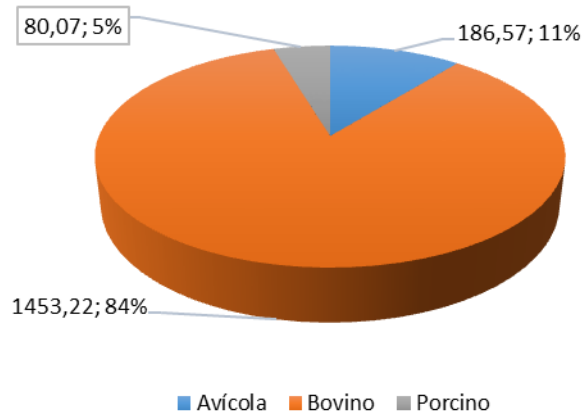
Tabla 62 Potencial energético en cada subregión por sector pecuario (2016).

	Avícola (GWh)	Bovino (GWh)	Porcino (GWh)	Total por subregión
Alto Ariari Centro	45,08	173,91	6,70	225,69
Ariari	12,6	392,62	3,97	409,19
Bajo Ariari Sur	0	135,02	0,49	135,51
Capital Cordillera	128,88	161	14,57	304,45
La Macarena	0	186,86	1,94	188,8
Río Meta	0	403,81	52,4	456,21
Total por sector	186,57	1453,22	80,07	Total: 1719,86

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

En la *Gráfica 58* **Error! Reference source not found.** se aprecia que el sector bovino es el de mayor potencial energético en el departamento con 1453,22 GWh lo que equivale al 84% de la subregión.

Gráfica 58. Distribución del potencial energético en el departamento por sector pecuario (2016).

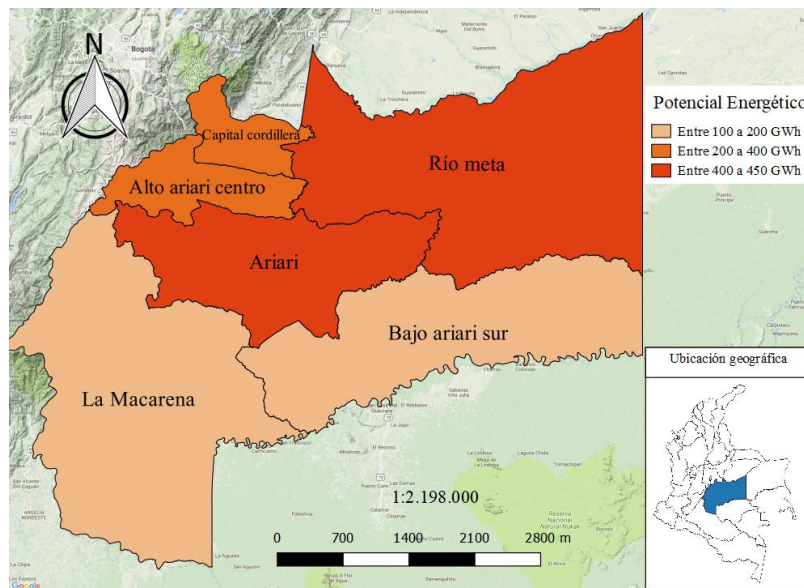


Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

En la

Figura 51 se observa el mapa del potencial energético en cada subregión, clasificándolas en potencial energético bajo (100 a 200 GWh), medio (200 a 400 GWh) y alto (400 a 450 GWh).

Figura 51. Potencial energético en cada subregión (2016).



Fuente. Elaboración propia a partir de la base de datos del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2016.

RESULTADOS

Durante los meses de septiembre a febrero, la subregión Río Meta presenta la etapa de mayor duración de brillo solar de todo el departamento con más de 7 horas diarias; mientras que en los meses de marzo a junio se registran las horas de brillo solar más bajas del año, especialmente en las subregiones Ariari, Bajo Ariari Sur, Capital Cordillera y La Macarena donde el promedio es de 2 a 4 horas.

En los meses de diciembre a febrero, se registra la mayor irradiación solar en el departamento con un promedio entre 4.0 KWh/m² a 6.0 KWh/m², siendo el oriente del departamento la zona de mayor potencial. La menor irradiación solar ocurre entre abril y agosto en el sur occidente del departamento, en donde predomina una irradiación promedio entre 3 KWh/m² a 4 KWh/m².

Según un estudio de la UPME, si en el año 2015 se hubieran instalado centrales hidroeléctricas en sitios óptimos para aprovechar el potencial hídrico del departamento, estas tendrían la energía suficiente para haber generado hasta 1,43 GWh. Entre las subregiones se destaca Río Meta, la cual podría generar alrededor de 1 GWh si se instalaran en su territorio las respectivas centrales planteadas en el estudio. La subregión del Ariari es la de menor potencial hidroenergético con un suministro de alrededor de 270KWh.

Con base en medidas a 50 metros de altura, la mayor velocidad del viento en el departamento está presente en la subregión la Macarena, donde existen registros de hasta 9,34 m/s identificados en la zona norte de la subregión, en la cordillera oriental y en

veredas cercanas al parque nacional natural Sierra de la Macarena. Por otra parte, los vientos de menor velocidad del departamento están presentes en la subregión Capital Cordillera, donde los municipios Cumaral, Restrepo y Villavicencio registran un promedio entre 1.55 m/s a 2.05 m/s.

El potencial energético de la biomasa residual agrícola en el departamento fue 30.320,43GWh para el año 2015. Se destaca la subregión Río Meta como la de mayor potencial energético con 19.861,6 GWh a partir de 4.343.473 toneladas de residuos de cultivos. La caña de azúcar con 16,519,91 GWh es el cultivo de mayor oferta energética gracias a 3.525.152 toneladas de residuos en todo el departamento.

Para el año 2016 el potencial energético de la biomasa residual pecuaria fue de 1719,86 GWh en el departamento. El sector pecuario bovino fue el de mayor producción energética con el 84,5% del departamento, lo que equivale a 1453,22 GWh aportados por 1'660.217 bovinos distribuidos en 13.740 predios. La subregión Río Meta destaca sobre las demás subregiones con 456,21 GWh de los cuales 403,81 GWh proviene del sector bovino y 52,4 GWh del sector porcino.

CONCLUSIONES

A diferencia de la energía de la biomasa, el aprovechamiento del potencial energético de la energía solar, hidráulica y eólica, no solo depende de sus respectivas características energéticas, sino que también depende de la cantidad de infraestructuras y maquinarias destinadas a su aprovechamiento. Por ejemplo, en cierto terreno incide una radiación solar de 4200 Wh//m²; en este caso la energía aprovechable en este terreno es directamente proporcional a la cantidad de paneles solares instalados, lo cual indica que en este caso el potencial energético depende de la inversión económica realizada.

Por otra parte, el aprovechamiento del potencial energético en la biomasa residual agrícola y pecuaria es proporcional a la cantidad de residuos generados y no al número de infraestructuras y maquinarias destinadas al aprovechamiento de estos. Lo anterior se puede justificar al pensar en una situación donde existan varias plantas de energía, pero no residuos para ponerlas en funcionamiento; mientras que una sola planta de energía puede funcionar hasta aprovechar la cantidad de residuos disponibles.

Los años en que están basados los estudios en cada una de las fuentes de energía varían, ya que se utiliza la información disponible más reciente con el fin de estimar los potenciales energéticos según la actualidad del departamento en cada uno de los sectores energéticos.

Río Meta es la subregión que predomina energéticamente frente a las demás en los sectores energéticos solar, hídrico y de la biomasa residual agrícola y pecuaria.

Todos aquellos planes de energización mediante energías renovables deberían ser ejecutados tanto para las zonas rurales como para las zonas urbanas con el objetivo de mejorar la economía de las personas, hacerle frente al cambio climático y fortalecer la imagen de Colombia como país verde.

BIBLIOGRAFÍA

Artículo 11 Ley 143 de 1994. (s.f.).

Barco Jiménez, J., & Pantoja, A. (2015). Desarrollo y sostenibilidad rural a través del análisis y el aprovechamiento de energía alternativas. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*. Cartagena de Indias.

Boylestad, R. (2004). En *Introducción al análisis de circuitos* (pág. 102). Pearson Educación de México S.A.

Bustos González, J. F., Sepúlveda, A., & Triviño Aponte, K. (2014). *Zonas No Interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva*. Bogotá: Econografos.

DANE 2014). Obtenido de

https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/avanceCNA/PPT_9.pdf

DNP. (s.f.). En *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Bogotá.

Esteve Gómez, N. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *IDEAM*. Obtenido de www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario

- IPSE. (Julio de 2014). *Ministerio de Minas y Energías*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e>
- IPSE. (Octubre de 2015). *Ministerstvo zahraničních věcí České republiky*. Obtenido de <https://www.mzv.cz/file/1638464/IPSE.pdf>
- IPSE. (s.f.). *Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas*. Obtenido de www.ipse.gov.co/prueba/pages/ipse/Informe_PERS_Dirección1.pdf
- Ministerio de Minas y Energías. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*.
- MINMINAS, UPME, & USAID. (2015). En *Guía para elaboración de un Plan de Energización Rural Sostenible* (pág. 17). Bogotá: Scripto SAS.
- MINMINAS, UPME, & USAID. (2015). En *Guía para elaboración de un Plan de Energización Rural Sostenible* (pág. 13). Bogotá: Scripto SAS.
- Narváez Rincón, P. C. (2010). Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas. *Ingeniería e investigación*, 165-173.
- Sandoval, A. M. (2004). *Monografía del sector de electricidad y gas colombiano: Condiciones actuales y retos futuros*. Bogotá.
- UPME. (2014). Análisis de resultados PIEC por departamento. En UPME, *Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2013-2017*. Bogotá: Strategy Ltda.
- UPME. (2014). *Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica*. Bogotá.
- UPME. (2016). *Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica PIEC 2016-2020*. Bogotá.
- UPME, & IDEAM. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- UPME, & MINMINAS. (2003). *Energías renovables: descripción, tecnologías y usos finales*. Bogotá.
- UPME, & USAID. (2015). *Guía para elaboración de un plan de energización rural sostenible*. Bogotá: Editorial Scripto .
- UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, & IGAC. (2015). *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015*. Bogotá.
- WWF, MINAMBIENTE, & Fundación Natura. (2016). *El acuerdo de París así actuara Colombia frente al cambio climático*. Bogotá: El Bando Creativo.

IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL DEPARTAMENTO DEL META COMO APOYO AL DESARROLLO DEL PROYECTO PLANES DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PERS ORINOQUIA

IDENTIFICATION OF THE ENERGY POTENTIAL IN THE META DEPARTMENT AS SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF THE PROJECT SUSTAINABLE RURAL ENERGIZATION PLANS PERS ORINOQUIA

Yury Katherine Beltrán Cediél¹ y Kevin Andrés González Ávila²

¹yury.beltran.cediél@unillanos.edu.co y ²kevin.gonzalez@unillanos.edu.co

Universidad de Los Llanos, Colombia

Resumen- En Colombia pese a todos los esfuerzos por alcanzar la universalización del servicio de energía eléctrica no es posible conectar al Sistema Interconectado Nacional (SIN) a aquellas viviendas ubicadas en zonas con dificultades de acceso, baja densidad poblacional y cuyos pobladores presentan baja capacidad de pago; para resolver esta situación, se han creado decretos que promueven la generación y suministro de energía eléctrica a través de soluciones aisladas centralizadas o individuales y microrredes.

Este tipo de medidas dieron paso a la creación de los Planes de Energización Rural Sostenible, cuya estrategia permite obtener una caracterización energética y productiva de las regiones de interés, para una posterior formulación de políticas públicas regionales y proyectos aplicables, y de esta manera elevar el nivel de vida de los habitantes y sobre todo impulsar el desarrollo local.

En el presente estudio se recopila y clasifica la información disponible sobre las actividades productivas, proyectos y sistemas de información geográfica, con el

objetivo de consolidar la información necesaria para conocer el estado actual del recurso solar, hídrico, eólico y de biomasa en el departamento del Meta.

Abstract- In Colombia, despite all efforts to achieve the universalization of the electric power service, it is not possible to connect to the National Interconnected System (SIN) to dwellings located in areas with access difficulties, low population density and its inhabitants have low payment capacity; In order to solve this situation, decrees have been created that promotes the generation and supply of electrical energy through isolated centralized or individual solutions and microgrids.

This type of measures gave way to the creation of the Sustainable Rural Energization Plans, whose strategy allows obtaining an energy and productive characterization of the regions of interest, for a later formulation of regional public policies and applicable projects, and in this way raise the living standards of the inhabitants and, above all, boost local development.

The present study collects and classifies the available information on productive activities, projects and geographic information systems, in order to consolidate the necessary information to know the current status of the solar, water, wind and biomass resource in the Meta department.

Palabras clave: biomasa, energía, estación de medición, eólico, hídrico, solar.

Keywords: biomass, energy, measurement station, water, wind, solar.

I. INTRODUCCIÓN

Gracias a la implementación de leyes como la 1715 de 2014 que promueven la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Interconectado Nacional (SIN) se han venido adelantando proyectos que permiten identificar las posibles fuentes energéticas a lo largo del territorio colombiano. A través de este proceso se busca hacer frente a la creciente demanda que es causada por el desarrollo económico e industrial y crear mecanismos que no solo complementen los sistemas tradicionales, sino que además tengan un mínimo impacto ambiental (UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, & IGAC, 2015).

Cabe resaltar que Colombia se ha caracterizado por ser un país comprometido a nivel mundial con acciones que contribuyen a poner freno al cambio climático, por lo cual durante el 2015 en la Conferencia de las Partes (COP) 21 se comprometió a “reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030” (WWF, MINAMBIENTE, & Fundación Natura, 2016), a través de acciones como la sustitución de carbón por biomasa, introducción de combustibles de menos intensidad de carbono, elaboración de un

portafolio de energías renovables, esquemas de generación con fuentes no convencionales y sistemas híbridos, entre otros.

En vista de los compromisos adquiridos, durante el año 2016 se implementó el Plan Fronteras para la Prosperidad que busca impulsar el desarrollo social y económico de las zonas de frontera a nivel nacional, entre las actividades realizadas se resalta la cofinanciación de proyectos de energía alternativa para las zonas no interconectadas cuya ejecución tuvo una inversión de \$184.848.498 (Cancillería, 2017).

Otro proyecto importante es Celsia Solar Yumbo, la primera granja fotovoltaica de Colombia que entro en operación el pasado 3 de septiembre de 2017. Tiene una capacidad de 9.8 MW y prevé generar 16.5 GWh año de energía que equivale al consumo de 8mil hogares. Para su construcción se necesitaron 35.000 módulos fotovoltaicos y 9 inversores (Celsia, 2017).

También se destaca la planta solar desarrollada en Palmira Valle del Cauca por la multinacional Greenyellow, cuya potencia instalada es de 1MWp, equivalente a 1.4GW año (El Espectador, 2017).

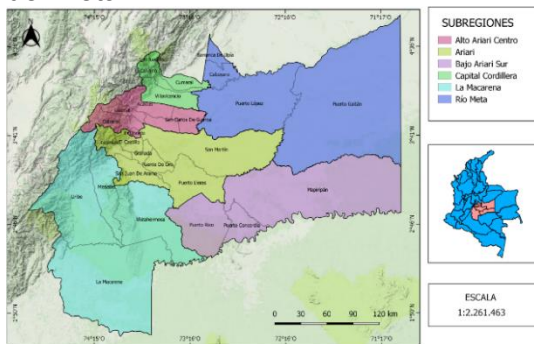
II. IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

Para conocer el potencial energético del departamento del Meta se realizó un proceso de recopilación y clasificación de información suministrada por entidades nacionales como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Agronet, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) e

internacionales como la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Posteriormente se hace la elaboración de diferentes tablas, gráficas y figuras, y finalmente se realiza el proceso de análisis para determinar las zonas con mayor potencial hídrico, eólico, solar y de biomasa.

La clasificación de la información se hace a partir de la ordenanza 851 de 2014, que establece la división del territorio en seis subregiones, en la figura 1 se observa con mayor detalle el nombre de cada una de ellas y los municipios que las conforman.

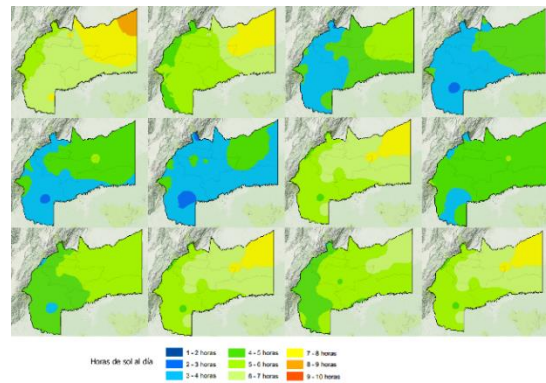
Figura 1. Subregiones del departamento del Meta



Fuente. Elaboración propia

Para la elaboración del análisis del recurso solar en el departamento, se empleó el atlas interactivo del IDEAM que entre otras cosas, provee mapas mensuales de brillo solar del 2014, estos se ilustran en la Figura 2 y permiten conocer que durante los meses de septiembre a febrero se presenta la mayor cantidad de Horas de Brillo Solar (HBS), especialmente en la subregión Río Meta cuyo promedio alcanza un máximo de 8 a 9 horas durante el mes de enero. En los meses de marzo a junio, y en la zona que cubre las subregiones Capital Cordillera, Alto Ariari Sur, Ariari y La Macarena las HBS son bastante bajas y oscilan en un rango de 2h a 4h.

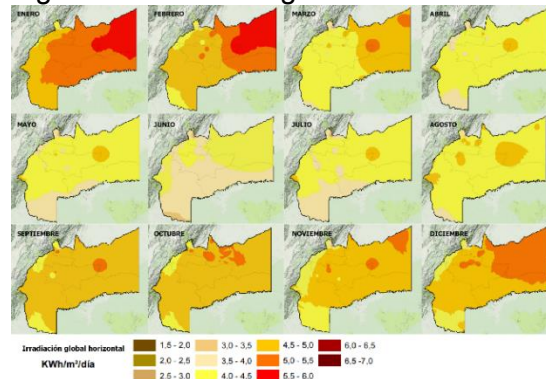
Figura 2. Horas de brillo solar



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM 2014.

Con respecto a la irradiación, de acuerdo con la Figura 5, los mayores registros se presentan durante los meses de diciembre a febrero, con un promedio de 4.0 KWh/m² a 6.0 KWh/m², siendo el oriente del departamento la zona de mayor potencial. Caso contrario ocurre entre abril y agosto, en donde predomina una irradiación de 4 KWh/m² a 4.5 KWh/m², e incluso en el suroccidente desciende a un rango de 3 KWh/m² a 4 KWh/m².

Figura 5. Irradiación global horizontal

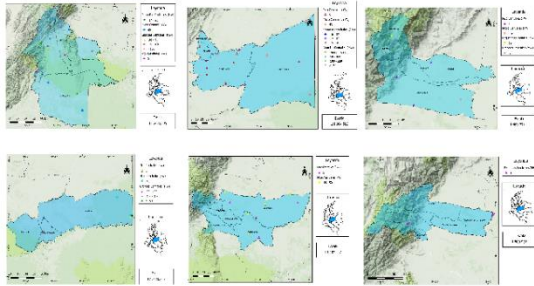


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM 2014.

En lo que corresponde al potencial hidroenergético se realizó una evaluación de acuerdo con el Atlas Potencial Hidroenergético publicado por la UPME en

el 2015, en el cual se identifican los tramos de río en los que hay mayor potencial aprovechable y se clasifican de la siguiente forma: pico centrales, micro centrales, pequeñas centrales y grandes centrales. En la figura 3 se observan que la subregión Río Meta es la más privilegiada, pues se podrían instalar seis pico centrales de 5kW, seis micro centrales de 49 kW, seis pequeñas centrales en un rango de 10 MW a 20 MW y siete grandes centrales, entre las cuales se destacan tres con un potencial mayor a 250 MW.

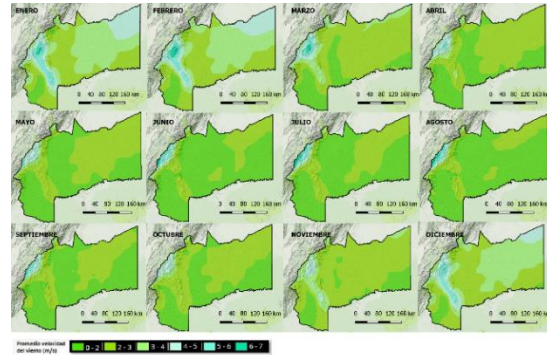
Figura 3. Evaluación del potencial hidroenergético por subregión



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME 2015

Nuevamente se acude al Atlas Interactivo del IDEAM para conocer el comportamiento del viento en el territorio nacional, en la figura 4 se observan los mapas correspondientes a la velocidad promedio del viento a una altura de 10m, ésta permite identificar que la mayor velocidad se presenta durante los meses de diciembre a febrero con al menos 2m/s, se destacan las subregiones ubicadas al occidente del territorio como son Alto Ariari Centro, Ariari y La Macarena y al oriente, la subregión Río Meta, en estas zonas la velocidad puede estar en un rango de 4m/s a 7m/s. En contraste, durante los meses de junio a agosto los vientos tienden a tener una menor intensidad, predominando en la mayoría del territorio una velocidad de 0 a 2 m/s.

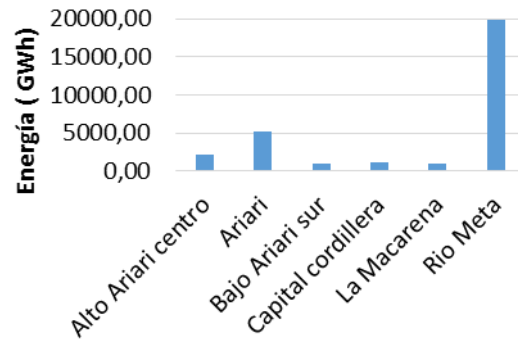
Figura 4. Velocidad promedio mensual del viento a 10m de altura



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM 2015.

Los datos necesarios para la estimación de la oferta energética (GWh) total de cada subregión en cuanto a biomasa residual agrícola (cultivos permanentes y transitorios) se obtuvo de las Evaluaciones Municipales Agropecuarias (EVA), a partir de estos datos se construyó la Gráfica 1, en la cual se puede apreciar que el potencial aprovechable es de 30.320,43 GWh.

Gráfica 1. Oferta energética por subregión (2015).



Fuente. Autores

En la Tabla 1 se presenta el potencial energético de los sectores avícola, bovino y porcino de las seis subregiones del departamento, estos datos son calculados a partir de datos suministrados por el

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y reflejan que el sector bovino predomina con un 88% del potencial total; mientras que a nivel de subregiones destaca Río Meta con el 25,5% del potencial departamental.

Tabla 1. Potencial energético en cada subregión por sector pecuario (2016).

	Avícola (GWh)	Bovino (GWh)	Porcino (GWh)	Total por subregión
Alto Ariari Centro	45,08	173,91	6,70	225,69
Ariari	12,6	392,62	3,97	409,19
Bajo Ariari Sur	0	135,02	0,49	135,51
Capital Cordillera	128,88	161	14,57	304,45
La Macarena	0	186,86	1,94	188,8
Río Meta	0	403,81	52,4	456,21
Total por sector	186,57	1453,22	80,07	Total: 1719,86

Fuente. Elaboración propia a partir de datos del ICA 2016.

III. RESULTADOS

Durante los meses de septiembre a febrero, la subregión Río Meta presenta la etapa de mayor duración de brillo solar de todo el departamento con más de 7 horas diarias; mientras que en los meses de marzo a junio se registran las horas de brillo solar más bajas del año, especialmente en las subregiones Ariari, Bajo Ariari Sur, Capital Cordillera y La Macarena donde el promedio es de 2 a 4 horas.

En los meses de diciembre a febrero, se registra la mayor irradiación solar en el departamento con un promedio de 4.0 KWh/m² a 6.0 KWh/m², siendo el oriente del departamento la zona de mayor potencial. La menor irradiación solar ocurre entre abril y agosto en el sur occidente del departamento, en donde predomina una irradiación promedio de 3 KWh/m² a 4 KWh/m²

Según un estudio de la UPME, si en el año 2015 se hubieran instalado centrales hidroeléctricas en sitios óptimos para aprovechar el potencial hídrico del departamento, estas tendrían la energía suficiente para haber generado hasta 1,43 GWh. Entre las subregiones se destaca Río Meta, la cual podría generar alrededor de 1 GWh si se instalaran en su territorio las respectivas centrales planteadas en el estudio. La subregión del Ariari es la de menor potencial hidroenergético con un suministro de alrededor de 270KWh.

El potencial energético de la biomasa residual agrícola en el departamento fue 30.320,43GWh para el año 2015. Se destaca la subregión Río Meta como la de mayor potencial energético con 19.861,6 GWh a partir de 818.320,94 toneladas de residuos de cultivos. La caña de azúcar con 16,519,91 GWh es el cultivo de mayor oferta energética gracias a 3.525.152 toneladas de residuos en todo el departamento.

Para el año 2016 el potencial energético de la biomasa residual pecuaria fue de 1453,22 GWh en el departamento. El sector pecuario bovino fue el de mayor producción energética con el 84,5% del departamento, lo que equivale a 1453,22 GWh aportados por 1'660.217 bovinos distribuidos en 13.740 predios. La subregión Río Meta destaca sobre las demás subregiones con 456,21 GWh de los cuales 403,81 GWh proviene del sector bovino y 52,4 GWh del sector porcino.

IV. CONCLUSIONES

A diferencia de la energía de la biomasa, el aprovechamiento del potencial energético de la energía solar, hidráulica y eólica, no solo depende de sus respectivas características energéticas, sino que también depende de la cantidad de infraestructuras y maquinarias destinadas a su aprovechamiento. Por ejemplo, en cierto terreno incide una radiación solar de 4200 Wh/m²; en este caso la energía aprovechable en este terreno es directamente proporcional a la cantidad de paneles solares instalados, lo cual indica que en este caso el potencial energético depende de la inversión económica realizada.

Por otra parte, el aprovechamiento del potencial energético en la biomasa residual agrícola y pecuaria es proporcional a la cantidad de residuos generados y no al número de infraestructuras y maquinarias destinadas al aprovechamiento de estos. Lo anterior se puede justificar al pensar en una situación donde existan varias plantas de energía, pero no residuos para ponerlas en funcionamiento; mientras que una sola planta de energía puede funcionar hasta aprovechar la cantidad de residuos disponibles.

Los años en que están basados los estudios en cada una de las fuentes de energía varían, ya que se utiliza la información disponible más reciente con el fin de estimar los potenciales energéticos según la actualidad del departamento en cada uno de los sectores energéticos.

Río meta es la subregión que predomina energéticamente frente a las demás en los sectores energéticos solar, hídrico y de la biomasa residual agrícola y pecuaria.

Todos aquellos planes de energización mediante energías renovables deberían ser ejecutados tanto para las zonas rurales como para las zonas urbanas con el objetivo de hacerle frente al cambio climático y fortalecer la imagen de Colombia como país verde.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Cancillería. (2017). *Implementación del Plan Fronteras para la Prosperidad*. Bogotá.
- Celsia. (2 de Septiembre de 2017). *Blog Celsia*. Obtenido de <https://blog.celsia.com/sala-de-prensa/empezamos-a-operar-la-granja-de-energia-solar>
- El Espectador. (28 de Noviembre de 2017). Empresa Francesa dice que granjas solares son alternativa energética para Colombia. *El Espectador*.
- UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, & IGAC. (2015). *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015*. Bogotá.
- WWF, MINAMBIENTE, & Fundación Natura. (2016). *El acuerdo de París así actuara Colombia frente al cambio climático*. Bogotá: El Bando Creativo.