



ANÁLISIS DE LA OFERTA ENERGÉTICA DE RECURSOS RENOVABLES DEL DEPARTAMENTO DE META



PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE REGIÓN ORINOQUIA ENERGÍAS RENOVABLES: UNA OPCIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL PRODUCTIVO

DEPARTAMENTO DE META

ANÁLISIS DE LA OFERTA ENERGÉTICA DE RECURSOS RENOVABLES

Autores:

Cristóbal Lugo López, Investigador Principal

Equipo de trabajo:

Ing. Electrónico Esp. Inst. y Control Industrial Jairo David Cuero Ortega
Ing. Electrónico Esp. Inst. y Control Industrial Álvaro Andrés Montenegro Poches
Ing. Electricista Msc. en Energías Renovables Pedro Jaime Pineda Parra Ing.
Electrónico Angie Yulieth Sánchez Torres
Ing. Electrónico Joan Sebastián Castañeda Cardona
Ing. Electrónico Álvaro Iván Méndez Acuña
Pasante Ing. Electrónica Lorena Rodríguez Hernández
Ing. Agroindustrial María Alejandra Cruz Domínguez
Pasante Ing. Electrónica Ángela María Quiñones García

Universidad de los Llanos
Villavicencio, Meta
2018

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE GRÁFICAS	xii
LISTA DE TABLAS	xvi
1. GENERALIDADES	1
1.1 Subregión Ariari.....	4
1.2 Subregión Bajo Ariari Sur.....	5
1.3 Subregión Alto Ariari Sur.....	6
1.4 Subregión Río Meta	7
1.5 Subregión La Macarena.....	8
1.6 Subregión Capital Cordillera	10
1.7 Estaciones meteorológicas	13
2. POTENCIAL SOLAR	17
2.1 Metodología de análisis.....	17
2.2 Instrumentos de medición potencial solar en las estaciones del IDEAM ..	18
2.3 Estaciones meteorológicas de potencial solar en el Meta	20
2.4 Horas de brillo solar (HBS) en el departamento del Meta.....	23
2.4.1 Comportamiento horas de brillo solar por estaciones del IDEAM	26
2.4.2 Horas de brillo solar para la subregión Río Meta	26
2.4.3 Horas de brillo solar para la subregión Capital Cordillera	27
2.4.4 Horas de Brillo Solar para la Subregión Ariari	28
2.4.5 Horas de Brillo Solar para la Subregión Macarena	29
2.5 Nubosidad mensual multianual	31
2.5.1 Promedio multianual de nubosidad en la subregión Río Meta	31
2.5.2 Promedio multianual de nubosidad en la subregión Capital Cordillera	33
2.5.3 Promedio multianual de nubosidad en subregión Ariari	35
2.5.4 Promedio multianual de nubosidad en subregión la Macarena	36

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

iv

2.6	Temperatura mensual multianual en el departamento del Meta	37
2.6.1	Promedio multianual de temperatura en subregión Río Meta	37
2.6.2	Promedio multianual de temperatura en subregión Capital Cordillera	40
2.6.3	Promedio multianual de temperatura en subregión La Macarena	41
2.6.4	Promedio multianual de temperatura en subregión Ariari	43
2.7	Radiación global horizontal (GHI) en el departamento del Meta.....	43
2.7.1	Comportamiento radiación global horizontal estaciones del IDEAM ..	46
2.7.2	Radiación Global Horizontal para la Subregión Ariari	46
2.7.3	Radiación global horizontal para la subregión Alto Ariari Centro	48
2.7.4	Radiación global horizontal para la subregión Río Meta	49
2.7.5	Radiación global horizontal para la subregión Capital Cordillera	51
2.8	Radiación global horizontal con información satelital del IRENA.....	53
2.8.1	Subregión Alto Ariari Centro	54
2.8.2	Subregión Ariari	59
2.8.4	Subregión Bajo Ariari Sur	64
2.8.5	Subregión Capital Cordillera.....	69
2.8.6	Subregión La Macarena	74
2.8.7	Subregión Río Meta.....	79
2.9	Mapa de radiación global horizontal propuesto para el Meta.....	84
2.9.1	Método de promedio por valores de radiación global horizontal	86
2.9.2	Método de interpolación por distancia inversa ponderada	87
2.10	Resultados	91
3.	POTENCIAL HIDROENÉRGETICO	94
3.1	Metodología de análisis.....	96
3.2	Estaciones meteorológicas de potencial hídrico en el Meta	96
3.2.1	Estaciones de medición en la subregión Ariari.....	98
3.2.2	Estaciones de medición en la subregión Bajo Ariari Sur.....	100
3.2.3	Estaciones de medición en la subregión Alto Ariari Centro.....	101

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

v

3.2.4	Estaciones de medición en la subregión Río Meta.....	102
3.2.5	Estaciones de medición en la subregión La Macarena	104
3.2.6	Estaciones de medición en la subregión Capital Cordillera.....	105
3.2.7	Estaciones de medición de otras entidades	106
3.3	Recurso hídrico en el departamento del Meta	109
3.3.1	Descripción del recurso hídrico en la subregión Ariari	111
3.3.2	Descripción del recurso hídrico en la subregión Bajo Ariari Sur.....	113
3.3.3	Descripción del recurso hídrico en la subregión Río Meta	114
3.3.4	Descripción del recurso hídrico en la subregión Alto Ariari centro ...	115
3.3.5	Descripción del recurso hídrico en la subregión La Macarena.....	116
3.3.6	Descripción del recurso hídrico en la subregión Capital Cordillera ..	117
3.4	Precipitación en el departamento del Meta	117
3.4.1	Precipitación subregión Ariari	118
3.4.2	Precipitación subregión Bajo Ariari Sur	125
3.4.3	Precipitación subregión Río Meta	132
3.4.4	Precipitación subregión Alto Ariari Centro	139
3.4.5	Precipitación subregión La Macarena	145
3.4.6	Precipitación subregión Capital Cordillera.....	156
3.5	Potencial Hidroenergético en el departamento del Meta	166
3.5.1	Caída hidráulica para el departamento del Meta.....	166
3.5.2	Subregión Ariari – Lc: 200 Metros, 1km y 5km.....	167
3.5.3	Subregión Bajo Ariari Sur Lc: 200metros, 1km y 5km.....	170
3.5.4	Subregión Río Meta – Lc: 200 metros, 1km y 5km.....	173
3.5.5	Subregión Alto Ariari Centro – Lc: 200m, 1km y 5km.....	176
3.5.6	Subregión La Macarena – Lc: 200m, 1km y 5km	179
3.5.7	Subregión Capital Cordillera – Lc: 200m, 1km y 5km.....	182
3.6	Evaluación teórica del potencial hidroenergético en el departamento del Meta según la UPME	185
3.7	Potencial hidroenergético en el departamento del Meta	187

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

vi

3.8	Resultados	191
4.	POTENCIAL EÓLICO	193
4.1	Metodología de análisis.....	196
4.2	Estaciones meteorológicas de potencial eólico en el Meta.....	196
4.3	Análisis de la velocidad del viento según el atlas del IDEAM	198
4.4	Análisis de la velocidad del viento según las estaciones del IDEAM.....	203
4.4.1	Estación La Libertad	204
4.4.2	Estación Aeropuerto Vanguardia.....	204
4.4.3	Estación Unillanos	205
4.4.4	Estación Carimagua	206
4.4.5	Estación Alto del Tigre.....	207
4.4.6	Análisis y comparación de los puntos de registro de la NASA, estaciones del IDEAM y fuentes de información del IRENA.....	208
4.5	Análisis de la dirección del viento según las estaciones del IDEAM.....	210
4.6	Análisis de la velocidad del viento (WS) según el atlas global del IRENA 216	
4.6.1	Subregión Alto Ariari Centro	217
4.6.2	Subregión Ariari	220
4.6.3	Subregión Bajo Ariari Sur	223
4.6.4	Subregión Capital Cordillera.....	226
4.6.5	Subregión Río Meta.....	229
4.6.6	Subregión La Macarena	232
4.7	Análisis de la dirección del viento (WD) para cada subregión según información obtenida del DTU.....	235
4.7.1	Análisis de WD para la subregión Alto Ariari Centro	238
4.7.2	Análisis de WD para la subregión Ariari	239
4.7.3	Análisis de WD para la subregión Bajo Ariari Sur	240
4.7.4	Análisis de WD para la subregión Capital Cordillera	241
4.7.5	Análisis de WD para la subregión Río Meta	242

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

vii

4.7.6	Análisis de WD para la subregión La Macarena.....	243
4.8	Mapa de velocidad del viento a 15 metros sobre la superficie propuesto para el departamento del Meta	245
4.9	Resultados	250
5.	POTENCIAL DE LA BIOMASA	253
5.1	Potencial energético de la biomasa agrícola.....	253
5.1.1	Cultivos permanentes en el departamento del Meta	256
5.1.2	Cultivos transitorios en el departamento del Meta.....	268
5.1.3	Potencial energético de la biomasa residual agrícola	274
5.1.4	Potencial energético de los residuos de cultivos permanentes y transitorios	275
5.1.5	Potencial energético en las subregiones	278
5.1.6	Mapa propuesto de potencial energético de biomasa residual	291
5.2	Potencial energético de la biomasa pecuaria.....	292
5.2.1	Biomasa pecuaria del sector bovino.....	293
5.2.2	Biomasa pecuaria del sector porcino.....	304
5.2.3	Biomasa pecuaria del sector avícola	317
5.2.4	Potencial energético de la biomasa residual pecuaria en el departamento.....	321
5.2.5	Mapa de potencial energético de biomasa pecuaria propuesto	331
5.3	Resultados	332
	CONCLUSIONES GENERALES	337
	RECOMENDACIONES	339
	BIBLIOGRAFÍA.....	340

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Municipios del departamento del Meta.....	1
Figura 2. Subregiones departamento del Meta	3
Figura 3. Categorías Estaciones Meteorológicas en el departamento del Meta	13
Figura 4. Estado de las Estaciones Meteorológicas del IDEAM	15
Figura 5. Estaciones meteorológicas de potencial solar	21
Figura 6. Promedio multianual de horas de brillo solar	24
Figura 7. Promedio mensual multianual de horas de brillo solar.....	25
Figura 8. Promedio multianual de radiación global horizontal.....	44
Figura 9. Promedio mensual multianual de radiación global horizontal	45
Figura 10. Subregión Alto Ariari Centro – GHI 3TIER	55
Figura 11. Subregión Alto Ariari Centro - GHI ESMAP	56
Figura 12. Subregión Alto Ariari Centro - GHI INPE.....	57
Figura 13. Subregión Alto Ariari Centro - GHI NREL	58
Figura 14. Subregión Ariari - GHI 3TIER.....	59
Figura 15. Subregión Ariari - GHI ESMAP	61
Figura 16. Subregión Ariari - GHI INPE.....	62
Figura 17. Subregión Ariari - GHI NREL	63
Figura 18. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI 3TIER.....	65
Figura 19. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI ESMAP	66
Figura 20. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI INPE	67
Figura 21. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI NREL.....	69
Figura 22. Subregión Capital Cordillera - GHI 3TIER.....	70
Figura 23. Subregión Capital Cordillera - GHI ESMAP	71
Figura 24. Subregión Capital Cordillera - GHI INPE	72
Figura 25. Subregión Capital Cordillera - GHI NREL	74
Figura 26. Subregión La Macarena - GHI 3TIER	75
Figura 27. Subregión La Macarena - GHI ESMAP	76
Figura 28. Subregión La Macarena - GHI INPE	77
Figura 29. Subregión La Macarena - GHI NREL.....	78
Figura 30. Subregión Río Meta - GHI 3TIER.....	80
Figura 31. Subregión Río Meta - GHI ESMAP	81
Figura 32. Subregión Río Meta - GHI INPE	82
Figura 33. Subregión Río Meta - GHI NREL	84
Figura 34. Localización de estaciones del IDEAM y la NASA.....	85
Figura 35. GHI con el método por promedio de fuentes satelitales	87

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

ix

Figura 36. Interpolación con coeficiente de dos, tres y cuatro	88
Figura 37. GHI por el método de interpolación.....	90
Figura 38. Mapa de las estaciones meteorológicas activas	98
Figura 39. Precipitación para la subregión Ariari.....	119
Figura 40. Precipitación media anual para la subregión Ariari.....	121
Figura 41. Precipitación para la subregión Bajo Ariari Sur.....	126
Figura 42. Precipitación media anual para la subregión Bajo Ariari Sur	127
Figura 43. Precipitación para la subregión Río Meta	133
Figura 44. Precipitación media para la subregión Río Meta.....	134
Figura 45. Precipitación multianual en la subregión Alto Ariari Centro	140
Figura 46. Precipitación media para la subregión Alto Ariari Centro.....	141
Figura 47. Precipitación multianual de la subregión La Macarena.....	146
Figura 48. Precipitación media anual para la subregión La Macarena	148
Figura 49. Precipitación multianual de la subregión Capital Cordillera	157
Figura 50. Precipitación media anual para la subregión Capital Cordillera.....	158
Figura 51. Potencial hidroenergético en la subregión Ariari Lc - 200m.....	168
Figura 52. Potencial hidroenergético en la subregión Ariari Lc - 1km	169
Figura 53. Potencial hidroenergético en la subregión Ariari Lc - 5km	170
Figura 54. Potencial Hidroenergético en la Subregión Bajo Ariari Sur Lc - 200m	171
Figura 55. Potencial hidroenergético en la subregión Bajo Ariari Sur Lc - 1km ...	172
Figura 56. Potencial hidroenergético en la subregión Bajo Ariari Sur Lc - 5km ...	173
Figura 57. Potencial hidroenergético de la subregión Río Meta Lc: 200m.....	174
Figura 58. Potencial hidroenergético de la subregión Río Meta Lc: 1km.....	175
Figura 59. Potencial hidroenergético de la subregión Río Meta Lc: 5km.....	176
Figura 60. Potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro Lc-200m	177
.....	177
Figura 61. Potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro Lc-1km.	178
Figura 62. Potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro Lc-5km.	179
Figura 63. Potencial hidroenergético en la subregión La Macarena Lc-200m	180
Figura 64. Potencial hidroenergético en la subregión La Macarena Lc-1km	181
Figura 65. Potencial hidroenergético en la subregión La Macarena Lc-5km	182
Figura 66. Potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera Lc-200m	183
.....	183
Figura 67. Potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera Lc-1km.	184
Figura 68. Potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera Lc-5km.	185
Figura 69. Potencial disponible para pequeñas centrales hidroeléctricas.....	186
Figura 70. Potencial hidroenergético a pequeña escala por subcuenca	190
Figura 71. Potencial hidroenergético a gran escala por subcuenca	191

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

x

Figura 72. Tendencia de giro del viento generada por el efecto Coriolis	193
Figura 73. Velocidad del viento promedio anual a 50 m de altura.	195
Figura 74. Estaciones IDEAM y puntos de registro de la NASA	198
Figura 75. Velocidad promedio mensual del viento a 10 metros.....	199
Figura 76. Velocidad promedio anual del viento a 10 metros	200
Figura 77. Velocidad promedio mensual del viento a 50 metros.....	202
Figura 78. Velocidad promedio anual del viento a 50 metros	203
Figura 79. Rosa de los vientos estación La Libertad.....	210
Figura 80. Rosa de los vientos estación Unillanos.....	212
Figura 81. Rosa de los vientos estación Aeropuerto Vanguardia	214
Figura 82. Velocidad del viento de la subregión Alto Ariari Centro - DTU.....	218
Figura 83. Velocidad del viento de la subregión Alto Ariari Centro - CENER	219
Figura 84. Velocidad del viento de la subregión Alto Ariari Centro - 3TIER.....	220
Figura 85. Velocidad del viento de la subregión Ariari - DTU.....	221
Figura 86. Velocidad del viento de la subregión Ariari - CENER	222
Figura 87. Velocidad del viento de la subregión Ariari – 3TIER.....	223
Figura 88. Velocidad del viento de la subregión Bajo Ariari Sur - DTU	224
Figura 89. Velocidad del viento de la subregión Bajo Ariari Sur - CENER.....	225
Figura 90. Velocidad del viento de la subregión Bajo Ariari Sur - 3TIER	226
Figura 91. Velocidad del viento de la subregión Capital Cordillera - DTU	227
Figura 92. Velocidad del viento de la subregión Capital Cordillera - CENER	228
Figura 93. Velocidad del viento de la subregión Capital Cordillera - 3TIER.....	229
Figura 94. Velocidad del viento de la subregión Río Meta - DTU	230
Figura 95. Velocidad del viento de la subregión Río Meta - CENER	231
Figura 96. Velocidad del viento de la subregión Río Meta - 3TIER.....	232
Figura 97. Velocidad del viento de la subregión La Macarena - DTU	233
Figura 98. Velocidad del viento de la subregión La Macarena - CENER.....	234
Figura 99. Velocidad del viento de la subregión La Macarena - 3TIER	235
Figura 100. Puntos geográficos limítrofes de la subregión Ariari	236
Figura 101. Selección de área correspondiente a la subregión Ariari a partir de los puntos geográficos limítrofes definidos	237
Figura 102. Datos de WD de la subregión Alto Ariari Centro	239
Figura 103. Datos de WD de la subregión Ariari	240
Figura 104. Datos de WD de la subregión Bajo Ariari Sur	241
Figura 105. Datos de WD de la subregión Capital Cordillera.....	242
Figura 106. Datos de WD de la subregión Río Meta	243
Figura 107. Datos de WD de la subregión La Macarena	244
Figura 108. Mapa de rugosidad superficial anual (2015) de Colombia	248

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

xi

Figura 109. Rugosidad superficial	249
Figura 110. Mapa de WS a 15 metros de altura para el departamento del Meta.	250
Figura 111. Área sembrada del cultivo de caña de azúcar en el 2016	259
Figura 112. Área sembrada del cultivo de palma de aceite en el 2016.....	261
Figura 113. Área sembrada del cultivo de plátano en el 2016	264
Figura 114. Área sembrada del cultivo de yuca en el 2016	266
Figura 115. Área sembrada del cultivo de maíz en el 2016	270
Figura 116. Área sembrada del cultivo de arroz.....	272
Figura 117. Mapa de potencial energético de biomasa agrícola.....	292
Figura 118. Mapa de potencial energético de biomasa pecuaria.....	332

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Fases de la metodología para el análisis del potencial solar	18
Gráfica 2. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Río Meta.....	27
Gráfica 3. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Capital Cordillera	28
Gráfica 4. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Ariari	29
Gráfica 5. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Macarena. ...	30
Gráfica 6. Promedio de nubosidad en la estación Barranca de Upía.....	32
Gráfica 7. Promedio de nubosidad en la estación Petriba	32
Gráfica 8. Promedio de nubosidad en la estación Carimagua	33
Gráfica 9. Promedio de nubosidad en la estación La Libertad.....	34
Gráfica 10. Promedio de nubosidad en la estación Salinas de Upín	35
Gráfica 11. Promedio de nubosidad en la estación Puerto Limón	36
Gráfica 12. Promedio de nubosidad en la estación la Macarena	37
Gráfica 13. Promedio de temperatura en la estación Barranca de Upía.....	38
Gráfica 14. Promedio de temperatura en la estación Petriba.....	39
Gráfica 15. Promedio de temperatura en la estación Carimagua	39
Gráfica 16. Promedio de temperatura en la estación La Libertad	40
Gráfica 17. Promedio de temperatura en la estación Salinas de Upín.....	41
Gráfica 18. Promedio de temperatura en la estación La Macarena	42
Gráfica 19. Promedio de temperatura en la estación Mesetas	42
Gráfica 20. Promedio de temperatura en la estación Puerto Limón.....	43
Gráfica 21. Promedio mensual multianual de GHI de estaciones activas para la subregión Ariari	47
Gráfica 22. Promedio mensual multianual de GHI para estaciones suspendidas en la subregión Ariari.....	48
Gráfica 23. Promedio mensual multianual de GHI en la subregión Alto Ariari Centro	49
Gráfica 24. Promedio mensual multianual de GHI de estaciones activas en la subregión Río Meta	50
Gráfica 25. Promedio mensual multianual de GHI para estaciones suspendidas en la subregión Río Meta	51
Gráfica 26. Promedio mensual multianual de GHI de estaciones activas en la subregión Capital Cordillera	52
Gráfica 27. Promedio mensual multianual de GHI para estaciones suspendidas en la subregión Capital Cordillera	53

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

xiii

Gráfica 28. Clases y categorías de estaciones de interés hídrico.....	97
Gráfica 29. Promedio multianual de días lluvias para subregión Ariari	122
Gráfica 30. Climograma del municipio de Fuente de Oro	123
Gráfica 31. Precipitación en la subregión Ariari	124
Gráfica 32. Precipitación en la subregión Ariari	125
Gráfica 33. Promedio por municipio de días lluvias para subregión Bajo Ariari Sur	128
Gráfica 34. Precipitación multianual subregión Bajo Ariari Sur	129
Gráfica 35. Precipitación Municipio de Puerto Rico	131
Gráfica 36. Climograma del municipio de Puerto Rico.....	132
Gráfica 37. Promedio por municipio de días lluvias para subregión Río Meta.....	135
Gráfica 38. Precipitación multianual Subregión Río Meta	136
Gráfica 39. Precipitación multianual Subregión Río Meta	137
Gráfica 40. Precipitación multianual municipio de Puerto López	138
Gráfica 41. Climograma del municipio de Puerto López	139
Gráfica 42. Precipitación mensual en la subregión Alto Ariari Centro.....	143
Gráfica 43. Días con lluvia en la subregión Alto Ariari Centro.....	144
Gráfica 44. Precipitación multianual en la subregión Alto Ariari Centro	145
Gráfica 45. Climograma del municipio La Macarena.....	149
Gráfica 46. Climograma del municipio Vistahermosa.....	150
Gráfica 47. Climograma del municipio Mesetas	151
Gráfica 48. Precipitación multianual en la subregión La Macarena	153
Gráfica 49. Días con lluvia en la subregión La Macarena	154
Gráfica 50. Precipitación multianual en la subregión La Macarena	155
Gráfica 51. Precipitación mensual en la subregión La Macarena	156
Gráfica 52. Climograma del municipio de Villavicencio.....	159
Gráfica 53. Climograma del municipio de Cumaral	160
Gráfica 54. Precipitación multianual en la subregión Capital Cordillera.....	161
Gráfica 55. Precipitación en la subregión Capital Cordillera	162
Gráfica 56. Días con lluvia en la subregión Capital Cordillera	163
Gráfica 57. Días con lluvia en la subregión Capital Cordillera	164
Gráfica 58. Precipitación multianual en la subregión Capital Cordillera.....	165
Gráfica 59. Precipitación mensual en la subregión La Macarena	165
Gráfica 60. Promedio multianual velocidad del viento en la estación La Libertad	204
Gráfica 61. Velocidad del viento en la estación Apto Vanguardia.....	205
Gráfica 62. Velocidad del viento en la estación Unillanos.....	206
Gráfica 63. Velocidad del viento en la estación Carimagua	207
Gráfica 64. Velocidad del viento en la estación Alto del Tigre	208

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

xiv

Gráfica 65. Representación gráfica de la dirección y velocidad del viento en la estación La Libertad	211
Gráfica 66. Representación gráfica de la dirección y velocidad del viento en la estación Unillanos.	213
Gráfica 67. Representación gráfica de velocidad y dirección del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia	215
Gráfica 68. Registro del área cosechada por tipo de cultivo (2007-2016)	255
Gráfica 69. Producción de caña de azúcar por subregiones en el 2016.....	260
Gráfica 70. Producción de palma de aceite en el 2016.....	263
Gráfica 71. Producción de plátano en el 2016	265
Gráfica 72. Producción de yuca en el 2016.....	268
Gráfica 73. Producción de maíz en el 2016	271
Gráfica 74. Producción de arroz en el 2016	274
Gráfica 75. Potencial energético de los cultivos permanentes y transitorios	278
Gráfica 76. Potencial energético de la biomasa en la subregión Ariari	280
Gráfica 77. Potencial energético de la biomasa en la subregión Bajo Ariari Sur.....	282
Gráfica 78. Potencial energético de la biomasa en la subregión Alto Ariari Centro	284
Gráfica 79. Potencial energético de la biomasa en la subregión Río Meta...287	287
Gráfica 80. Potencial energético de la biomasa en la subregión La Macarena	289
Gráfica 81. Potencial energético de la biomasa en la subregión Capital Cordillera.....	291
Gráfica 82. Distribución de cabezas de ganado bovino por subregiones	293
Gráfica 83. Clasificación de las fincas según el número de cabezas bovinas (2016)	294
Gráfica 84. Predios según cabezas bovinas en la subregión Alto Ariari Centro ..	296
Gráfica 85. Predios según cabezas bovinas en la subregión Ariari	297
Gráfica 86. Predios según cabezas bovinas en la subregión Bajo Ariari Sur	299
Gráfica 87. Predios según cabezas bovinas en la subregión Capital Cordillera ..	301
Gráfica 88. Predios según cabezas bovinas en la subregión La Macarena.....	302
Gráfica 89. Predios según cabezas bovinas en la subregión Río Meta	304
Gráfica 90. Distribución de cabezas de ganado porcino por subregiones	305
Gráfica 91. Número de predios en la subregión de Alto Ariari Centro	308
Gráfica 92. Número de predios en la subregión Ariari	310
Gráfica 93. Número de predios en la subregión de Bajo Ariari Sur.....	312



**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

XV

Gráfica 94. Número de predios en la subregión Capital Cordillera	313
Gráfica 95. Número de predios en la subregión La Macarena.....	315
Gráfica 96. Número de predios en la subregión Rio Meta	316
Gráfica 97. Oferta energética a partir de la biomasa residual pecuaria del departamento de Meta, año 2016	324

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

xvi

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Subregiones del departamento del Meta.....	2
Tabla 2. Categorías de las estaciones meteorológicas del IDEAM en el Meta.....	13
Tabla 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	21
Tabla 4. Escala de nubosidad del IDEAM	31
Tabla 5. Comparación y análisis estadístico de las capas ráster de interpolación	89
Tabla 6. Estaciones del IDEAM en la Subregión Ariari	99
Tabla 7. Estaciones de la Subregión Bajo Ariari Sur.....	101
Tabla 8. Estaciones del IDEAM en la subregión Alto Ariari Centro.....	101
Tabla 9. Estaciones del IDEAM en la subregión Río Meta.....	102
Tabla 10. Estaciones del IDEAM en la subregión La Macarena	104
Tabla 11. Estaciones del IDEAM en la subregión Capital Cordillera.....	105
Tabla 12. Estaciones de otras entidades en la subregión Ariari	107
Tabla 13. Estaciones de otras entidades en la subregión Ariari Centro.....	107
Tabla 14. Estaciones de otras entidades en la subregión Capital Cordillera	108
Tabla 15. Principales cuencas del departamento del Meta.....	110
Tabla 16. Zona hidrográfica del departamento del Meta.....	110
Tabla 17. Recurso hídrico de la subregión del Ariari.....	112
Tabla 18. Recurso hídrico de la subregión Bajo Ariari Sur.....	113
Tabla 19. Recurso hídrico de la subregión Río Meta	114
Tabla 20. Recurso hídrico de la subregión Alto Ariari Centro	115
Tabla 21. Recurso hídrico de la subregión La Macarena.....	116
Tabla 22. Recurso hídrico de la subregión Capital Cordillera	117
Tabla 23. Climas y temperatura de la subregión Bajo Ariari Sur.....	128
Tabla 24. Climas y temperatura de la subregión de Río Meta	135
Tabla 25. Caídas hidráulicas en metros para el área hidrográfica	167
Tabla 26. Potencial de fuentes hídricas para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	187
Tabla 27. Ubicación de las estaciones.....	197
Tabla 28. Velocidad del viento del IDEAM, IRENA y Puntos de registro de la NASA	209
Tabla 29. Direcciones del viento establecidas por el DTU	237
Tabla 30. Alturas del buje de sistemas eólicos de baja potencia fabricados por SWG, Windon AB y GE	245
Tabla 31. Área cosechada por tipo de cultivo (2007-2016).....	254
Tabla 32. Variación del área cosechada por tipos de cultivo (2007-2015).....	256

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

xvii

Tabla 33. Cultivos permanentes en el departamento del Meta (2015 y 2016).....	257
Tabla 34. Cultivo de caña de azúcar por subregiones	259
Tabla 35. Cultivo de palma de aceite por subregiones	262
Tabla 36. Cultivo de plátano por subregiones	264
Tabla 37. Cultivo de yuca por subregiones	267
Tabla 38. Cultivos transitorios en el año 2016	268
Tabla 39. Cultivo de maíz por subregiones	270
Tabla 40. Cultivo de arroz por subregiones.....	273
Tabla 41. Potencial energético de los cultivos permanentes (2015).....	276
Tabla 42. Potencial energético de la biomasa en la subregión Ariari	279
Tabla 43. Potencial energético de la biomasa en la subregión Bajo Ariari Sur	281
Tabla 44. Potencial energético de la biomasa en la subregión Alto Ariari Centro	283
Tabla 45. Potencial energético de la biomasa en la subregión Río Meta.....	285
Tabla 46. Potencial energético de la biomasa en la subregión La Macarena	287
Tabla 47. Potencial energético de la biomasa en la subregión Capital Cordillera.....	289
Tabla 48. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión del alto Ariari Centro (2016)	295
Tabla 49. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión Ariari (2016).....	296
Tabla 50. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión Bajo Ariari Sur (2016) .	298
Tabla 51. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión Capital Cordillera (2016)	299
Tabla 52. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión La Macarena (2016) ...	301
Tabla 53. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión Río Meta (2016).....	303
Tabla 54. Número de predios y de cabezas del sector porcícola por subregiones	305
Tabla 55. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Alto Ariari Centro (2016)	306
Tabla 56. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Ariari (2016)	308
Tabla 57. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Bajo Ariari Sur	310
Tabla 58. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Capital Cordillera	312

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

xviii

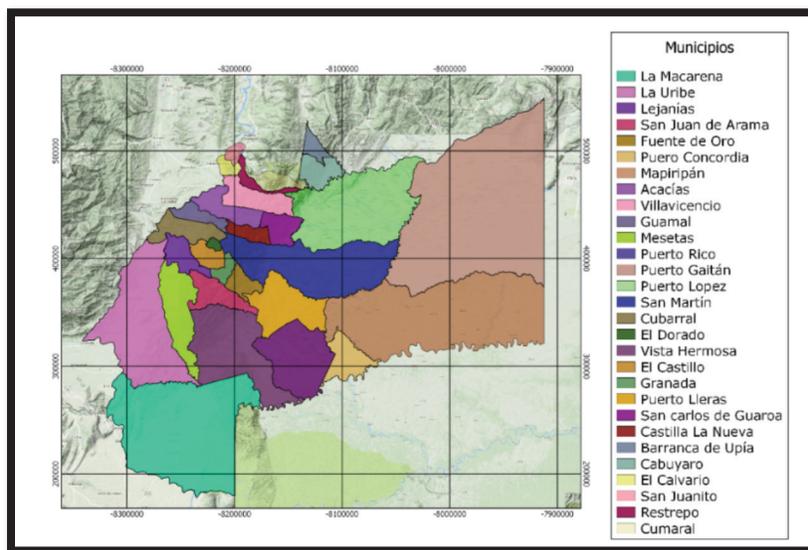
Tabla 59. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión La Macarena	314
Tabla 60. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Río Meta ..	315
Tabla 61. Número de aves y predios por etapas productivas por subregiones ...	317
Tabla 62. Aves y predios por sistema productivo en la subregión Alto Ariari Centro	318
Tabla 63. Aves y predios por sistema productivo en la subregión Ariari.....	319
Tabla 64. Aves y predios por sistema productivo en la subregión Capital Cordillera	320
Tabla 65. Constantes utilizadas para calcular el potencial energético mediante digestión anaerobia en el sector bovino, porcino y aves ponedoras.....	323
Tabla 66. Potencial energético de la biomasa residual pecuaria del departamento	323
Tabla 67. Potencial energético de la subregión Alto Ariari Centro	325
Tabla 68. Potencial energético de la subregión Ariari	326
Tabla 69. Potencial energético de la subregión Bajo Ariari Sur	328
Tabla 70. Potencial energético de la subregión Capital Cordillera.....	329
Tabla 71. Potencial energético de la subregión La Macarena	330
Tabla 72. Potencial energético de la subregión Río Meta.....	331
Tabla 73. Procesos de conversión energética a partir del recurso biomasa	334

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

1. GENERALIDADES

El departamento del Meta se encuentra ubicado en la región central de Colombia, cuenta con gran variedad de pisos térmicos: páramo, frío, medio y cálido, este último se encuentra presente en el 90% del departamento, su clima varía entre los 6°C y los 24°C. Como se muestra en la *Figura 1*, la división política administrativa del departamento corresponde a 29 municipios, los cuales representan una extensión territorial de 85.635 km² (PNUD, 2014).

Figura 1. Municipios del departamento del Meta



Fuente: Elaboración propia de acuerdo a la división política del departamento.

El departamento cuenta con grandes cuencas hidrográficas, su mayor arteria fluvial corresponde al río Meta, este río atraviesa 3 departamentos de la región de la Orinoquía, además posee 32 afluentes correspondientes a los ríos Humadea, Guamal, Orotoy, Acacias, Guayuriba, Negro, Ocoa, Guatiquía, Guacavia, Humea,

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

2

Upía, Cabuyarito, Melúa, Manacacías, Yucao y los caños Camoa, Blanco, La Unión, Grande, Chichimene, Quenane, Mayuga, Caibe, Pecuca, Naguaya, Macapay, Pirigua, Mucoya, Aceite, Nare, Cumaral y Casibare (META, 2016). En el departamento se pueden encontrar 4 parques nacionales naturales: Tinigua, Los Picachos, Sumapaz y la Serranía de La Macarena. La población étnica está conformada por mestizos y comunidades indígenas, estas últimas, distribuidas en las etnias nativas Sikuni, Achagua, Piapoco, Sáliba y Guayabero (PNUD, 2015).

Los 29 municipios del departamento se agrupan de acuerdo al Plan de Desarrollo Departamental en seis subregiones llamadas: Ariari, Bajo Ariari Sur, Alto Ariari Centro, Río Meta, La Macarena y Capital Cordillera, como lo muestra la *Tabla 1*. Esta agrupación se hace de acuerdo a la similitud de características sociales, económicas, ambientales y geográficas (ver *Figura 2*) con el fin de planificar su desarrollo y gestionar recursos dirigidos a solucionar problemas comunes entre los municipios de cada subregión, de acuerdo a la Ordenanza 851 de 2014 de la asamblea departamental del Meta.

Tabla 1. Subregiones del departamento del Meta

Subregión	Municipios
Ariari	San Juan de Arama, Lejanías, El Castillo, San Martín, Fuente de Oro, Granada y Puerto Lleras
Bajo Ariari Sur	Puerto Concordia, Puerto Rico y Mapiripan
Alto Ariari Centro	Cubarral, El Dorado, San Carlos de Guaroa, Guamal, Castilla la Nueva y Acacias
Río Meta	Puerto Gaitán, Barranca de Upía, Puerto López y Cabuyaro

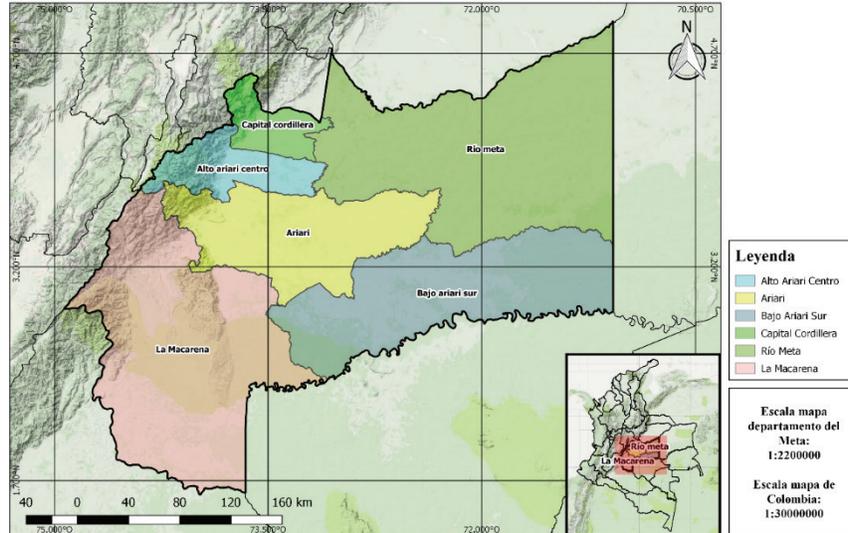
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

3

La Macarena	La Macarena, Vistahermosa, Uribe y Mesetas
Capital Cordillera	San Juanito, El Calvario, Restrepo, Cumaral y Villavicencio

Fuente. Elaboración propia.

Figura 2. Subregiones departamento del Meta



Fuente: Elaboración propia de acuerdo a la distribución de la Ordenanza 851 de 2014.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

4

1.1 Subregión Ariari

El municipio de San Juan de Arama está ubicado en el sur occidente del departamento del Meta, cuenta con un área total de 1158 km, la temperatura oscila entre 18 y 32 °C y la precipitación se presenta entre 2500 y 3500 mm (Alcaldía de San Juan de Arama, 2016).

Lejanías está localizado geográficamente al noroccidente del departamento del Meta. Tiene una altura aproximada de 1000 msnm, su temperatura media es de 24°C y la precipitación promedio esta alrededor de los 3716 mm anuales. El municipio tiene 77,1 km² de área protegida correspondientes a la reserva natural de Sumapaz (Alcaldía Municipal de Lejanías, 2015).

El Castillo tiene un total de población de 6735 habitantes, es una zona de producción agropecuaria (frutas y lácteos) y piscícola, con presencia de ganadería extensiva en la parte de sabana y con explotación de recursos maderables (Gobernación del Meta, 2008).

El municipio de San Martín de los Llanos se encuentra ubicado geográficamente al centro Occidente del departamento del Meta, con una temperatura promedio de 26°C (Perfil Productivo Municipio San Martín, 2016).

El municipio de Fuente de Oro está ubicado en la subcuenca media del río Ariari, localizado al occidente del departamento del Meta. Tiene una superficie de 628,79 km², que representa el 0,7 % del total del área del departamento del Meta y que relaciona una densidad poblacional de 23,02 personas por km² (Alcaldía de Fuente de Oro, 2006).

Granada cuenta con un área total de 350 km² y la temperatura promedio se encuentra entre los 24°C y los 25.6 °C. El número de horas de brillo solar se halla

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

5

influenciado en la zona, en gran medida por la precipitación en los diferentes meses del año. Para el área comprendida por el municipio, el brillo solar se registra con mayor intensidad, alcanzando valores que superan las 1650 horas anuales (Alcaldía Municipal de Granada, 2015).

La determinación del clima en Puerto Lleras tiene registros anuales de 27,5 °C y 24°C durante los periodos de bajas precipitaciones y alta temperatura en el verano. El brillo solar en la región registra valores máximos equivalentes a 259,2 horas durante el periodo de mayor estiaje y un valor mínimo de equivalente a 76,2 horas durante el periodo de lluvias intensas (Alcaldía de Puerto Lleras, 2009).

1.2 Subregión Bajo Ariari Sur

El municipio de Puerto Concordia tiene una extensión municipal de 1298 km². La totalidad del área del municipio pertenece a la gran cuenca del Rio Orinoco y a las cuencas de los ríos Ariari y Guayabero. El 4,6% de la población total del municipio corresponde a población indígena y un 7,5% a población afrodescendiente (Arnoldo Celedón).

Puerto Rico cuenta con 3431 kilómetros cuadrados y una población aproximada de 17.215 habitantes; tiene una temperatura de 29°C. Su vocación es principalmente la agricultura y la pesca, sin embargo se encuentran cultivos el arroz, sorgo, maíz, yuca y plátano. En el sector pecuario tienen rutas de comercialización de ganado y pescado hacia el interior del país. Su población se considera en un 50% flotante y migratoria (Alcaldía de Puerto Rico, 2010).

Mapiripan tiene una extensión de aproximadamente 14.400 km² que corresponden al 14,8% del área total del Departamento (Alcaldía de Mapiripán,

2016). Presenta dos estaciones bien definidas, una seca con temperaturas elevadas que va de Noviembre a Marzo y otra de lluvias que va de Abril a Octubre.

1.3 Subregión Alto Ariari Sur

El municipio de Cubarral tiene una baja densidad poblacional de 4,12 habitantes por km², se encuentra ubicado en la zona denominada como Piedemonte Llanero y por su posición geográfica cuenta con todos los climas. Su actividad económica se basa en la explotación maderera (oloroso, cedro, marfil, macano y caoba). Es uno de los municipios más importantes en recursos hídricos del Meta.

El municipio de El Dorado está ubicado al suroccidente del departamento del Meta, con un territorio de 115 km², su población es de 3397 habitantes, cuenta con 14 veredas y 2 centros poblados (Alcaldía de el Dorado, 2012).

San Carlos de Guaroa tiene una extensión municipal de 814 km². Su comportamiento climático es uniforme en toda su extensión, su régimen pluvial va desde 17,2 mm en verano a 384,5 mm en invierno. Su temperatura es proporcional a sus periodos de precipitación, generando en los meses más calientes 26,63 °C y en invierno 18,13 °C (Gobernación del Meta, 2016).

El municipio de Guamal tiene una extensión territorial de 638 km², con una población de 9403 habitantes, de los cuales 6858 residen en el área urbana y 2545 en el área rural. En el municipio se encuentra 377,7 km² de área de conservación del Parque Nacional Sumapaz correspondientes al 59,2% del área total del municipio (Gobernación del Meta, 2016).

Castilla la Nueva tiene una extensión de 50.728 km² y una densidad demográfica de 5,95 habitantes por km², es conocido por su riqueza petrolera, cuya

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

7

explotación es la actividad económica más importante en términos de generación de recursos financieros para el municipio (Gobernación del Meta, 2011).

Acacias tiene una extensión territorial de 1149 km² con una población total urbana de 59,5 habitantes por km² y una población rural de 10.941 habitantes por km². La cantidad de usuarios con servicio de energía eléctrica es de 23.448, con cobertura del 100% suministrada por la empresa EMSA. En los primeros renglones de su economía se encuentra la extracción de petróleo crudo y gas natural aportando cerca del 88,6%, seguido de la construcción de obras de ingeniería civil con un 1,6% (Meta G. d., Ficha técnica Acacias, 2015).

1.4 Subregión Río Meta

El municipio de Puerto Gaitán tiene una extensión territorial de 17.500 km² correspondientes 11.200 km² de área de sabana, 2774 km² de área de resguardos de comunidades indígenas y sabana inundable, 26 km² de centro poblado y 3500 km² de áreas de conservación. A pesar de su gran extensión es un terreno de baja ocupación, con una población de 19.499 habitantes, 4652 en el área urbana y 14.847 en el área rural. (Alcaldía de Puerto Gaitán, 2009).

Los cultivos que más destacan en la producción agrícola del municipio de Puerto Gaitán en área sembrada corresponden a 1619 hectáreas de cultivos transitorios (soya, arroz, maíz tecnificado y tradicional), 165 hectáreas de cultivos semipermanentes (plátano, yuca y cacao) y 4872 hectáreas de cultivos permanentes (palma de aceite y caucho). La producción pecuaria es una de las principales fuentes de desarrollo económico del municipio tal como lo son la ganadería, la avicultura y la porcicultura. (Observatorio del territorio Universidad de los Llanos, 2008)

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

8

El municipio de Barranca de Upía tiene una extensión territorial de 415 km², con una población total que corresponde a 3624 habitantes, de los cuales 2605 se encuentran en el área urbana y 1019 en el área rural. (Gobernación del Meta, 2011)

Su componente hídrico se conforma por nacimientos, cauces y rondas del río Upía y Cabuyarito. De estos se desprenden los cuerpos de agua de 18 caños (Upia, 2000). La economía del municipio se basa en el sector agropecuario con énfasis en ganadería extensiva y cultivo de palma, también se producen cultivos de arroz, algodón, papaya, patilla, piña, cítricos, maíz y soya. (Gobernación del Meta, 2011)

El municipio de Puerto López cuenta con una extensión territorial de 6239 Km², 22 barrios, 10 centros poblados y 24 veredas. Tiene una población de 33.854 habitantes, aproximadamente 4,7 por km², correspondientes a 22.469 habitantes en el área urbana y 11.385 en el área rural. Sus principales renglones económicos son el sector pecuario con la producción de ganadería extensiva y el sector agrícola con cultivos de palma de aceite, arroz y maíz. (Gobernación del Meta, 2012).

El municipio de Cabuyaro tiene una extensión de 872 Km², 4 barrios, 3 inspecciones y 9 veredas. Una población de 3762 habitantes correspondientes a 1542 ubicados en el área urbana y 2220 en el área rural, su temperatura varía entre 26 y 27°C. Por su territorio cursan los ríos Meta, Upía, Humea y Cabuyarito que conllevan a la formación de 12 caños. El desarrollo económico del municipio corresponde a la producción agrícola de 22660 hectáreas de cultivos y pecuaria con 46.369 de inventario bovino (Secretaría de Planeación y Desarrollo de Cabuyaro, 2008) .

1.5 Subregión La Macarena

El Municipio de La Macarena en toda su extensión se encuentra inmerso en el Área de Manejo Especial La Macarena, tiene una extensión de 11.230 km² con una

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

9

población de 33.812 habitantes. Cuenta con tres grandes vertientes de agua, de occidente, conformada por las aguas de los ríos Duda y Guayabero Alto. La segunda es la vertiente de norte, conformada por los ríos Güejar y Ariari Bajo. La última vertiente es la sur, en ella se depositan todas las aguas provenientes de la sierra desde su costado oriental (Gobernacion del Meta, 2016).

El municipio de Vistahermosa tiene 25.032 habitantes y una extensión territorial de 4048 km² correspondientes a 1023 km² de área urbana y 3061 km² de área rural en donde se encuentran 11 centros poblados y 90 veredas. Cuenta con una temperatura promedio de 28°C y una altura promedio de 460 msnm. (PNUD, 2014)

Los principales afluentes que cursan el municipio son los ríos Güejar, Guape, San Vicente, Nevado, Yucapé, Lucía, Zanza, Uruimes y Yamanés, además de las cuencas de los ríos Duda y Guayabero. La agricultura y ganadería son su principal componente económico con 4198 hectáreas de cultivo y 47.500 cabezas de inventario bovino. (Secretaria de planeacion y desarrollo de Vistahermosa, 2008)

El municipio de Uribe tiene una extensión de 6307 Km², 52 veredas y 2 centros poblados, cuenta con una población de 16.539 habitantes correspondientes a 3966 ubicados en el área urbana y 12.573 en el área rural. En el municipio se encuentra el resguardo indígena Los Planes con una población de 61 personas, agrupadas en 11 familias. (Gobernacion del Meta, 2016).

Por el municipio cursan los afluentes de los ríos Guayabero, Duda y Losada. El 99,59% del territorio del municipio corresponde a 4 áreas ambientales protegidas, el DMI Ariari-Guayabero que ocupa el 55,9% del territorio municipal, el Parque Nacional Natural Cordillera de los Picachos que ocupa el 32,71% del territorio municipal, el Parque Nacional Natural Tinigua que ocupa el 10,3% del territorio

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

10

municipal y por último el Parque Nacional Natural de Sumapaz con el 0,63% del territorio. (Gobernación del Meta, 2016)

El municipio de Mesetas se ubica en el Área de Manejo Especial de la Macarena -AMEM, tiene una extensión territorial de 2448 km², conformados por 5 barrios, 63 veredas, 3 inspecciones municipales y 2 resguardos indígenas ubicados al norte del municipio con 708 habitantes. Cuenta con 11.287 habitantes de los cuales 3662 residen en la cabecera municipal y 7626 se ubican en las veredas, centros poblados y resguardos indígenas. Los ríos que cruzan el municipio de mesetas son: Güejar, Lucía, Cafre, Duda, Guape, Papamene y Santo Domingo (Consejo municipal de Mesetas, 2016).

1.6 Subregión Capital Cordillera

El municipio de San Juanito se encuentra ubicado en la parte occidental del departamento, tiene una extensión de 243,58 Km², distribuidas en el casco urbano, 2 inspecciones y 9 veredas. Su población de 2191 habitantes de los cuales 820 están ubicados en el área urbana y 1371 habitantes en el área rural. Su altitud es de 1795 msnm, contribuyendo a que sea uno de los pocos municipios del departamento donde se presente un clima frío y una temperatura oscilante de 16°C a 24°C. (Gobernación del Meta, 2016)

El 83,95% del territorio municipal corresponde al Parque Natural Nacional Chingaza conformado por ecosistemas de páramo, bosque alto andino y bosque andino, de la laguna de Chingaza nace el río Guatiquía que recorre el municipio recibiendo las aguas de los ríos La Playa y Chuza. (Gobernación del Meta, 2016)

El municipio de El Calvario tiene una superficie de 27.070 hectáreas, divididos en 24 veredas y 2 centros poblados. Su población es de 3076 habitantes, de los cuales el 555 se encuentran ubicados en la cabecera municipal y 2524 se

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

11

distribuyen en las veredas y centros poblados del área rural (UMATA El Calvario, 2005).

Las cuencas hidrográficas del municipio se dividen en tres importantes grupos, el primero cuenca hidrográfica Santa Bárbara, donde nace del río Santa Bárbara y se extiende hasta sus afluentes: 17 quebradas, 8 caños y 4 lagunas. La segunda cuenca hidrográfica de Quebrada Honda está quebrada abastece el municipio de Villavicencio y se extiende hasta sus afluentes: 5 quebradas y 4 caños. La cuenca hidrográfica del río Guatiquía, se extiende hasta sus afluentes: 7 quebradas. (UMATA El Calvario, 2005)

El municipio de Restrepo tiene una extensión territorial de 434 km² dividida en una zona Plana con un área de 325,5 km² y una quebrada de 108,5 km². La zona urbana tiene 23 barrios con 7500 habitantes y la zona rural está dividida en 19 veredas con 6626 habitantes para una población total de 14.126 habitantes en el municipio. (Alcaldía de Restrepo, 2011)

Cuenta con un relieve ligeramente ondulado, tierras aluviales de relieve plano y cordillera, debido a esto su altura está entre 380 a 2700 m.s.n.m., la temperatura varía entre 17,2°C a 34,4°C. Las horas de brillo solar del municipio son en promedio de 6 a 7 horas diarias. Su hidrología consta de 5 cuencas hidrográficas: Quebrada Salinas, Río Upín, Río Caney, Caño caney y Río Guacavia Chiquito. (Alcaldía de Restrepo, 2011)

Cumaral tiene una extensión territorial de 61.862 hectáreas y 17.318 habitantes, de los cuales 11.364 se encuentran en el área urbana en 35 barrios y 5954 se encuentran en el área rural distribuidos en 10 veredas y 8 inspecciones. Posee un clima cálido, con temperatura promedio de 28°C. Su topografía es plana correspondiente al paisaje de Piedemonte Llanero, la hidrografía del municipio

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

12

corresponde a los cauces de los ríos Guacavía, Guatiquía, Caney, Humea y los caños Caibe, Pecuca y Mayuga. (Alcaldía de Cumaral, 2000)

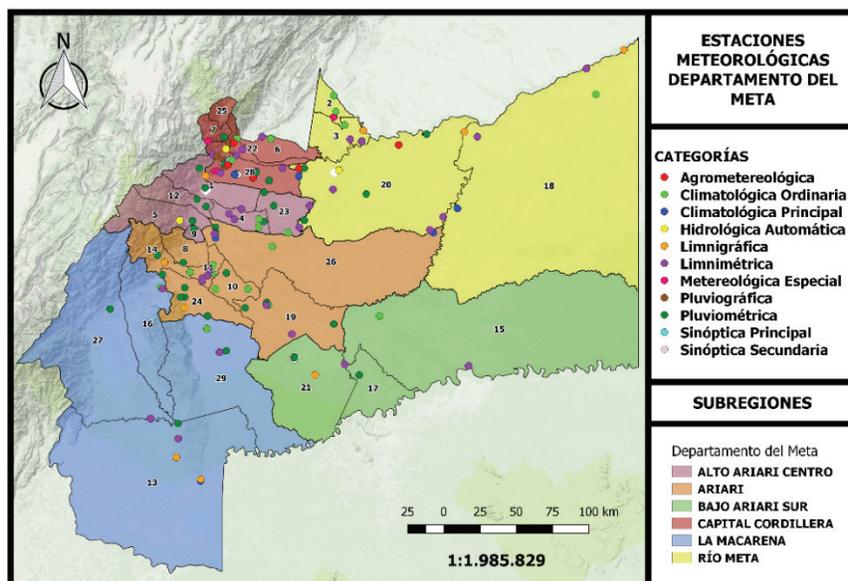
Villavicencio es la capital del departamento del Meta, tiene una extensión territorial de 1328 Km² y una población total de 495.227 habitantes, de los cuales 471.383 se encuentran ubicados en el área urbana (118.131,13 Ha) y 23.844 en el área rural (3713,2 Ha), con una alta densidad poblacional de 393 habitantes por Km².

La explotación de hidrocarburos es la principal fuente de valor agregado en Villavicencio con un aporte de cerca al 19%, seguido por el sector de construcción de obras de ingeniería civil con un 11,6%, administración pública y defensa con un 10,2%, las actividades de servicios a las empresas con 3,8% y el sector de servicios de intermediación financiera con el 3,9%. Con respecto al sector agropecuario en el municipio hay 12.589,5 hectáreas sembradas con cultivos de piña, arroz, maíz, soya y plátano; y una producción bobina de 91.500 cabezas de ganado. A lo largo del municipio cruzan la cuenca de los ríos Guatiquía, Ocoa, Negro y Guayuriba. (Gobernación del Meta, 2016).

1.7 Estaciones meteorológicas

El catálogo de estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM registra 148 estaciones meteorológicas en el departamento del Meta, cuyas categorías y distribución geográfica por subregiones puede verse en la *Figura 3*.

Figura 3. Categorías Estaciones Meteorológicas en el departamento del Meta



Fuente: Elaboración propia con datos del Catálogo de Estaciones del IDEAM.

Estas estaciones se clasifican por categorías que se definen a partir de los equipos de medición con los que cuenta la estación y que a su vez permite registrar datos de distintos parámetros climatológicos, como se muestra en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Categorías de las estaciones meteorológicas del IDEAM en el Meta.

CATEGORÍA	CANTIDAD	PARAMÉTROS DE MEDICIÓN
-----------	----------	------------------------

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

14

Agrometeorológica (AM)	5	Brillo solar, nubosidad, precipitación, recorrido del viento, rosa de los vientos, temperatura
Climatológica Ordinaria (CO)	23	Brillo solar, nubosidad, precipitación, recorrido del viento, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento
Climatológica Principal (CP)	7	Brillo solar, nubosidad, precipitación, recorrido del viento, rosa de los vientos, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura
Hidrológica Automática (HA)	3	Precipitación, nivel
Limnigráfica (LG)	10	Caudal, nivel
Limnimétrica (LM)	34	Caudal, nivel
Meteorológica Especial (ME)	4	Brillo solar, precipitación, velocidad del viento, dirección del viento, temperatura
Pluviográfica (PG)	6	Precipitación
Pluviométrica	54	Precipitación
Sinóptica Principal (SP)	1	Brillo solar, nubosidad, precipitación, recorrido del viento, rosa de los vientos, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura
Sinóptica Secundaria (SS)	1	Brillo solar, nubosidad, precipitación, recorrido del viento, rosa de los vientos, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura

Fuente: Elaboración propia con datos del Catálogo de Estaciones del IDEAM.

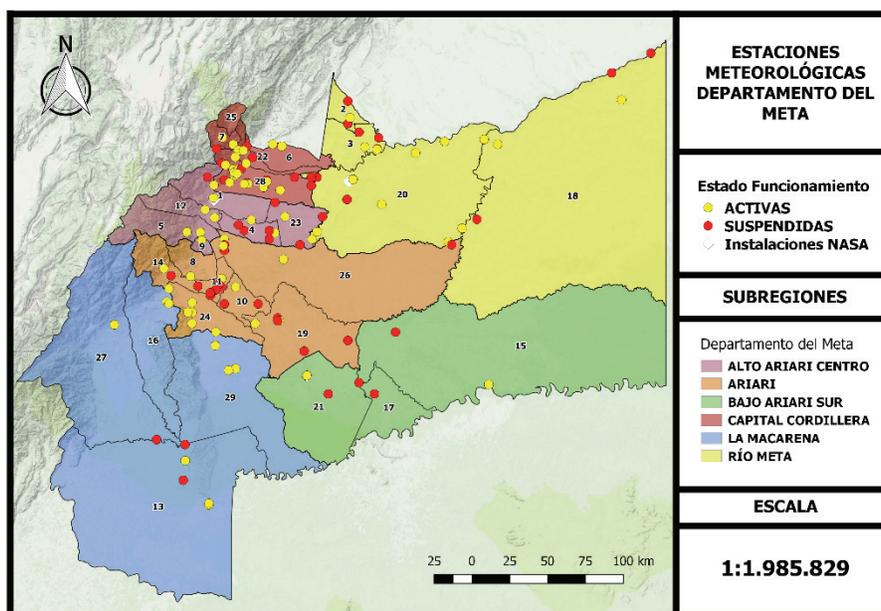
Para el caso de las subregiones en las que se encuentra la capital Villavicencio y otros municipios importantes como Puerto López, Acacias y Granada se cuenta

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

15

con una buena cantidad de estaciones meteorológicas, sin embargo, para el caso de otras subregiones no se cuenta con suficientes estaciones meteorológicas o se tiene datos de estaciones que llevan alrededor de 20 años inactivas. El departamento del Meta cuenta con 89 estaciones activas y 59 suspendidas, como se muestra en la *Figura 4*.

Figura 4. Estado de las Estaciones Meteorológicas del IDEAM



Fuente: Elaboración propia con datos del Catálogo de Estaciones del IDEAM.

Esta realidad demuestra la necesidad de desarrollar un proyecto de mantenimiento y ampliación de cobertura de las estaciones meteorológicas en tierra del IDEAM, ya que a partir de esta información se puede realizar una lectura más precisa de las condiciones climatológicas de subregiones y municipios que hoy no cuentan con información actualizada, como el caso de municipios como Mapiripán, San Juan de Arama, La Macarena y San Juanito, principalmente.



**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

2. POTENCIAL SOLAR

Las fuentes de información utilizadas para el análisis del potencial solar son las estaciones meteorológicas en tierra del IDEAM, los mapas del atlas de radiación solar de la UPME, las bases de datos satelitales del Global Atlas de IRENA (International Renewable Energy Agency) y los registros de puntos de referencia de la NASA.

Para la visualización y análisis de los datos del IDEAM y los mapas satelitales de IRENA se realiza tratamiento digital de la información perteneciente al departamento del Meta y de cada una de sus seis subregiones. Para este proceso se utiliza el software libre QGIS (Quantum GIS), el cual es un sistema de información geográfica (SIG) que proporciona las herramientas necesarias para la edición y tratamiento cartográfico de los mapas recopilados.

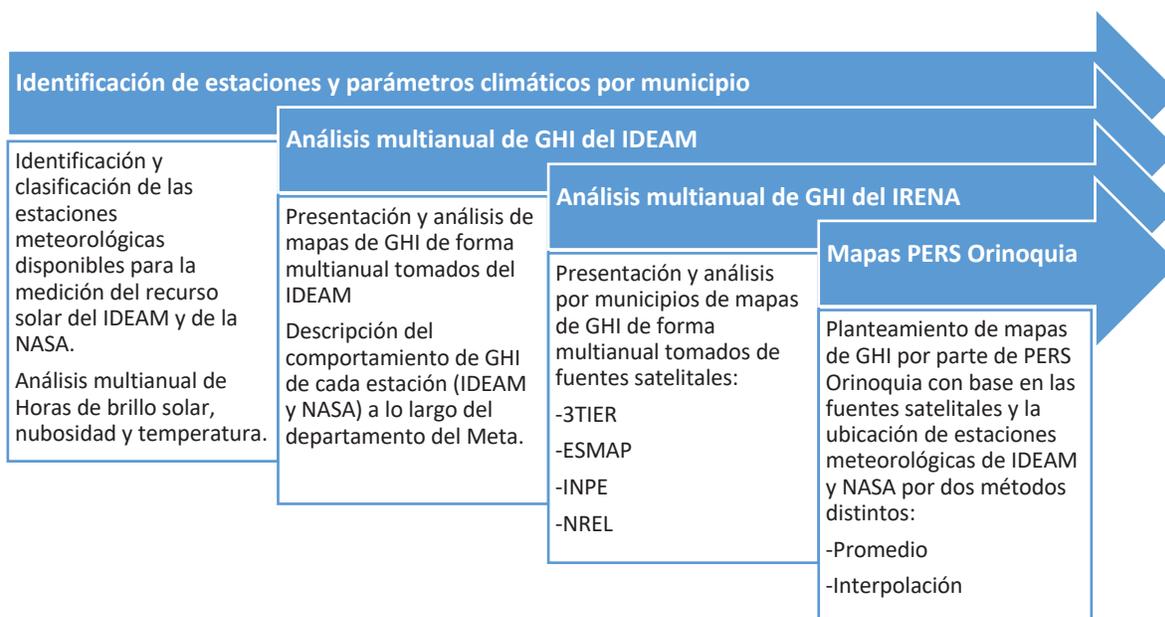
2.1 Metodología de análisis

Inicialmente se recopilan y analizan parámetros climatológicos de interés tales como las horas de brillo solar, octas de nubosidad, temperatura y radiación global horizontal registrados por las estaciones en tierra del IDEAM obteniendo el promedio multianual y el promedio mensual multianual de cada parámetro.

Debido a la dispersión geográfica, insuficiente cobertura de las estaciones y algunos datos desactualizados de estaciones que actualmente se encuentran suspendidas, se complementa el análisis con información de las bases de datos satelitales del **atlas de radiación global sobre superficie horizontal de VAISALA**, de las fuentes ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program), 3TIER, NREL (National Renewable Energy Laboratory) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) tomados de la plataforma web de la IRENA.

Al realizar el tratamiento de los datos del IDEAM y de IRENA se realiza interpolación de la información, estableciendo los límites del departamento como referencias geográficas y una fuente adicional con datos de la NASA obtenidos por medio del software RETScreen, de esta forma se proponen dos mapas de potencial solar por los métodos de promedio e interpolación. Las fases de la metodología implementada se pueden observar en la *Gráfica 1*.

Gráfica 1. Fases de la metodología para el análisis del potencial solar



Fuente: Elaboración propia

2.2 Instrumentos de medición potencial solar en las estaciones del IDEAM

Las estaciones meteorológicas instaladas por el IDEAM proporcionan información sobre el comportamiento de la radiación solar y el brillo solar, con el fin de ver la viabilidad del recurso energético. (Atlas de Radiación Solar de Colombia, 2005).

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

19

El Atlas de Radiación Solar de Colombia, 2005 en el apéndice C, proporciona información acerca de los instrumentos instalados en las estaciones meteorológicas con la capacidad de medir brillo solar y radiación solar.

- 1. Pirheliómetro de cavidad absoluta:** posee dos cavidades cónicas idénticas: una externa, que se calienta con la radiación solar, mientras la otra cavidad oculta en el interior del instrumento se calienta utilizando energía eléctrica hasta igualar la temperatura a la externa, el valor de energía eléctrica consumida es asignado al valor de la radiación solar.
- 2. Los Pirheliómetros secundarios:** son instrumentos que miden la radiación solar y se calibran por intercomparación con un pirheliómetro absoluto.
- 3. Los Piranómetros:** cuenta con un sensor termoeléctrico protegido por una cúpula de vidrio, este sensor convierte la radiación solar en una señal eléctrica de voltaje.
- 4. Actinógrafo:** Es un instrumento que funciona con un sensor termomecánico, protegido por una cúpula de vidrio, conformada por un arreglo bimetalico de dos superficies, una negra y la otra blanca, este sensor registra valores de la radiación solar incidente trazando una gráfica en un tambor movido por un mecanismo de reloj. Este instrumento tiene una precisión de $\pm 8\%$ y es necesario ser calibrado con un patrón secundario una vez por año.
- 5. El Solarímetro (heliógrafo):** Este instrumento tiene por objeto medir la duración de la insolación diaria. Registra los periodos de tiempo de la radiación solar directa que superan un valor mínimo. Este sensor opera focalizando la radiación solar mediante una esfera de vidrio a manera de lente convergente, en una cinta con escala de horas, como resultado de la exposición a la radiación solar directa, se quema formando líneas cuya longitud determina el número de horas de brillo solar. En lugares donde no es posible medir la radiación solar global, es posible obtenerla a partir de los

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

20

valores de horas de brillo solar, mediante un modelo de regresión lineal llamado Angstrom modificado.

La radiación solar se mide de forma directa con radiómetros y de forma indirecta mediante modelos matemáticos de estimación que correlacionan la radiación global con el brillo solar. Instrumentos como los radiómetros, piranómetros y los pirheliómetros son usados para la medición de radiación solar incidente global (radiación directa más radiación difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa, la neta y el brillo solar. (Atlas de Radiación Solar de Colombia , 2005).

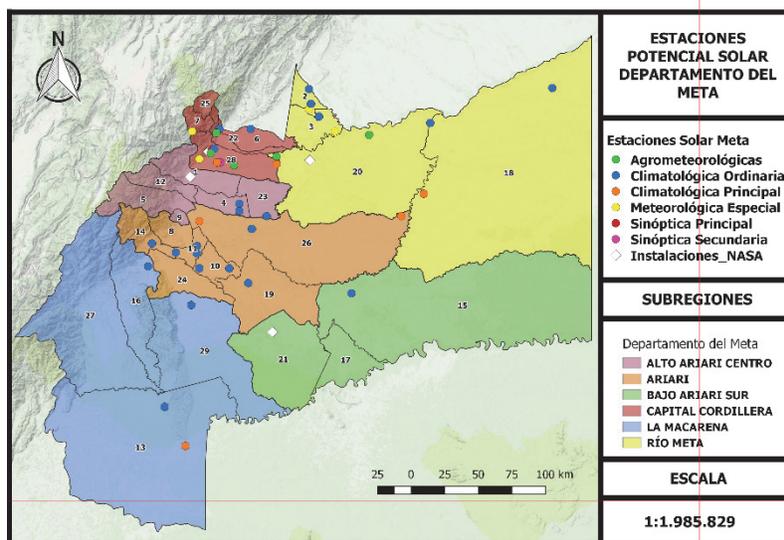
2.3 Estaciones meteorológicas de potencial solar en el Meta

Los parámetros meteorológicos que se tendrán en cuenta para el análisis de potencial solar en el departamento del Meta son las Horas de Brillo Solar (HBS), Radiación Global Horizontal (GHI), Nubosidad (octas) y temperatura (máxima, mínima y media). De acuerdo a las categorías de las estaciones del IDEAM establecidas en la *Tabla 2*, las estaciones que debemos tener en cuenta son Climatológica Principal (CP), Climatológica Ordinaria (CO), Sinóptica Principal (SP), Sinóptica Secundaria (SS), Agrometeorológica (AM) y Meteorológica Especial (ME). En la *Figura 5* podemos observar la distribución de dichas estaciones en el departamento del Meta.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

21

Figura 5. Estaciones meteorológicas de potencial solar



Fuente: Elaboración propia con datos del Catálogo de Estaciones del IDEAM.

El departamento del Meta cuenta con 20 estaciones meteorológicas para el análisis del potencial solar, los nombres, categoría y ubicación se encuentran en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas

CODIGO	NOMBRE	CATEGORIA	MUNICIPIO	ALTITUD	FECHA INSTALACION
32035010	La Macarena	Climatológica Principal	La Macarena	248	15/10/1967
32035020	La Balsora	Climatológica Ordinaria	La Macarena	270	15/12/1983
32065010	Lejanías	Climatológica Ordinaria	Lejanías	680	15/03/1989

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

22

32075030	Vista Hermosa	Climatológica Ordinaria	Vista Hermosa	325	15/04/1969
32075040	La Holanda	Climatológica Ordinaria	Granada	360	15/11/1978
32075050	Mesetas	Climatológica Ordinaria	Mesetas	620	15/12/1983
32075080	Puerto Lleras	Climatológica Ordinaria	Puerto Lleras	245	15/10/1990
33035010	Carimagua	Climatológica Ordinaria	Puerto Gaitán	200	15/05/1972
35015050	Barbascal	Climatológica Ordinaria	San Martín	250	15/05/1992
35025020	La Libertad	Climatológica Principal	Villavicencio	336	15/04/1968
35025110	La Libertad Automática	Agrometeorológica	Villavicencio	336	25/03/2007
35035010	Base Aérea Apiay	Sinóptica Secundaria	Villavicencio	400	15/10/1972
35035020	Apto Vanguardia	Sinóptica Principal	Villavicencio	422	15/10/1924
35035070	Unillanos	Climatológica Principal	Villavicencio	340	15/10/1983
35035100	Ica Villavicencio	Agrometeorológica	Villavicencio	444	22/03/2007

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

23

35035110	Salinas De Upín Automática	Agrometeorológica	Restrepo	690	23/03/2007
35045020	Cabaña La Hda	Climatológica Ordinaria	Cumaral	305	15/05/1979
35105050	Guaicaramo	Climatológica Ordinaria	Barranca De Upía	190	15/10/1993
35125010	Margaritas Las Hda	Climatológica Ordinaria	Puerto López	150	15/05/1976
35185010	La Palomera Automática	Agrometeorológica	Puerto López	188	18/05/2005

Fuente: Elaboración propia con datos del Catálogo de Estaciones del IDEAM.

2.4 Horas de brillo solar (HBS) en el departamento del Meta

La primera fuente de información consultada es el Atlas Interactivo del IDEAM 2015, donde se encuentra el mapa promedio anual de Horas de Brillo Solar (HBS) para el departamento del Meta. En la *Figura 6* se muestra que las subregiones La Macarena, Alto Ariari Centro, Capital Cordillera y Ariari, que colindan con el Cordillera Oriental, tienen en la mayoría de su territorio un promedio de 4 a 5 horas de brillo solar diaria. Para las subregiones Bajo Ariari y Río Meta se presenta un promedio anual en el intervalo de 5 a 6 horas de brillo solar diarias.

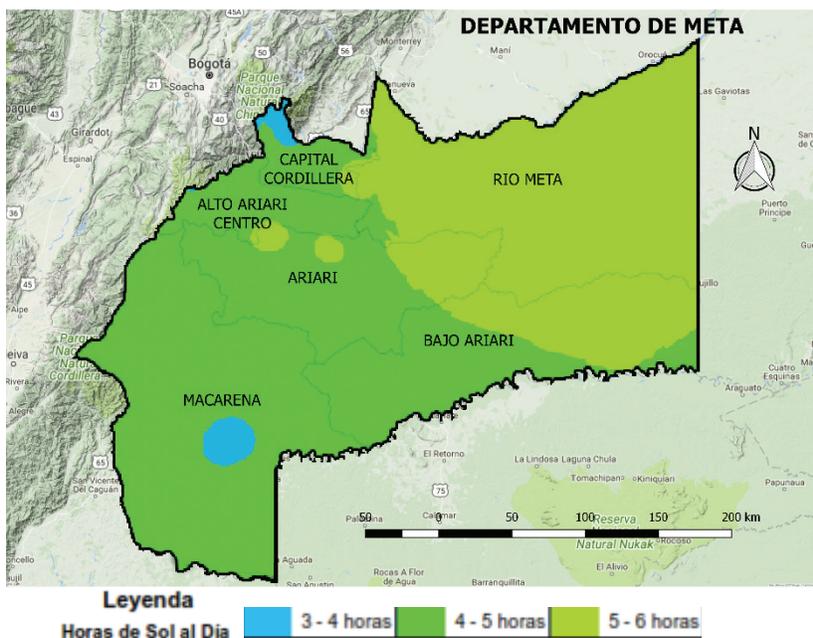
En el área del municipio de san Juanito y parte del municipio de la macarena se puede observar el promedio más bajo de horas de brillo solar correspondiente a 3 a 4 horas. La subregión del río meta y parte de la subregión bajo Ariari sur cuentan

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

24

con el mayor promedio de horas de brillo solar en un rango de 6 a 7 horas promedio al día.

Figura 6. Promedio multianual de horas de brillo solar



Fuente. Datos tomados del Atlas Interactivo del IDEAM 2015.

El Atlas Interactivo del IDEAM 2015, presenta el promedio mensual de horas de brillo solar para el departamento del Meta, como lo muestra la *Figura 7* el mes con mayor número de horas de brillo solar es enero con un intervalo máximo de 8 a 9 horas, mientras que en junio se presenta el promedio más bajo de horas de brillo solar con un intervalo mínimo de 2 a 3 horas.

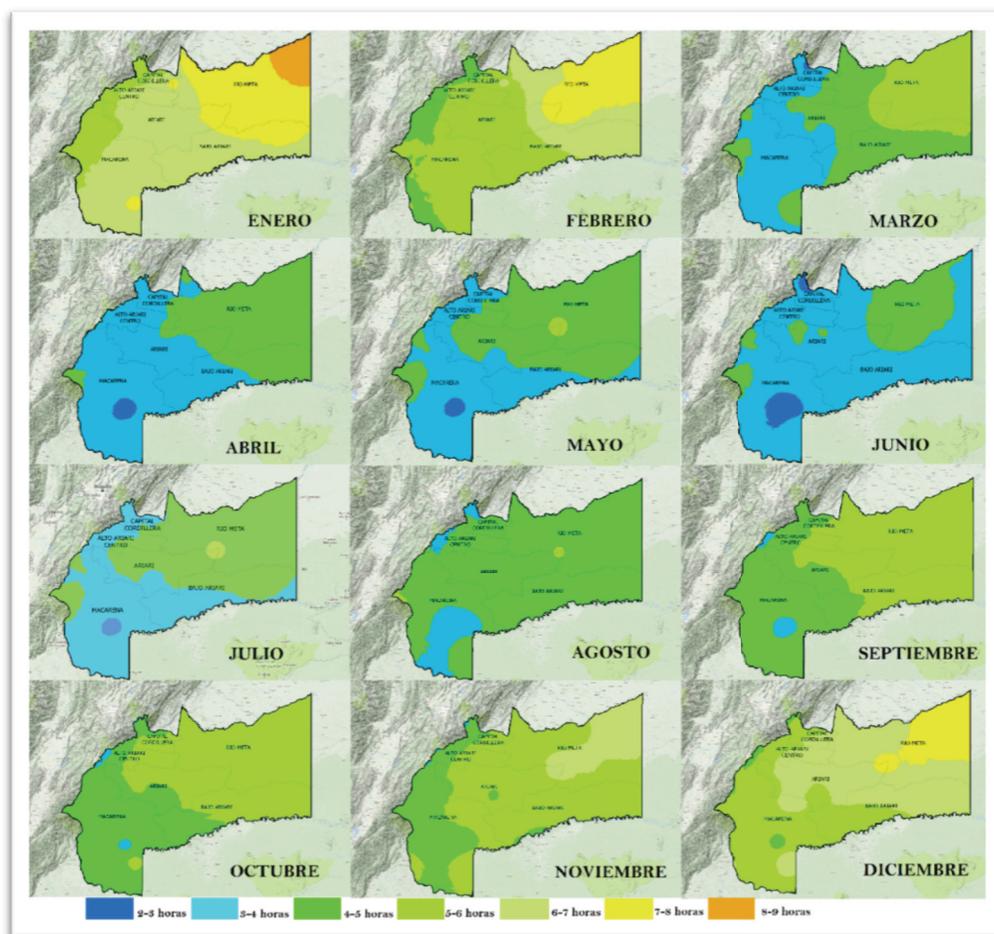
Se puede observar que los mayores intervalos de horas de brillo solar corresponden a los meses cuando el verano es más intenso tales como noviembre, diciembre, enero y febrero, caso contrario sucede con los meses de invierno cuando la nubosidad aumenta considerablemente tales como marzo, abril, mayo, junio y

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

25

julio. Los meses de agosto, septiembre y octubre presenta un intervalo intermedio de 4 a 6 horas de brillo solar.

Figura 7. Promedio mensual multianual de horas de brillo solar



Fuente. Datos tomados del Atlas Interactivo del IDEAM 2015.

Las subregiones con valores más altos de HBS en el año son Río Meta y Bajo Ariari Sur correspondientes a la zona oriental del departamento. La subregión con valores más bajos de HBS en el año es La Macarena correspondiente a zona

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

26

suroccidental del Meta. El rango de horas de brillo solar más frecuente es de 4 a 5 horas disperso a lo largo del año en todo el departamento, especialmente en la parte nororiental de la subregión del Ariari, observándose uniformidad de este rango durante el mes agosto.

2.4.1 Comportamiento horas de brillo solar por estaciones del IDEAM

De acuerdo con las estaciones meteorológicas del IDEAM, podemos identificar la gráfica de comportamiento de las Horas de Brillo Solar para 4 subregiones del departamento, para el caso de las subregiones Alto Ariari Centro y Bajo Ariari Sur no es posible obtener dichas gráficas ya que no cuentan con estaciones meteorológicas activas. Las subregiones Río Meta, Capital Cordillera, Ariari y Macarena cuenta con estaciones meteorológicas de interés para el análisis de potencial solar.

2.4.2 Horas de brillo solar para la subregión Río Meta

La subregión Río Meta cuenta con las estaciones Guaicaramo, Carimagua y Hacienda Las Margaritas ubicadas en los municipios de Barranca de Upía, Puerto Gaitán y Puerto López respectivamente. En la *Gráfica 2* se observa que la estación Carimagua registra los valores más altos de HBS en los meses de diciembre a febrero con un rango de 7 a 8 horas diarias.

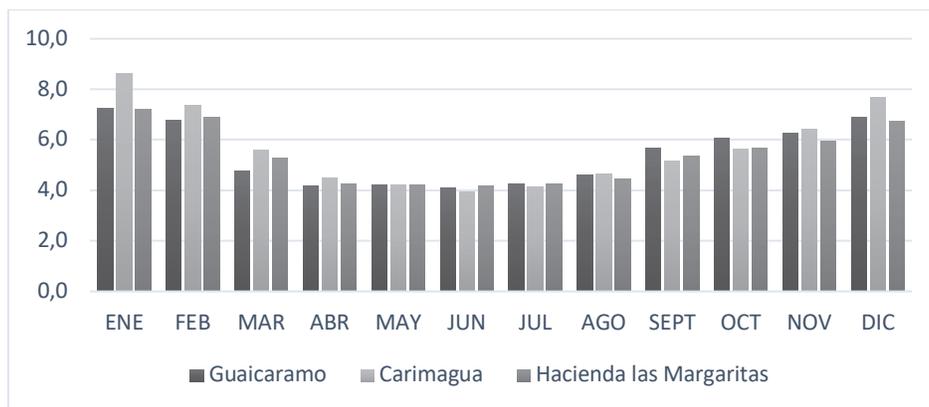
Los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto presentan comportamientos similares para las tres estaciones, donde ninguna de ellas supera el rango de las 4 a 5 HBS diarias. La estación Guaicaramo cuenta con información desde 1994 hasta 2015 con un promedio general de 5,4 HBS, la estación Carimagua recopiló información desde 1978 hasta 2014 con un promedio general de 5,7 HBS. Por

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

27

último, la estación Hacienda Las Margaritas registra datos de 15 años desde 1998 hasta 2015 con un promedio de 5,4 HBS.

Gráfica 2. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Río Meta

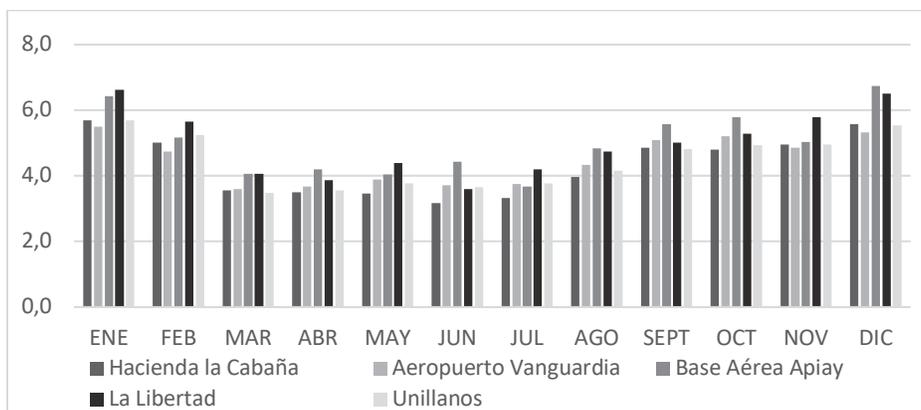


Fuente. Datos de las estaciones 35105050, 33035010 y 35125010.

2.4.3 Horas de brillo solar para la subregión Capital Cordillera

La subregión Capital Cordillera cuenta con cinco estaciones meteorológicas de interés para el análisis de potencial solar. En la *Gráfica 3* se observa que para todas las estaciones los meses de diciembre y enero reflejan el mayor número de horas de brillo solar, mientras que los meses de abril, mayo, junio y julio tienen un comportamiento similar reflejando un menor número de horas de brillo solar. Es importante anotar, que cuatro de estas estaciones se encuentran ubicadas en Villavicencio y una en el municipio de Cumaral.

Gráfica 3. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Capital Cordillera



Fuente. Datos de las estaciones 3504520, 35035020, 35035010, 35025020 y 35035070.

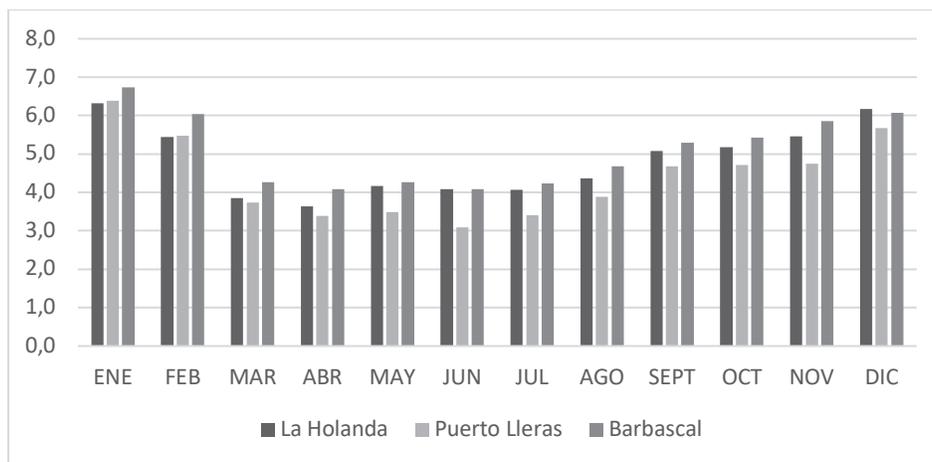
La estación Hacienda la Cabaña registra datos de 33 años desde 1982 hasta 2015, presentando un promedio total de 4,3 horas de brillo solar. En Villavicencio se encuentran las estaciones Aeropuerto Vanguardia con datos registrados de 36 años desde 1979 hasta 2015 con un promedio de 4,5 HBS. La estación Base Aérea Apiay registra información de 6 años desde 1984 hasta 1999 con un promedio de 5 horas de brillo solar diarias. La estación La Libertad registra datos de 35 años desde 1979 hasta 2015 con un promedio de 5 HBS. Por último la estación Unillanos presenta datos de 24 años desde 1983 hasta 2015 con un promedio de horas de brillo solar de 4,5.

2.4.4 Horas de Brillo Solar para la Subregión Ariari

La subregión Ariari cuenta con tres estaciones meteorológicas de interés ubicadas en los municipios de Granada, Puerto Lleras y San Martín. En la Gráfica 4 se observa que el valor mínimo de HBS registrado por las estaciones es de 3 horas

diarias, mientras que el valor mayor se acerca a las 7 horas diarias. Los meses con mayor promedio son los de enero, febrero, noviembre y diciembre.

Gráfica 4. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Ariari



Fuente. Datos de las estaciones 32075040, 32075080 y 35015050.

Los meses con menor promedio corresponden a la temporada de lluvias en los meses de abril, mayo, junio y julio. En el municipio de Granda se encuentra ubicada la estación La Holanda con información histórica de 30 años desde 1983 hasta 2015 con un promedio de 4,8 HBS. La estación Puerto Lleras cuenta con un promedio de 4,4 horas de brillo solar, registrados en 24 años desde 1990 hasta 2015. Por último, la estación Barbascal en el municipio de San Martín cuenta con información de 21 años desde 1992 hasta 2012 con un promedio de 5,1 HBS diarias.

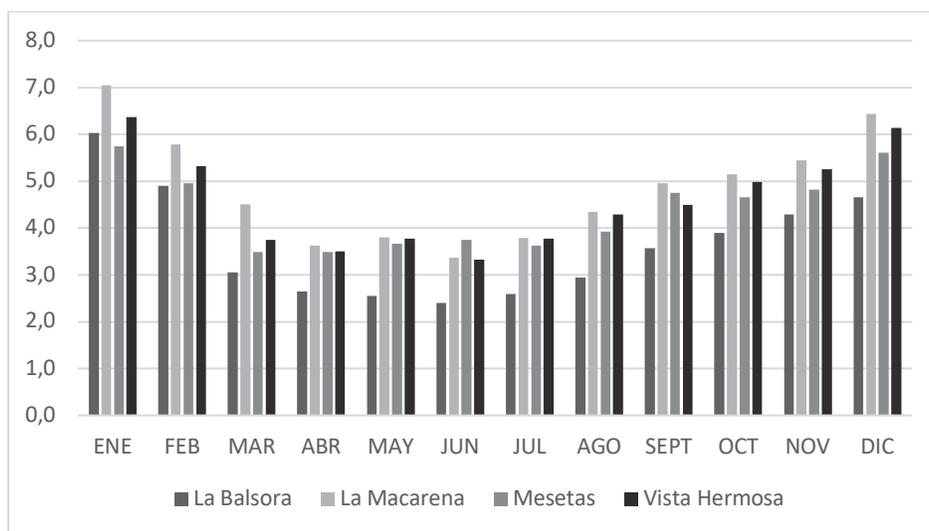
2.4.5 Horas de Brillo Solar para la Subregión Macarena

En la subregión Macarena se encuentran ubicadas cuatro estaciones meteorológicas de interés, cuya gráfica de comportamiento mantiene la tendencia presentada en las subregiones anteriormente mencionadas. La *Gráfica 5* permite

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

identificar los meses de enero y diciembre con el mayor número de horas de brillo solar, mientras que los meses de abril a julio presentan el menor número de horas de brilla solar con valores por debajo de las 3 HBS.

Gráfica 5. Promedio mensual multianual de HBS para la subregión Macarena.



Fuente. Datos de las estaciones 32035020, 32035010, 32075050 y 32075030.

La estación La Balsora ubicada en el municipio de La Macarena tiene un promedio diario multianual de 3,6 horas de brillo solar en un período de 24 años de recolección de información desde el año 1990 hasta el 2015. La estación La Macarena cuenta con información de 33 años desde 1978 hasta el año 2015, presentando un promedio diario multianual de 4,9 HBS. La estación Vistahermosa ubicada en el municipio que lleva su mismo nombre, cuenta con datos históricos de 29 años desde 1979 hasta 2015 con un promedio diario multianual de 4,6 HBS. Por último la estación Mesetas, ubicada en el municipio de Mesetas cuenta con información de 28 años desde 1980 hasta 2015 con un promedio de 4,4 horas de brillo solar diarias.

2.5 Nubosidad mensual multianual

Las estaciones meteorológicas del IDEAM miden la nubosidad en octavos (octas) en una escala de 1 a 8 como se observa en la *Tabla 4*, cuando el cielo se encuentra despejado con una presencia de nubes casi nula la medida se registra entre 1 y 2 octas. Cuando el registro está entre 3 y 4 octas corresponde a nubes dispersas, para los casos en que el cielo tiene una presencia alta de nubes el registro mide entre 5 y 7 octas. Por último, cuando el cielo se encuentra totalmente cubierto por nubes se registra una medida de 8 octas.

Tabla 4. Escala de nubosidad del IDEAM

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

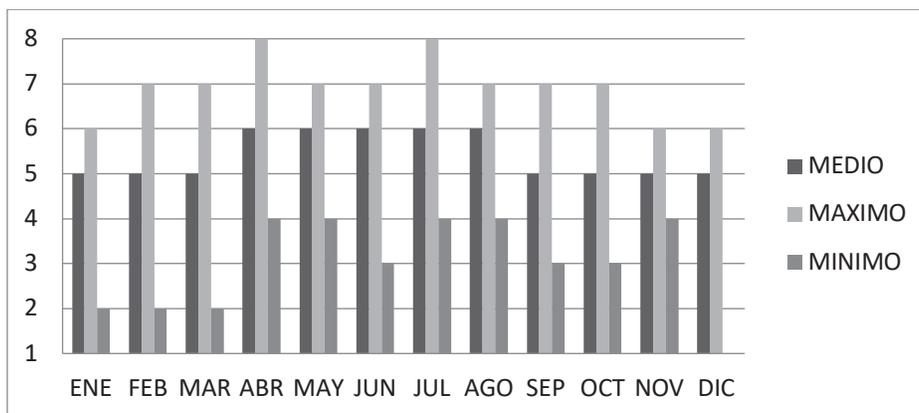
Fuente. Datos tomados IDEAM.

2.5.1 Promedio multianual de nubosidad en la subregión Río Meta

En la *Gráfica 6* se observa el promedio mensual multianual de nubosidad de la estación meteorológica del IDEAM Barranca de Upía, en donde los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre tienen presencia de nubes dispersas en el cielo, mientras que en los meses de abril a julio se presentan cielos nublados y totalmente cubiertos.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

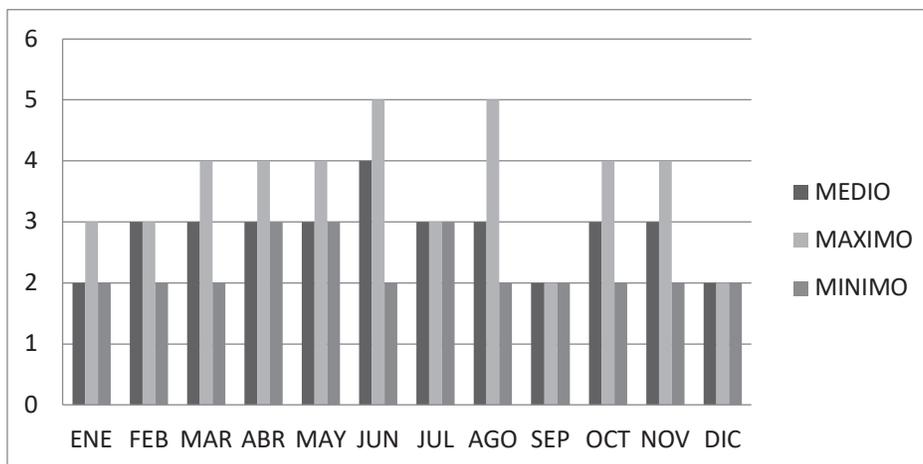
Gráfica 6. Promedio de nubosidad en la estación Barranca de Upía



Fuente. Datos tomados del IDEAM.

La estación Petriba en la *Gráfica 7*, ubicada en el municipio de Barranca de Upía, registra cielo despejado con nubes dispersas en la mayoría de los meses, solamente en junio y agosto los valores máximos de nubosidad llegan a las 5 octas que representa cielos nublados. Los meses de diciembre, enero y febrero muestran las octas más bajas de nubosidad con poca presencia de nubes.

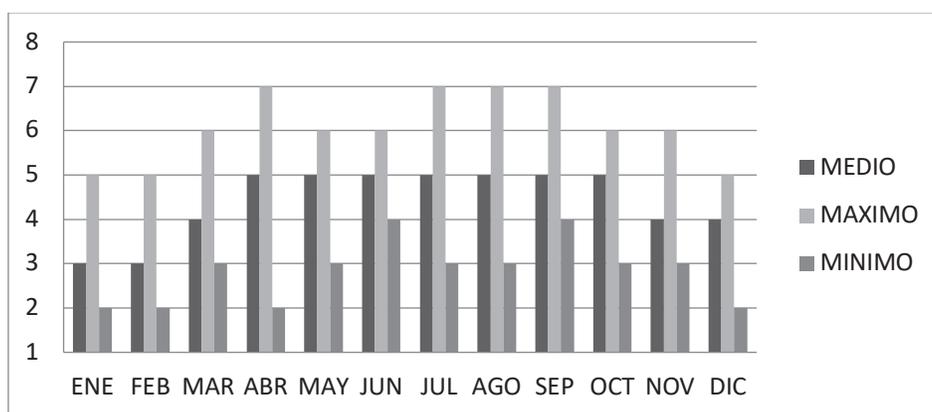
Gráfica 7. Promedio de nubosidad en la estación Petriba



Fuente. Datos tomados del IDEAM.

En el municipio de Puerto Gaitán se encuentra la estación Carimagua la cual registra, como se observa en la *Gráfica 8* en los meses de diciembre, enero y febrero los valores de octas de nubosidad más bajo clasificando su promedio en cielo despejado con nubes dispersas. Los meses de abril, julio, agosto y septiembre alcanza los valores máximos de nubosidad llegando a tener cielos totalmente cubiertos.

Gráfica 8. Promedio de nubosidad en la estación Carimagua



Fuente. Datos tomados del IDEAM.

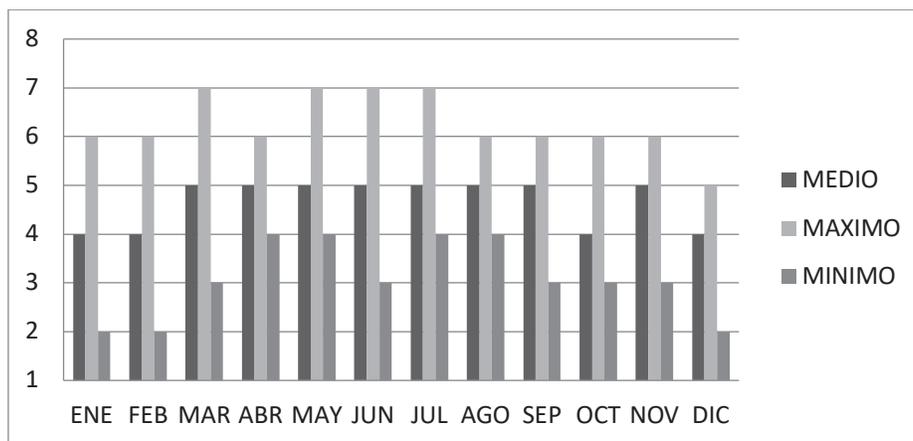
2.5.2 Promedio multianual de nubosidad en la subregión Capital Cordillera

Para la subregión Capital Cordillera, se cuenta con la información de nubosidad proporcionada por la estación meteorológica La Libertad ubicada en el municipio de Villavicencio. Como se muestra en la *Gráfica 9*, en los meses de diciembre, enero y febrero se presentan los valores de octas más bajos representando cielos despejados y con nubes dispersas. Mientras que los meses de marzo, mayo, junio

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

y julio llegan a valores de octas de 7 representados en cielos nublados. Para los meses restantes se tienen valores que representan nubes dispersas.

Gráfica 9. Promedio de nubosidad en la estación La Libertad

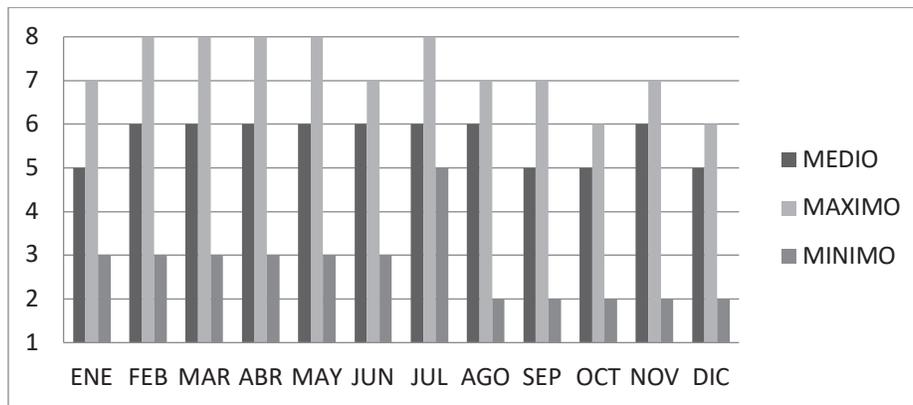


Fuente. Datos tomados del IDEAM.

El municipio de Restrepo cuenta con la estación meteorológica Salinas de Upín, que como se muestra en la *Gráfica 10*, registra el promedio de valores máximos de nubosidad en 7 y 8 para todos los meses, lo cual implica la presencia de cielos nublados y totalmente cubiertos. Al observar el promedio de valores medios podemos que se mantienen los registros de cielos nublados.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 10. Promedio de nubosidad en la estación Salinas de Upín



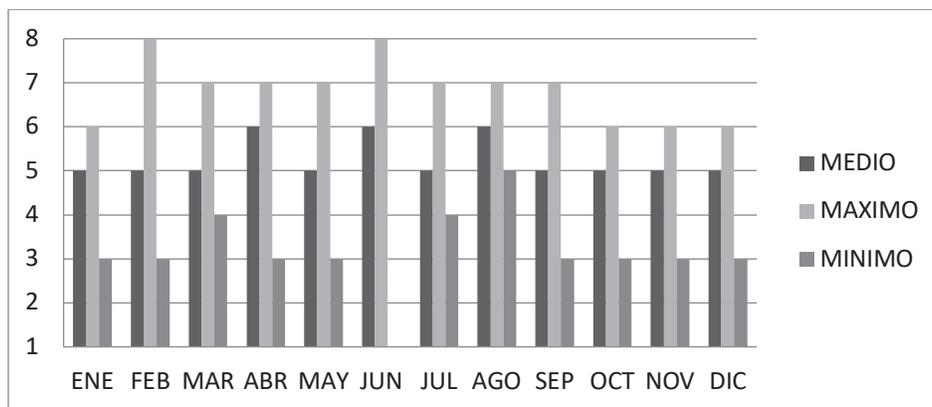
Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.5.3 Promedio multianual de nubosidad en subregión Ariari

En el municipio de Fuente de Oro se encuentra ubicada la estación Puerto Limón, la *Gráfica 11* muestra los datos de nubosidad en donde los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero presentan un comportamiento similar con promedios que representan cielos con nubes dispersas y nublados, mientras que los meses de febrero y junio en el promedio de valor máximo muestran comportamiento de cielos totalmente cubiertos.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 11. Promedio de nubosidad en la estación Puerto Limón

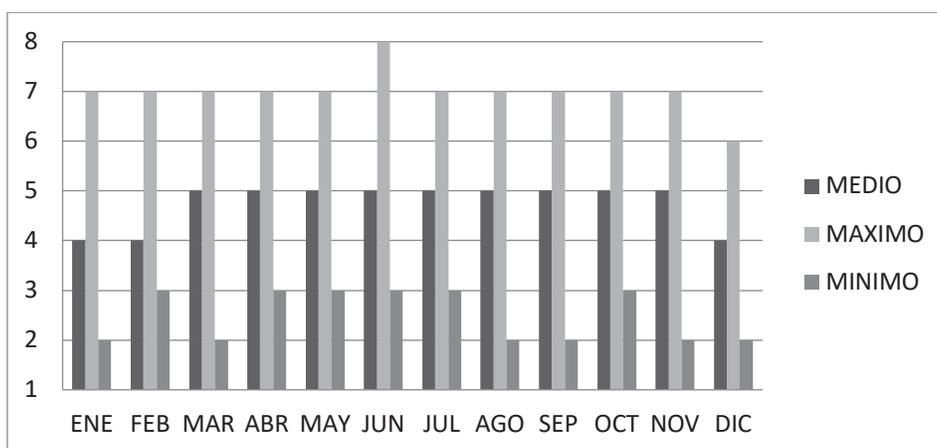


Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.5.4 Promedio multianual de nubosidad en subregión la Macarena

En el municipio de La Macarena el comportamiento de nubosidad mostrado en la *Gráfica 12*, se tiene un comportamiento homogéneo en la mayoría de los meses del año, a excepción de junio donde se llega al valor máximo de nubosidad con cielos totalmente cubiertos, mientras que los valores máximos de los meses restantes se mantienen en 7 octas representando cielos nublados, los valores mínimos muestran un comportamiento con cielos despejados con nubes dispersas.

Gráfica 12. Promedio de nubosidad en la estación la Macarena



Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.6 Temperatura mensual multianual en el departamento del Meta

El promedio mensual multianual de temperatura para el departamento del Meta se puede determinar a partir de la información recolectada por las estaciones meteorológicas del IDEAM, cuyas gráficas serán presentadas a continuación de acuerdo a su presencia en las subregiones que componen el departamento. Cada gráfica cuenta con el promedio de valores mínimos, medios y máximos con el fin de obtener mayor información sobre este parámetro.

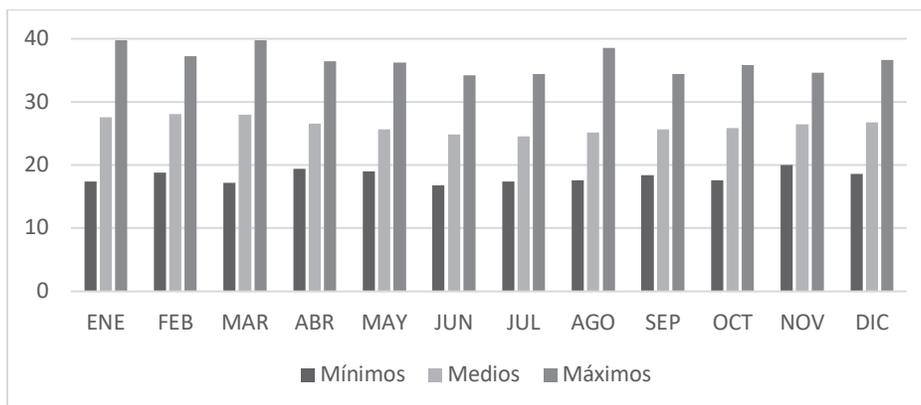
2.6.1 Promedio multianual de temperatura en subregión Río Meta

En el municipio de Barranca de Upía se encuentran ubicadas dos estaciones meteorológicas que registran información sobre el promedio mensual multianual de temperatura. La estación Barranca de Upía, *Gráfica 13*, muestra un promedio de 14 años y un comportamiento con valores máximos de temperatura cercanos a los 40°C en los meses de diciembre, enero, marzo y agosto. En cuanto a los valores

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

medios se mantienen en un rango entre 25°C y los 30°C, mientras que los valores mínimos presentan temperaturas por debajo de los 20°C.

Gráfica 13. Promedio de temperatura en la estación Barranca de Upía

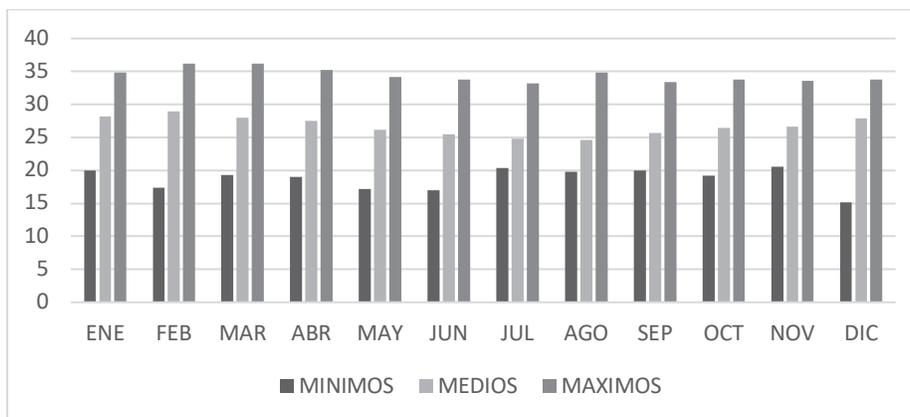


Fuente. Datos tomados del IDEAM.

La segunda estación ubicada en el municipio de Barranca de Upía, se encuentra actualmente inactiva, aunque se tienen datos registrados de temperatura de 3 años (1991 – 1994). En la *Gráfica 14* se muestra un promedio de valores máximos de temperatura entre los 34°C y los 36°C para todos los meses. Mientras que los valores medios se mantienen en un rango en 28°C.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

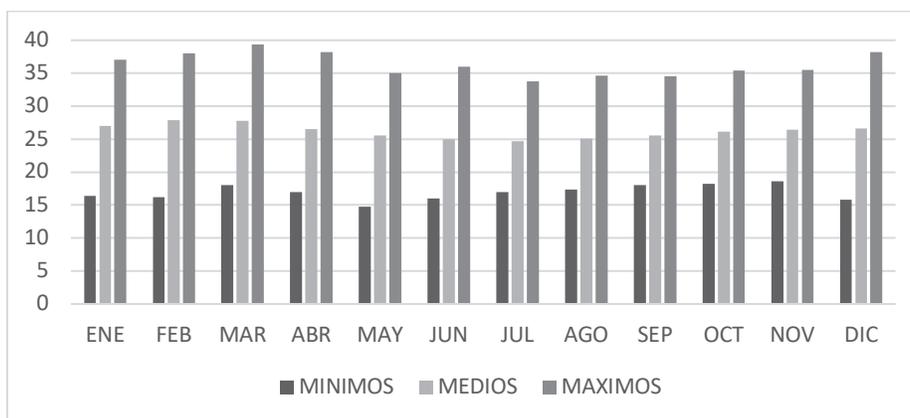
Gráfica 14. Promedio de temperatura en la estación Petriba



Fuente. Datos tomados del IDEAM.

En el municipio de Puerto Gaitán se encuentra la estación Carimagua, cuya gráfica de valores promedio de temperatura durante 42 años (1972 – 2014) se muestra en la *Gráfica 15*. Con valores máximos para todos los meses por debajo de los 40°C, los valores medios son superiores a los 25°C y menores a los 30°C. En cuanto a los valores mínimos la temperatura se encuentra en un rango de 15°C a los 20°C.

Gráfica 15. Promedio de temperatura en la estación Carimagua

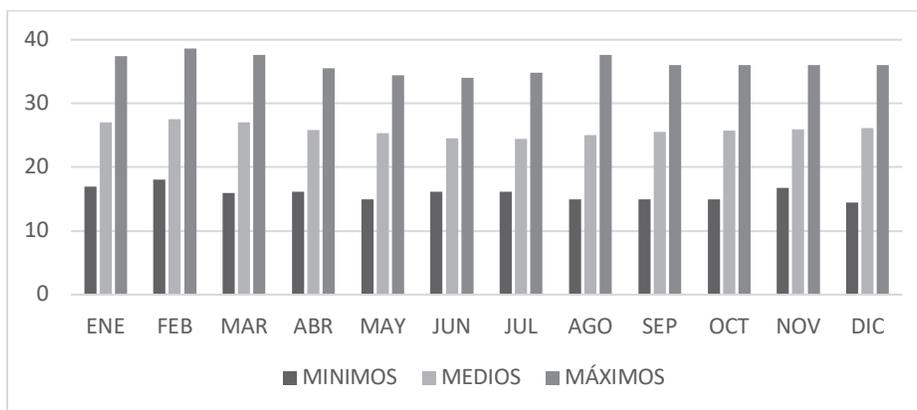


Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.6.2 Promedio multianual de temperatura en subregión Capital Cordillera

Para la subregión Capital Cordillera se cuenta con dos estaciones meteorológicas del IDEAM que registran datos sobre temperatura, las cuales están ubicadas en los municipios de Villavicencio y Restrepo. La estación la Libertad que se encuentra en la capital del departamento registra información de un período de 58 años (desde 1968 hasta 2013), cuyo comportamiento es bastante homogéneo a excepción de los meses de mayo, junio y julio donde la temperatura en sus valores máximos está por debajo de los 35°C, situación que es similar para el promedio de valores mínimos y medios, tal y como se puede observar en la *Gráfica 16*.

Gráfica 16. Promedio de temperatura en la estación La Libertad

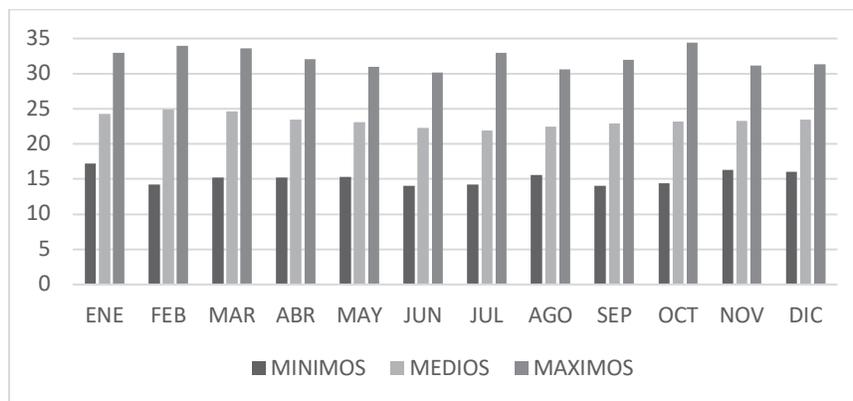


Fuente. Datos tomados del IDEAM.

La estación Salinas de Upín, registra datos en un período desde 1960 hasta 1992, como se muestra en la *Gráfica 17* presenta registros de temperatura que no superan los 35°C, mientras que los valores mínimos de temperatura solo superan los 15°C en los meses de diciembre a enero.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 17. Promedio de temperatura en la estación Salinas de Upín



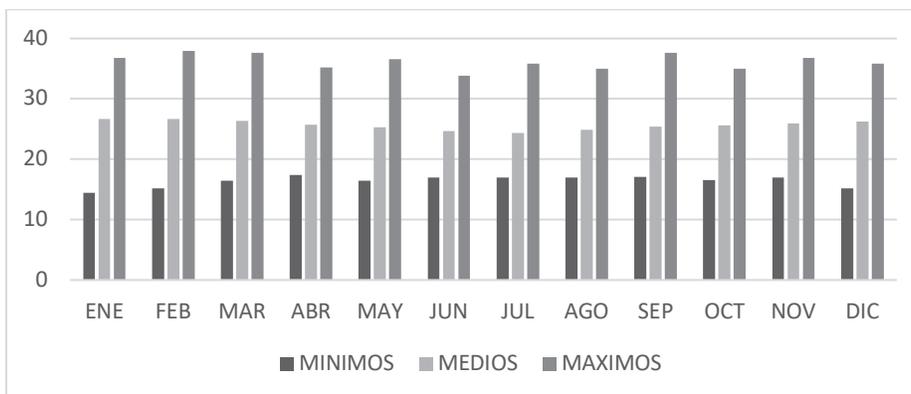
Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.6.3 Promedio multianual de temperatura en subregión La Macarena

En la subregión se encuentran dos estaciones meteorológicas del IDEAM ubicadas en los municipios de La Macarena y Mesetas. La estación la Macarena, mostrada en la *Gráfica 18*, cuenta con información de 47 años en el período de 1967 hasta 2014, con un comportamiento de temperatura similar al expuesto en anteriores estaciones meteorológicas. Registra valores promedios máximos de 38°C, medios de 25°C y mínimo de 14°C.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

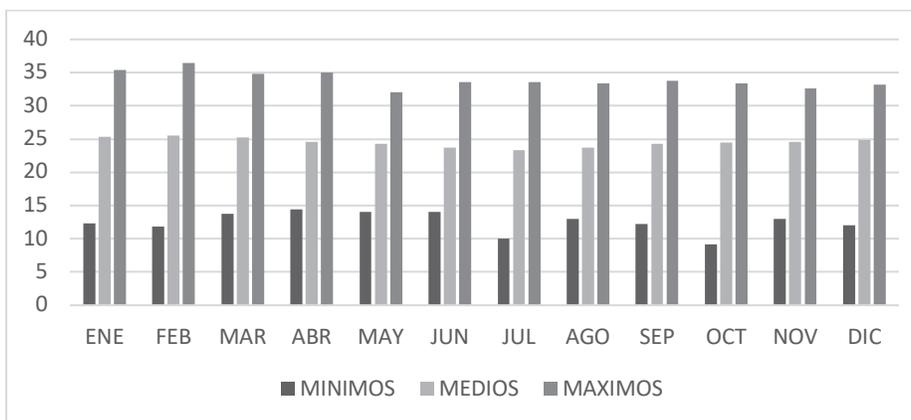
Gráfica 18. Promedio de temperatura en la estación La Macarena



Fuente. Datos tomados del IDEAM.

En la *Gráfica 19* se observa el comportamiento de temperatura registrado por la estación Mesetas, la cual cuenta con datos mensuales multianuales de 34 años (desde 1983 hasta 2017), con valores promedios máximos de 36°C, medios de 24°C y mínimos de 9°C. Aunque el comportamiento de temperatura es bastante homogéneo, se observa decremento en la temperatura para los meses de mayo, junio y julio.

Gráfica 19. Promedio de temperatura en la estación Mesetas

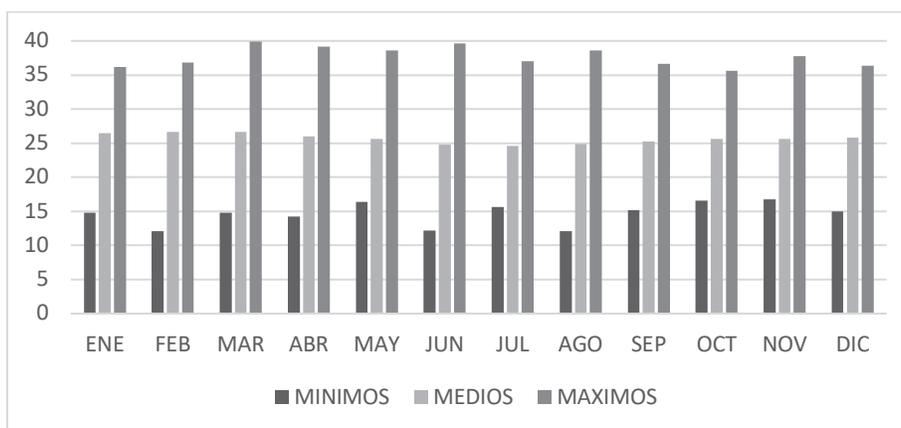


Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.6.4 Promedio multianual de temperatura en subregión Ariari

La estación meteorológica Puerto Limón cuenta con datos de temperatura de 19 años (desde 1968 hasta 1987) que se muestran en la *Gráfica 20*. Su valor máximo de temperatura es 40°C, la temperatura media es de 25°C, mientras que la mínima es de 12°C.

Gráfica 20. Promedio de temperatura en la estación Puerto Limón



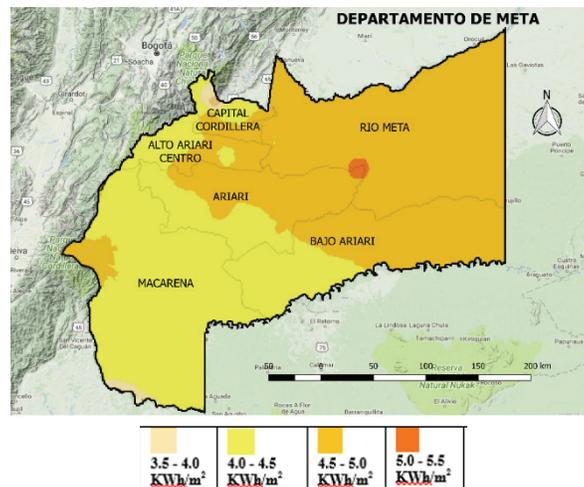
Fuente. Datos tomados del IDEAM.

2.7 Radiación global horizontal en el departamento del Meta

El Atlas Interactivo del IDEAM presenta información de la radiación global horizontal para todos los departamentos de Colombia. La *Figura 8* presenta el promedio diario multianual de GHI para el departamento del Meta, donde se puede identificar el valor promedio para cada una de las subregiones. De esta manera se puede evidenciar que la subregión Meta cuenta con el rango promedio más alto de GHI entre los 4,5 y 5 $kWh/m^2 - día$ y en una pequeña parte del territorio este valor llega hasta los 5,5 $kWh/m^2 - día$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 8. Promedio multianual de radiación global horizontal



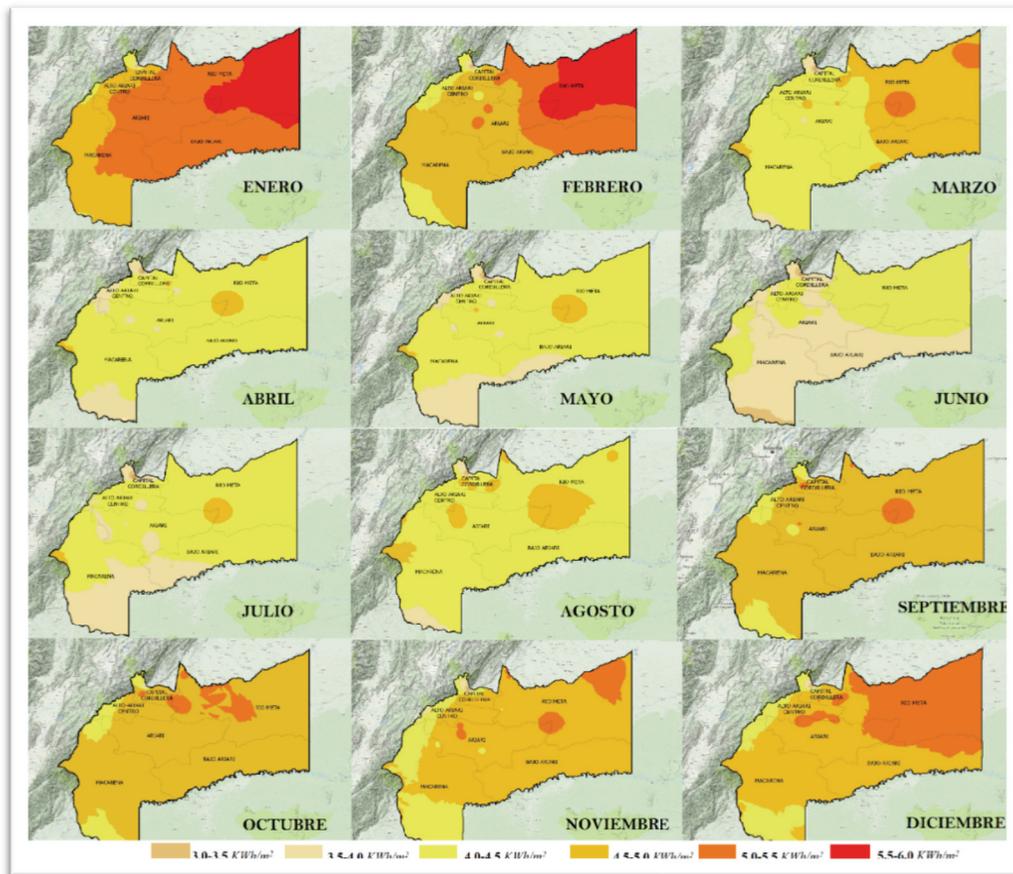
Fuente. Datos tomados del Atlas Interactivo del IDEAM 2015.

La subregión Capital Cordillera presenta tres valores promedio de GHI en los municipios que lo conforman, de esta manera en El Calvario y San Juanito el rango es de 3,5 a 4 $kWh/m^2 - día$, en Restrepo y Cumaral dicho rango es de 4 a 4,5 $kWh/m^2 - día$, mientras que en Villavicencio se alcanza el rango de 4,5 a 5 $kWh/m^2 - día$.

En la *Figura 9* podemos observar los promedios diarios mensuales de Radiación Global Horizontal para cada uno de los meses del año. Allí podemos observar que los meses de enero, febrero y diciembre presentan los rangos de radiación global horizontal alcanzando los 6 $kWh/m^2 - día$. Los meses con menor radiación global horizontal son junio y julio que corresponden a la temporada de lluvias en el departamento, el valor mínimo de GHI es de 3 $kWh/m^2 - día$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 9. Promedio mensual multianual de radiación global horizontal



Fuente. Datos obtenidos del Atlas de Radiación Solar del IDEAM 2014.

La subregión que presenta mayor radiación global horizontal en todos los meses del año es Río Meta, mientras que la subregión con menor radiación global horizontal es La Macarena. Las demás subregiones presentan variaciones representativas en cada uno de los meses del año, sin embargo se encuentran dentro del rango de 3 a 6 kWh/m² – día.

2.7.1 Comportamiento radiación global horizontal registrada estaciones del IDEAM

Para el análisis del comportamiento de la radiación global horizontal en el departamento del Meta, se cuenta con información de las estaciones meteorológicas del IDEAM y de una estación meteorológica perteneciente a FEDEARROZ. Para el caso de las estaciones del IDEAM la mayoría de la información de radiación global horizontal presentada corresponde a modelamientos matemáticos realizados a partir de la información de horas de brillo solar, no obstante, para el caso de algunas estaciones se cuenta con los instrumentos para realizar directamente la medición.

De acuerdo a lo anterior, se cuenta con información para las subregiones Ariari, Alto Ariari Centro, Río Meta y Capital Cordillera. Las subregiones La Macarena y Bajo Ariari Sur no cuentan con información de radiación global horizontal que pueda ser tomada en cuenta.

2.7.2 Radiación Global Horizontal para la Subregión Ariari

La subregión Ariari cuenta con información de interés de las estaciones Barbascal ubicada en San Martín, Puerto Lleras en el municipio que lleva su nombre, Granada y La Holanda ubicados en el municipio de Granada. En la *Gráfica 21* se observa que el potencial de radiación es superior a los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$ en el mes de enero para las estaciones Granada, Puerto Lleras y Barbascal, mientras que en febrero dicho valor es superado por la estación Barbascal. Para el caso de la estación La Holanda se registran datos superiores en los meses de septiembre y noviembre.

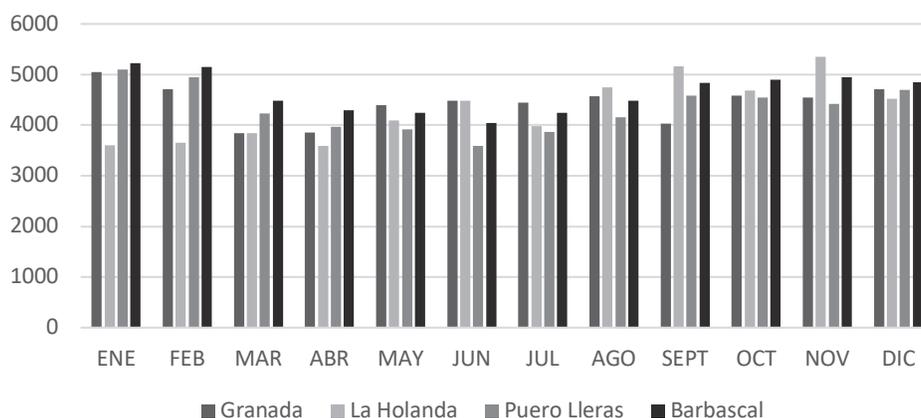
Los meses de marzo hasta agosto registran los valores de radiación más bajos con valores que no superan los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$. Los meses de noviembre, diciembre presentan los mejores promedios de radiación para las cuatro estaciones

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

47

mencionadas. En los meses de enero y febrero aunque tres estaciones muestran valores de radiación considerablemente altos, la estación La Holanda, en este mismo período de tiempo, tiene valores de $3,7 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

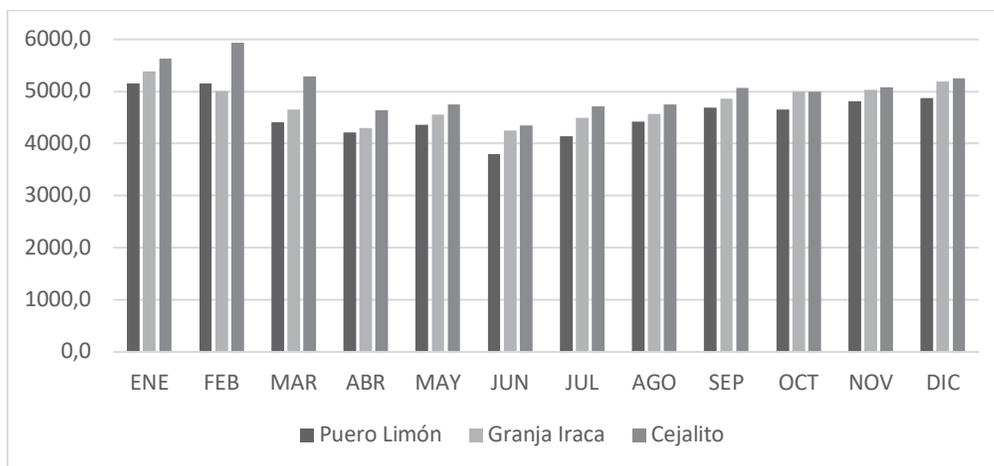
Gráfica 21. Promedio mensual multianual de GHI de estaciones activas para la subregión Ariari



Fuente. Datos obtenidos de las estaciones activas del IDEAM.

En la subregión se cuenta con estaciones meteorológicas del IDEAM suspendidas, cuyo comportamiento se muestra en la *Gráfica 22* y corresponde a las estaciones Puerto Limón, Granja Iraca y Cejalito ubicadas en los municipios de Fuente de Oro y San Martín. En los meses de diciembre, enero y febrero las tres estaciones registran valores de radiación superiores a los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. Mientras que en los meses de junio, julio y agosto se presentan los valores más bajos de radiación con valores cercanos a los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Gráfica 22. Promedio mensual multianual de GHI para estaciones suspendidas en la subregión Ariari



Fuente. Datos obtenidos de las estaciones suspendidas del IDEAM.

2.7.3 Radiación global horizontal para la subregión Alto Ariari Centro

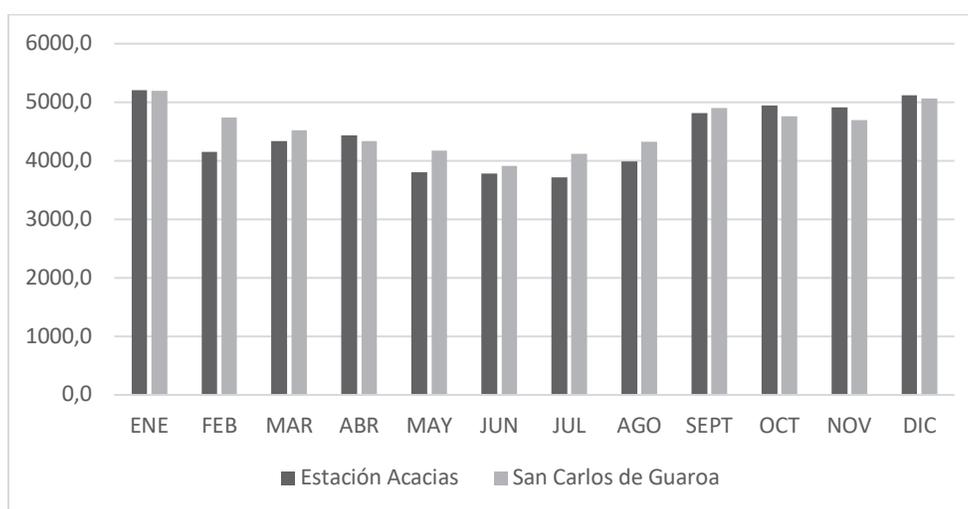
La subregión Alto Ariari Centro cuenta con información de radiación global horizontal suministrada por parte de las estaciones meteorológicas de San Carlos de Guaroa perteneciente al IDEAM la cual se encuentra suspendida y la estación Acacias perteneciente a FEDEARROZ la cual se encuentra en estado activa.

En la *Gráfica 23* se observa que en los meses de enero y diciembre las dos estaciones registran promedios mensuales multianuales superiores a los 5 $kWh/m^2 - día$, mientras que en los meses de mayo, junio y julio se presentan los valores de radiación más bajos con promedios por debajo de los 4 $kWh/m^2 - día$.

Para los meses restantes los valores de ambas estaciones se mantienen dentro del rango de 4 a 5 $kWh/m^2 - día$, lo cual representa un alto potencial de

radiación global horizontal para la implementación de proyectos de energías renovables a partir de paneles solares.

Gráfica 23. Promedio mensual multianual de GHI en la subregión Alto Ariari Centro



Fuente. Datos obtenidos de la estación de Acacias y San Carlos de Guaroa.

2.7.4 Radiación global horizontal para la subregión Río Meta

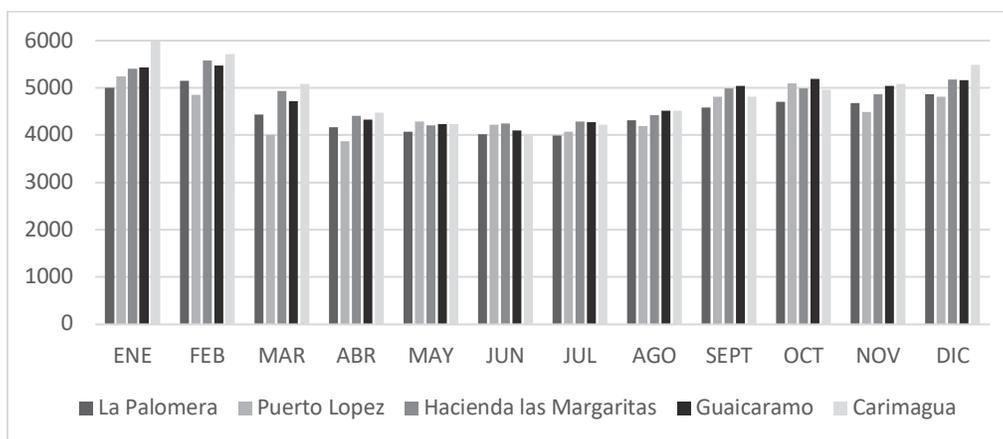
En la subregión Río Meta se cuenta con cinco estaciones meteorológicas del IDEAM activas, de las cuales tres se encuentran ubicadas en el municipio de Puerto López, una en Barranca de Upía y la estación restante se encuentra en Puerto Gaitán. Tal como se muestra en la *Gráfica 24* la estación La Palomera registra datos desde julio de 2008 hasta noviembre de 2016, en donde los meses de enero y febrero se obtienen los valores más altos superando los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, mientras que en los meses restantes el valor promedio mensual se mantiene por encima de los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Para el caso de la estación Puerto López se cuenta con datos desde junio de 1984 hasta mayo de 2002, los meses de enero y octubre presentan los valores más altos con promedios por encima de los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$ y los meses restantes se mantienen por encima de los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. La última estación ubicada en el municipio de Puerto López es Hacienda Las Margaritas la cual tiene el mismo comportamiento descrito en la estación anterior.

La estación Guaicaramo ubicada en el municipio de Barranca de Upía y la estación Carimagua ubicada en Puerto Gaitán presentan el mismo comportamiento con valores máximos de radiación superiores a los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$ durante todo un semestre desde los meses de septiembre hasta febrero. En el semestre restante, aunque los valores de radiación decrecen se mantienen por encima de los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Gráfica 24. Promedio mensual multianual de GHI de estaciones activas en la subregión Río Meta



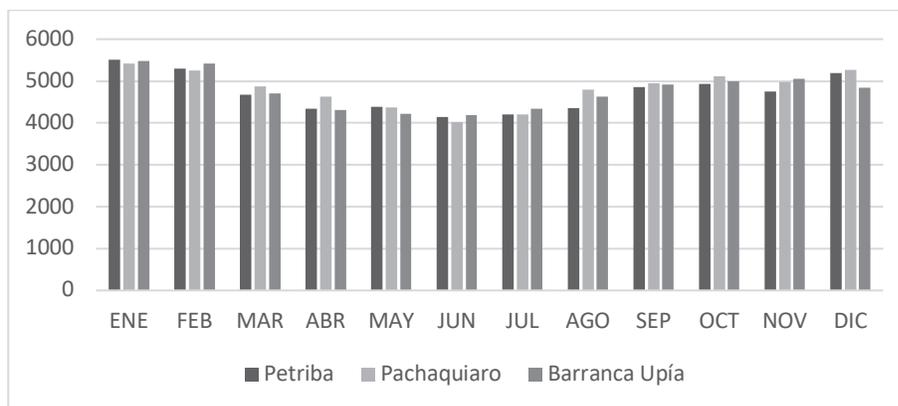
Fuente. Datos obtenidos de las estaciones activas del IDEAM.

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

Para complementar el análisis de radiación global horizontal en la subregión, se tuvo en cuenta los datos históricos registrados por estaciones meteorológicas del IDEAM que en la actualidad se encuentran suspendidas. En la *Gráfica 25* se muestran los valores de radiación registrados por las estaciones Petriba, Barranca de Upía y Pachaquiario.

Nuevamente para el semestre comprendido por los meses entre septiembre y febrero los valores de radiación superan los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, mientras que en el semestre entre los meses de marzo y agosto los valores de radiación se encuentran por encima de los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Gráfica 25. Promedio mensual multianual de GHI para estaciones suspendidas en la subregión Río Meta



Fuente. Datos obtenidos de las estaciones suspendidas del IDEAM.

2.7.5 Radiación global horizontal para la subregión Capital Cordillera

En la subregión Capital Cordillera se cuenta con tres estaciones meteorológicas del IDEAM activas ubicadas en los municipios de Restrepo y Villavicencio, como se muestra en la *Gráfica 26*. Las estaciones Aeropuerto Vanguardia e ICA Villavicencio

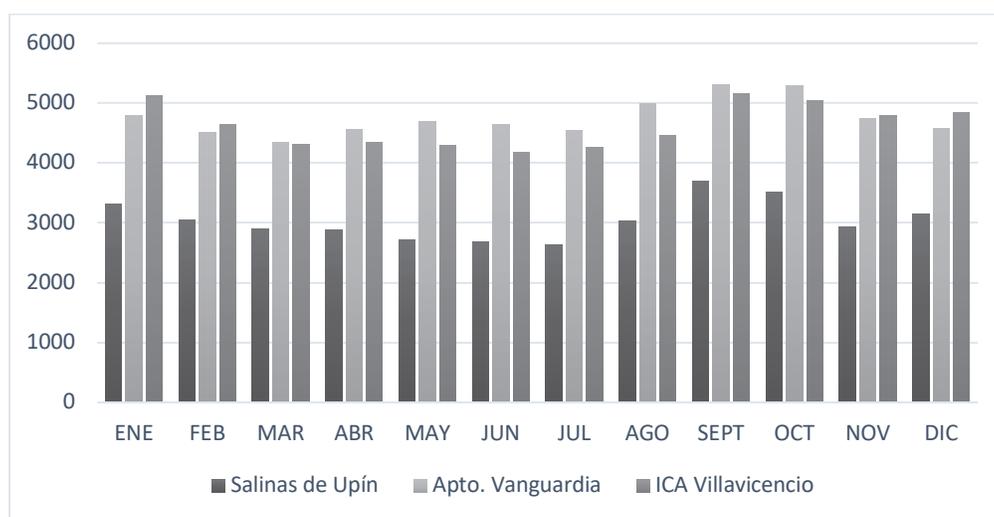
**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

presentan los valores de radiación global horizontal más altos en los meses de septiembre, octubre y enero llegando a superar los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, en los meses restantes el valor de radiación se mantiene en un rango entre los 4 y $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Para el caso de la estación Salinas de Upín ubicada en el municipio de Restrepo se presentan valores de radiación bastante bajos con un promedio de radiación global horizontal de $3 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. Los meses en que dicho valor de radiación llega a sus valores máximos son septiembre, octubre y enero sin embargo no logran superar los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Este potencial bajo en el municipio de Restrepo puede explicarse ya que la estación se encuentra ubicada en zona de piedemonte donde las octas de nubosidad presentan cielos nublados y totalmente cubiertos.

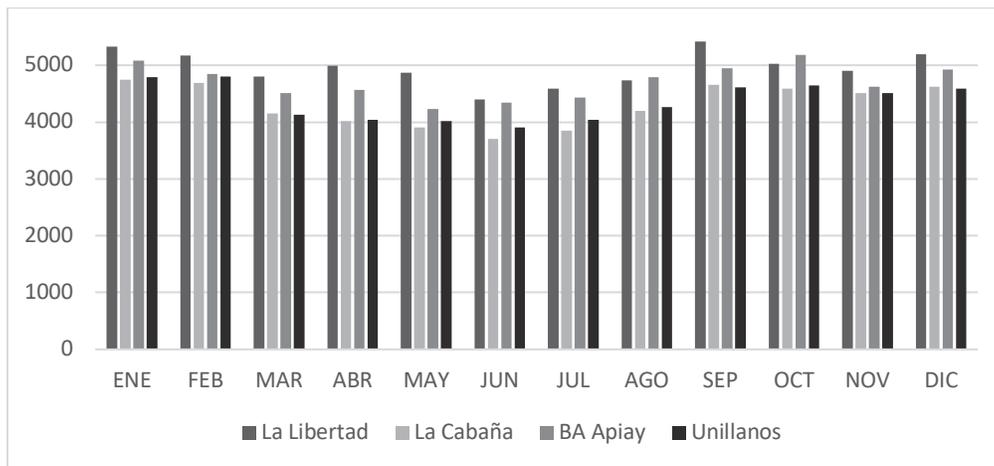
Gráfica 26. Promedio mensual multianual de GHI de estaciones activas en la subregión Capital Cordillera



Fuente. Datos obtenidos de las estaciones activas del IDEAM.

En la subregión se encuentran cuatro estaciones del IDEAM actualmente suspendidas en los municipios de Cumaral y Villavicencio. Las cuales presentan un comportamiento homogéneo manteniendo un promedio de radiación entre los 4 y 5 $kWh/m^2 - día$, como se muestra en la *Gráfica 27*.

Gráfica 27. Promedio mensual multianual de GHI para estaciones suspendidas en la subregión Capital Cordillera



Fuente. Datos obtenidos de las estaciones suspendidas del IDEAM.

2.8 Radiación global horizontal con información satelital del IRENA

Debido a que no se cuenta con información meteorológica del IDEAM para todas las subregiones del departamento del Meta, es necesario acceder a la base de datos satelitales de la IRENA, la cual proporciona información de la Radiación Global Horizontal a partir de diversas fuentes satelitales como: 3TIER (de la institución VAISALA), NREL, ESMAP e INPE.

A partir de estas fuentes de información, los atlas de radiación global horizontal son analizados para cada una de las subregiones del departamento del Meta.

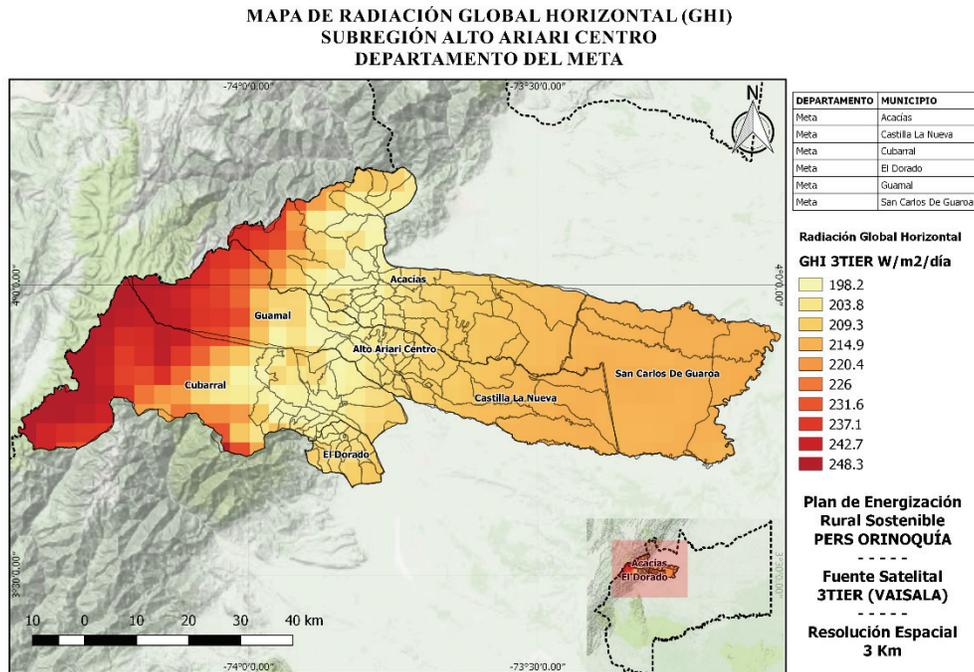
2.8.1 Subregión Alto Ariari Centro

- Fuente satelital 3TIER

Según el mapa suministrado por VAISALA en la *Figura 10* se muestran los valores de radiación global horizontal para la subregión Alto Ariari Centro, en la cual se observan los valores máximos de radiación en la zona occidental de los municipios de Cubarral y Guamal con valores entre los $220,4 W/m^2 - día$ y los $248,3 W/m^2 - día$.

Mientras que los valores más bajos se encuentran en la parte occidental de los municipios de Cubarral, Guamal y en la zona centro de Acacias con valores entre los $214,9 W/m^2 - día$ y los $226 W/m^2 - día$, por último los valores medios de radiación se encuentra en la parte oriental de Acacias, El Dorado, Castilla la Nueva y en todo el municipio de San Carlos de Guaroa con valores de $198,2 W/m^2 - día$ y los $203,8 W/m^2 - día$.

Figura 10. Subregión Alto Ariari Centro – GHI 3TIER



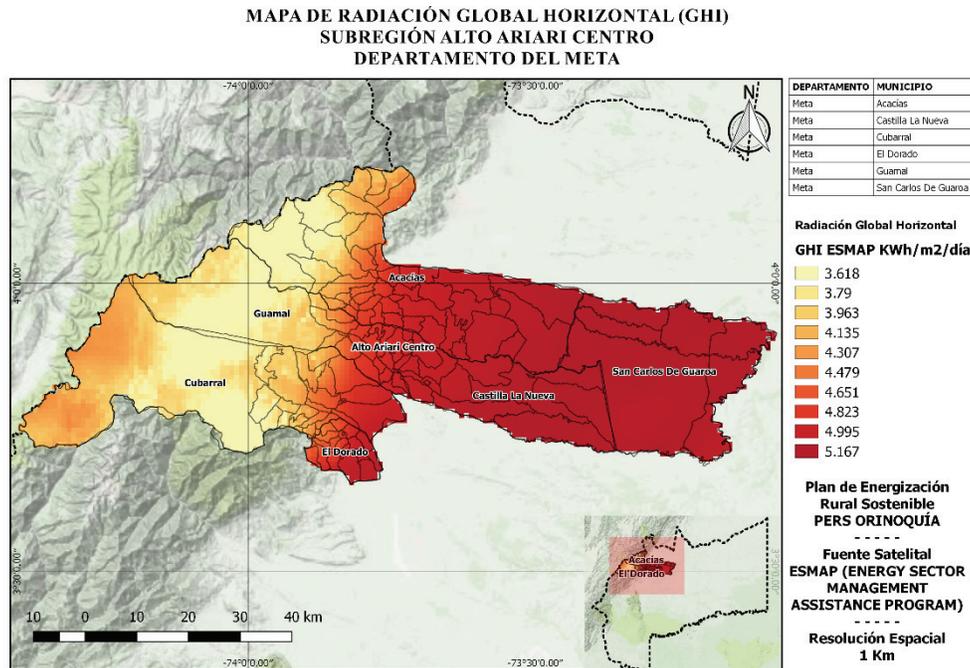
Fuente. Datos obtenidos de 3tier (VAISALA) 2016.

- **Fuente satelital ESMAP**

Según el mapa suministrado por VAISALA en la *Figura 11* se muestran los valores de radiación global horizontal para la subregión Alto Ariari Centro, en el cual se observa que los valores máximos de radiación se encuentran hacia la parte oriental de la subregión en los municipios de San Carlos de Guaroa, El Dorado, Castilla la Nueva y en la parte oriental del municipio de Acacias con un valor de radiación máxima de $5,16 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Los valores mínimos de radiación van de un rango de 3,61 a los $4,13 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$ y se encuentran en la parte occidental de la subregión en los municipios Cubarral, Guamal y en la parte oriental Acacias.

Figura 11. Subregión Alto Ariari Centro - GHI ESMAP



Fuente. Datos obtenidos de ESMAP 2015.

- **Fuente satelital INPE**

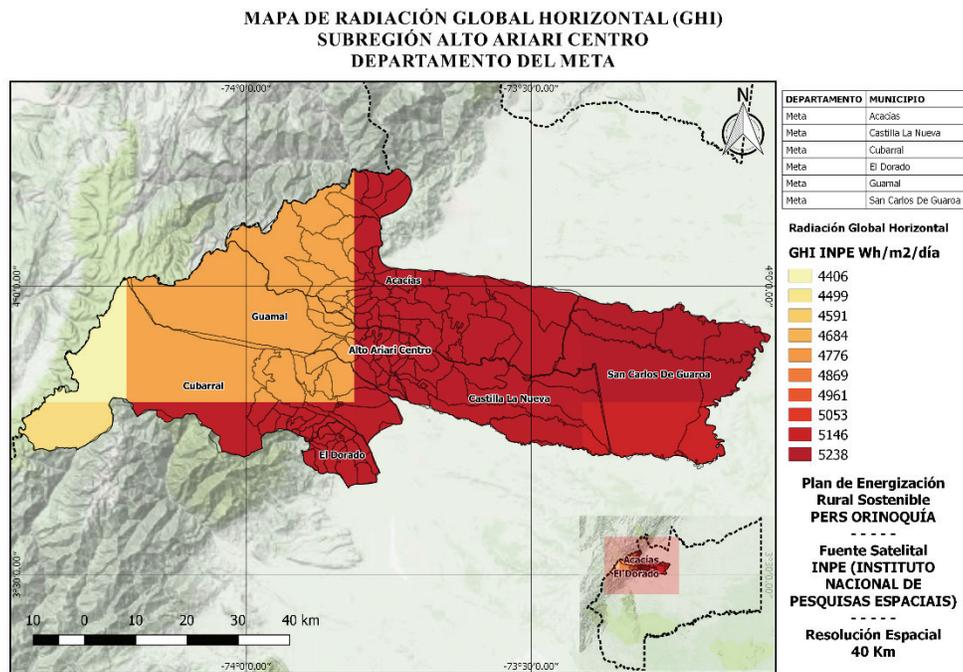
Según el mapa suministrado por INPE en la *Figura 12* se muestran los valores de radiación global horizontal para la subregión Alto Ariari Centro, en el cual se observa que los valores máximos de radiación se encuentran hacia la parte oriental de la subregión en los municipios de San Carlos de Guaroa, Castilla la Nueva y en la parte oriental del municipio de Acacias con un valor de radiación máxima de 5238 Wh/m² – día.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

57

En la zona occidental de la subregión se encuentran los valores mínimos de radiación con rangos entre los 4406 y los 4869 $Wh/m^2 - día$ en los municipios de Cubarral y Guamal.

Figura 12. Subregión Alto Ariari Centro - GHI INPE



Fuente. Datos obtenidos de INPE 2005.

- **Fuente satelital NREL**

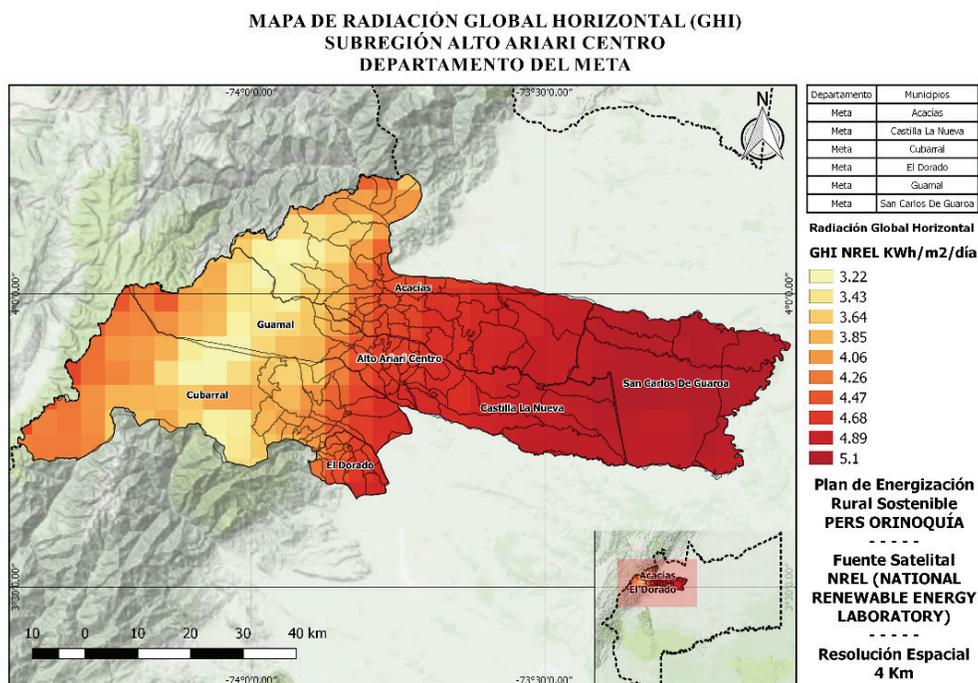
Según el mapa suministrado por NREL en la *Figura 13* se muestran los valores de radiación global horizontal para la subregión Alto Ariari Centro con una resolución espacial de 4 km por píxel, de esta manera se tiene que la zona oriental de la subregión en los municipios de San Carlos de Guaroa y Castilla la Nueva presenta

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

los valores máximos de $5,1 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, para el caso de los municipios de El Dorado y Acacias se presentan rangos de radiación que van de los $3,85$ a los $4,89 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

En la zona occidental de la subregión se presentan los valores mínimos de radiación con valores que van desde los $3,22$ a los $3,64 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$ en el territorio de los municipios de Cubarral y Guamal.

Figura 13. Subregión Alto Ariari Centro - GHI NREL



Fuente. Datos obtenidos de NREL 2014.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

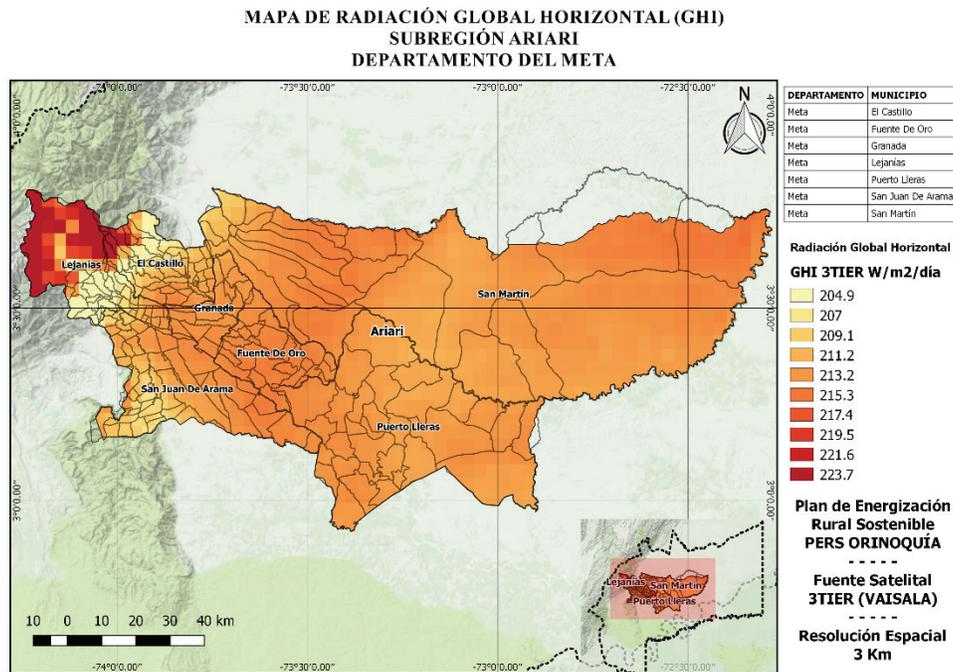
2.8.2 Subregión Ariari

- Fuente Satelital 3TIER

En la subregión Ariari el mapa de radiación global horizontal suministrado por VAISALA y que se muestra en la *Figura 14*, permite evidenciar una distribución uniforme de los valores de radiación para el territorio compuesto por los municipios de San Martín, Puerto Lleras, Fuente de Oro, San Juan de Arama, Granada y El Castillo con valores que van desde los 213,2 a 215,3 $W/m^2 - día$.

Para el caso del municipio de Lejanías en la zona occidental de la subregión Ariari, se presentan los valores máximos de radiación con un rango entre los 219,5 y los 223,7 $W/m^2 - día$.

Figura 14. Subregión Ariari - GHI 3TIER



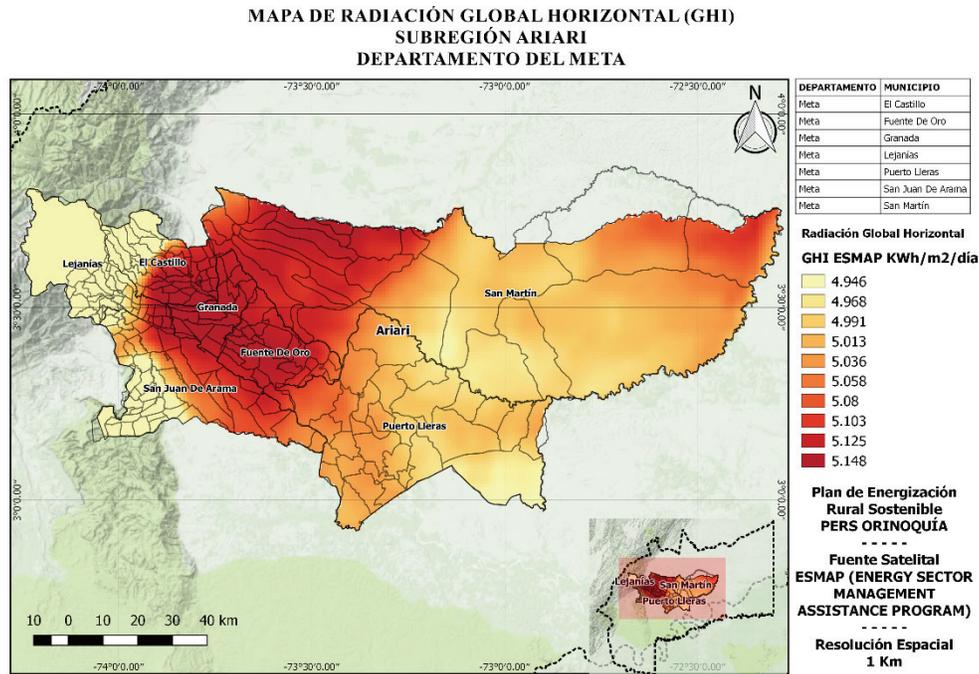
Fuente. Datos obtenidos de 3tier (VAISALA) 2016.

- **Fuente satelital ESMAP**

Analizando los datos satelitales suministrados por ESMAP para la subregión Ariari mostrada en la *Figura 15*, se observa un buen potencial solar en la zona centro de esta subregión en los municipios de Granada, Fuente de Oro y en San Juan de Arama, con valores de radiación global horizontal superiores a los $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$, llegando a un valor máximo de $5,14 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$. Aunque en la figura en mención, Lejanías aparece como el de menor potencial, el valor de radiación es considerablemente alto para el municipio con un valor de $4,94 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$.

En la zona oriental de la subregión tenemos un valor de radiación uniforme para la mayoría de la extensión territorial de San Martín y Puerto Lleras, llegando a valores máximos de $5,08 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$.

Figura 15. Subregión Ariari - GHI ESMAP



Fuente. Datos obtenidos de ESMAP 2015.

- **Fuente satelital INPE**

Al realizar el análisis geográfico de los datos satelitales suministrados por INPE, mostrados en la *Figura 16* para la subregión Ariari, se evidencia que el mayor potencial de radiación solar se encuentra en la parte occidental de la subregión en los municipios de Lejanías, El Castillo y Gradada con valores de $5204 \text{ Wh/m}^2 - \text{día}$. El municipio de San Juan de Arama se muestra en la figura como el potencial más bajo, sin embargo su valor es de $5085 \text{ Wh/m}^2 - \text{día}$.

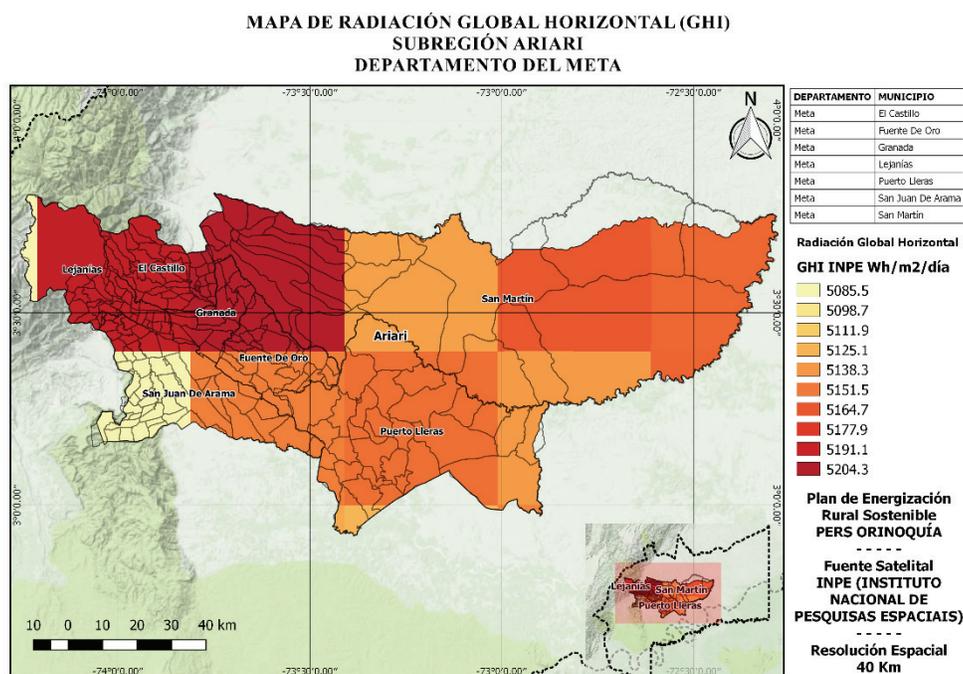
Para el caso de los municipios de San Martín, Puerto Lleras y Fuente de Oro los valores de radiación global horizontal se encuentran en un rango de 5111 a 5164

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

62

$Wh/m^2 - día$. Los anteriores valores de radiación evidencian el gran potencial de la subregión, ya que la diferencia entre el valor más bajo y el más alto es de $120 Wh/m^2 - día$.

Figura 16. Subregión Ariari - GHI INPE



Fuente. Datos obtenidos de INPE 2005.

- **Fuente satelital NREL**

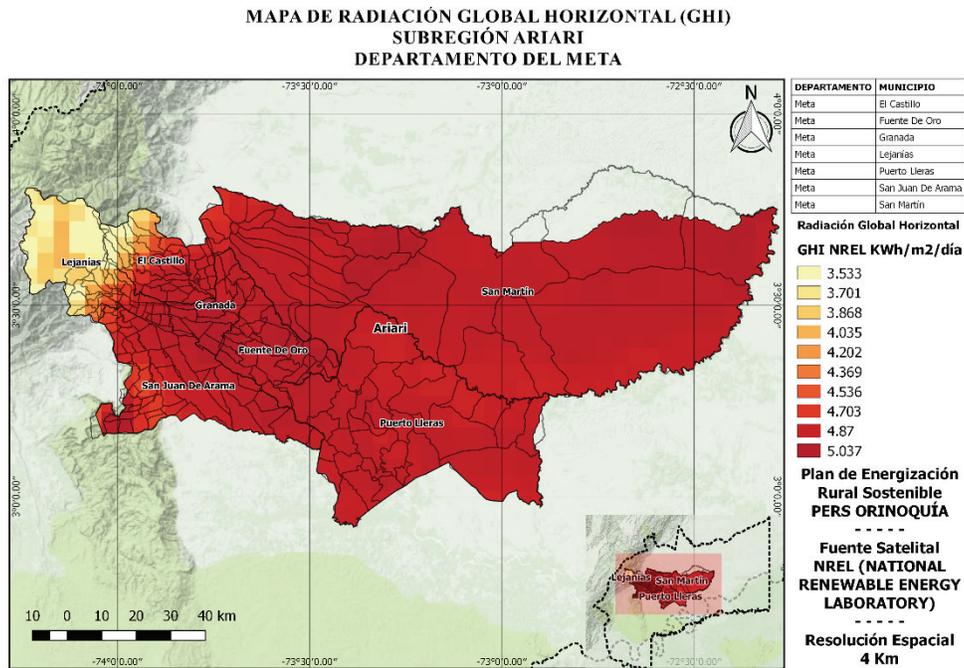
Según el mapa suministrado por NREL en la *Figura 17* se muestran los valores de radiación global horizontal para la subregión Ariari. En el mapa generado por esta base de datos se evidencia, al igual que en otras fuentes, el potencial solar alto de los municipios de Granada, El Castillo y Fuente de Oro con valores superiores los 5

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

$kWh/m^2 - día$, este potencial es igual para los municipios de Puerto Lleras y San Martín.

El municipio de San Juan de Arama presenta valores sobre los $4,5 kWh/m^2 - día$, el potencial de radiación más bajo es ubicado en el municipio de Lejanías con valores en un rango de los $3,53 a 4,03 kWh/m^2 - día$.

Figura 17. Subregión Ariari - GHI NREL



Fuente. Datos obtenidos de NREL 2014.

2.8.4 Subregión Bajo Ariari Sur

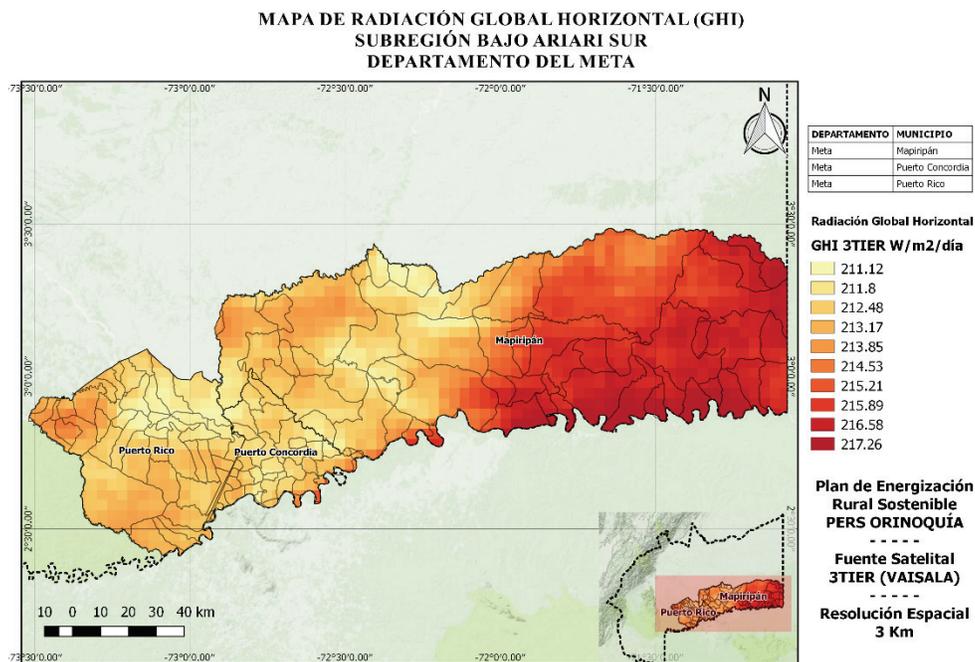
- **Fuente Satelital 3TIER**

La *Figura 18* muestra el mapa de radiación global horizontal para la subregión Bajo Ariari Sur, allí se observa que la subregión cuenta con dos intervalos de valores de radiación, el potencial más alto se encuentra en la zona oriental de la subregión en la mitad del territorio del municipio de Mapiripan con potenciales desde los 214,53 hasta los $217,26 \text{ W/m}^2 - \text{ día}$.

La zona occidental de la subregión presenta los valores más bajos de radiación en los municipios de Puerto Rico, Puerto Concordia y la parte occidental de Mapiripan, allí los valores se presentan en rangos que van desde los 211,12 a los $213,85 \text{ W/m}^2 - \text{ día}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 18. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI 3TIER



Fuente. Datos obtenidos de 3tier (VAISALA) 2016.

- **Fuente satelital ESMAP**

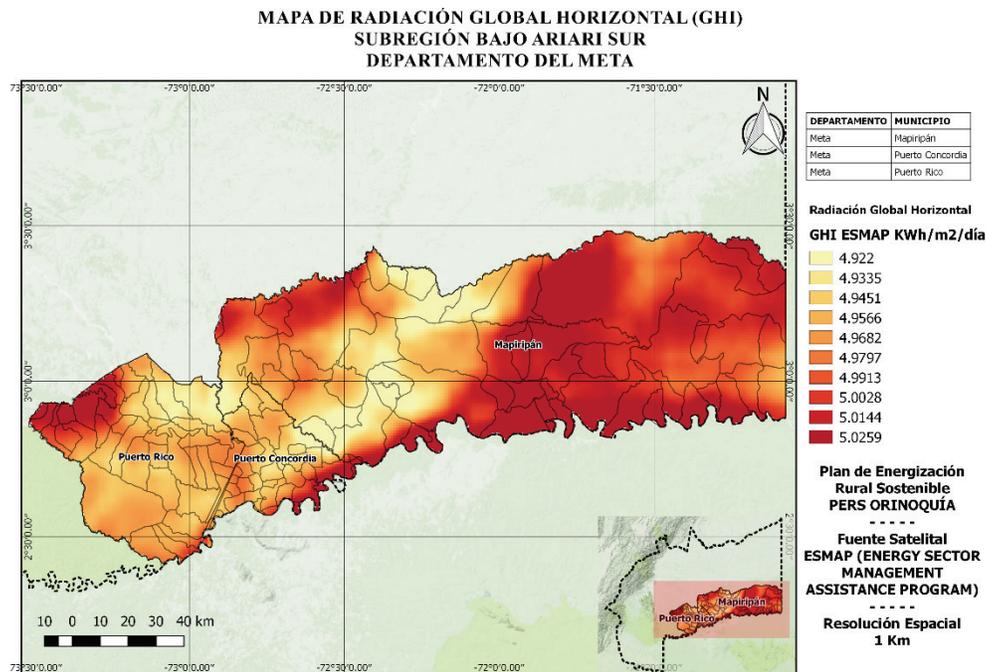
En la *Figura 19* se muestra el potencial de radiación global horizontal para la subregión Bajo Ariari Sur. Con dicha resolución podemos observar que la distribución de potencial de radiación solar no es uniforme a lo largo del territorio. De esta manera tenemos que los potenciales más altos se presentan en la zona central y oriental del municipio de Mapiripán, en la parte norte del municipio de Puerto Rico y en la parte sur de Puerto Concordia a lo largo de la ribera del río Guaviare, con un potencial de radiación de $5,02 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

La zona central de Puerto Rico, Puerto Concordia y la parte occidental del municipio de Mapiripán presenta potenciales de $4,92 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, no obstante,

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

la distribución es casi uniforme ya que la diferencia del valor mínimo y el máximo es menor de $0,1 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Figura 19. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI ESMAP



Fuente. Datos obtenidos de ESMAP 2015.

- **Fuente satelital INPE**

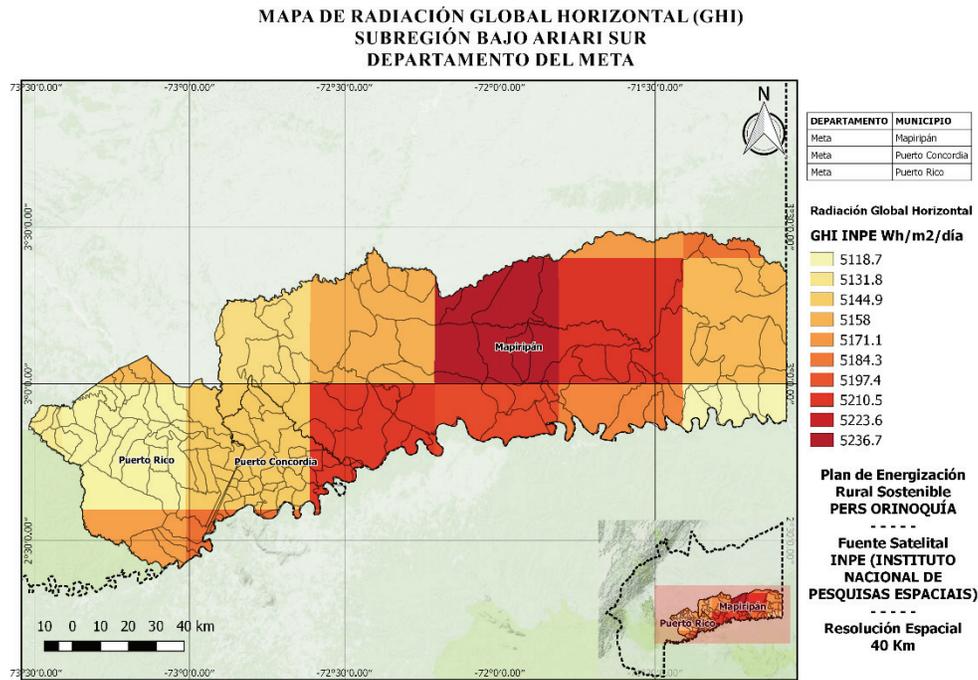
La *Figura 20* muestra el potencial de radiación global horizontal para la subregión Bajo Ariari Sur de acuerdo a la base de datos satelitales de INPE, la cual presenta la información con una resolución espacial de 40 km la cual podemos evidenciar en el mapa. Se presentan valores de radiación diversos para cada municipio.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

67

De esta manera el municipio de Puerto Concordia presenta potenciales de $5,14 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, mientras que en Puerto Rico el potencial de radiación es de $5,11 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. Para el caso del municipio de Mapiripán, debido a su gran extensión territorial, se presentan todos los valores de radiación global horizontal, llegando a un valor máximo de $5,23 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Figura 20. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI INPE



Fuente. Datos obtenidos de INPE 2005.

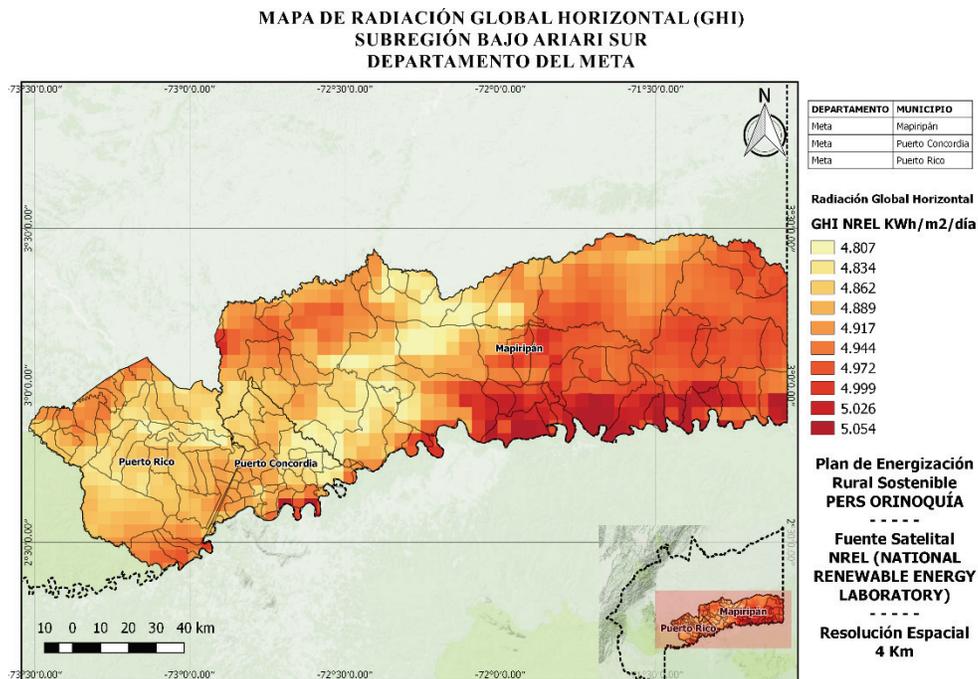
- **Fuente satelital NREL**

La *Figura 21* muestra el mapa de radiación global horizontal para la subregión Bajo Ariari Sur de acuerdo a la base de datos satelitales de NREL. En dicho mapa se puede observar que el valor máximo de radiación de $5,05 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$ se presenta en la zona sur del municipio de Mapiripan en la ribera del río Guaviare. En la zona noroccidental del mismo municipio el potencial varía de $4,8$ a $5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

En los municipios de Puerto Rico y Puerto Concordia se presentan rangos de $4,8$ hasta $4,9 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. Como se puede observar el potencial de radiación global horizontal es alto incluso en las zonas que se presenta el valor mínimo.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 21. Subregión Bajo Ariari Sur - GHI NREL



Fuente. Datos obtenidos de NREL 2014.

2.8.5 Subregión Capital Cordillera

- **Fuente Satelital 3TIER**

En la subregión Capital Cordillera se encuentra incluido el municipio de Villavicencio el cual es la capital del departamento del Meta. En la *Figura 22* se muestra el mapa de radiación global horizontal para dicha subregión, donde se observa que para los municipios de Villavicencio, Restrepo y Cumaral se tienen valores homogéneos alrededor de los $218 \text{ W/m}^2 - \text{día}$.

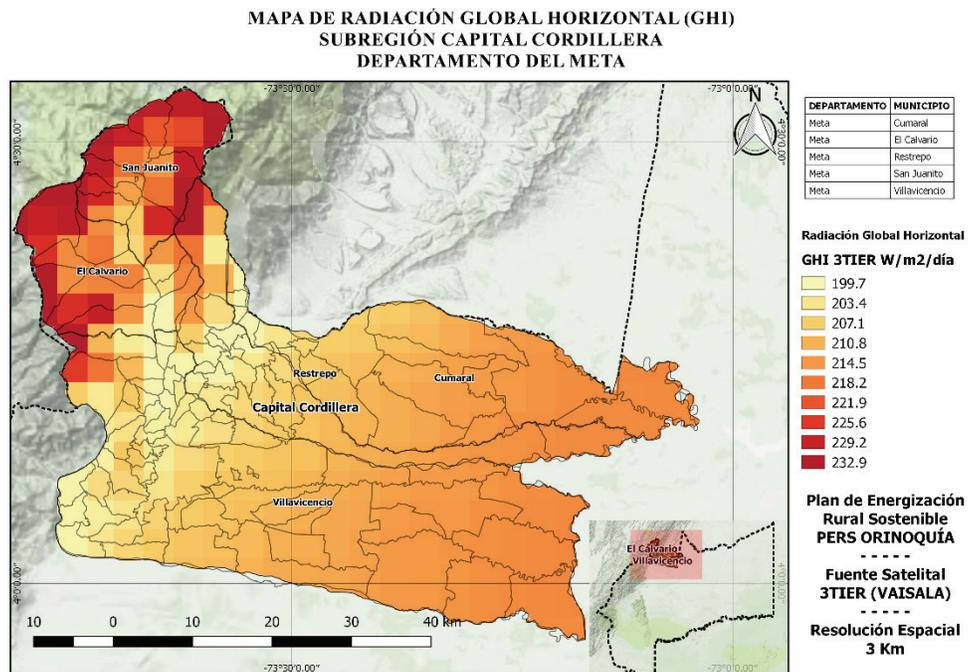
Para el caso de los municipios de San Juanito y el Calvario se tienen zonas donde el valor de radiación alcanza los $230 \text{ W/m}^2 - \text{día}$. Sin embargo en toda la

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

70

zona del piedemonte se presenta el valor más bajo de radiación de 199 W/m^2 – día.

Figura 22. Subregión Capital Cordillera - GHI 3TIER



Fuente. Datos obtenidos de 3tier (VAISALA) 2016.

- **Fuente satelital ESMAP**

Realizando el análisis con la base de datos satelitales del ESMAP que nos brinda una mayor resolución espacial, la *Figura 23* permite evidenciar que los municipios de El Calvario y San Juanito presentan potenciales de radiación bajos cercanos a

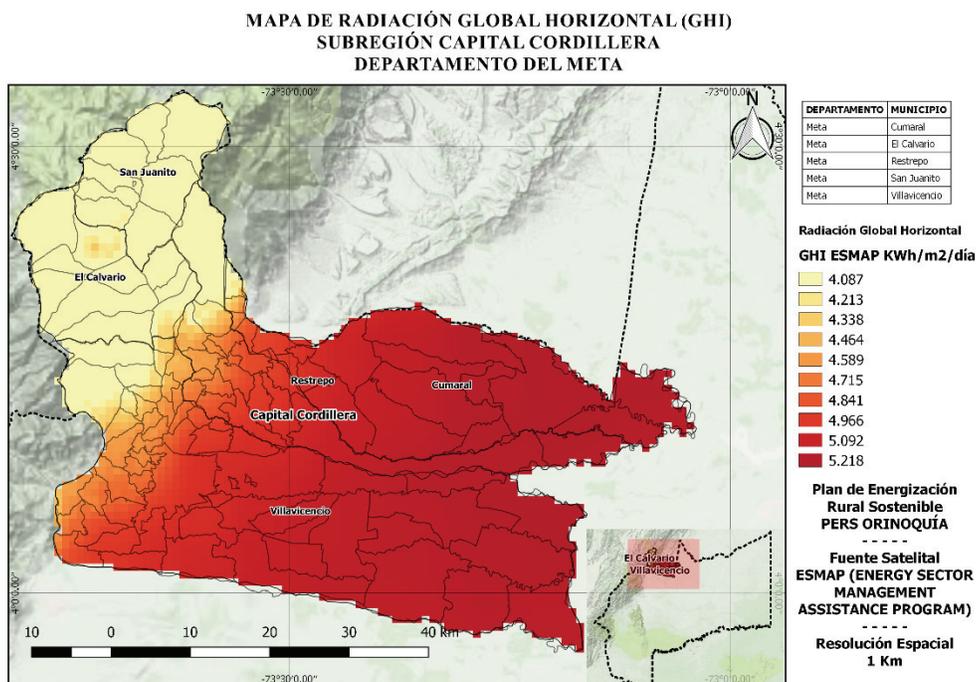
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

71

los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$, ya que se encuentran sobre la cordillera oriental y presenta octas elevadas de nubosidad.

En la zona del piedemonte en la zona occidental de los municipios de Villavicencio y Restrepo se evidencia un aumento en los valores de radiación llegando a los $4,5 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. Para la zona oriental de la subregión que abarca parte de los municipios de Restrepo y Villavicencio y la totalidad del territorio de Cumaral se tienen valores máximos de radiación de $5,21 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Figura 23. Subregión Capital Cordillera - GHI ESMAP



Fuente. Datos obtenidos de ESMAP 2015.

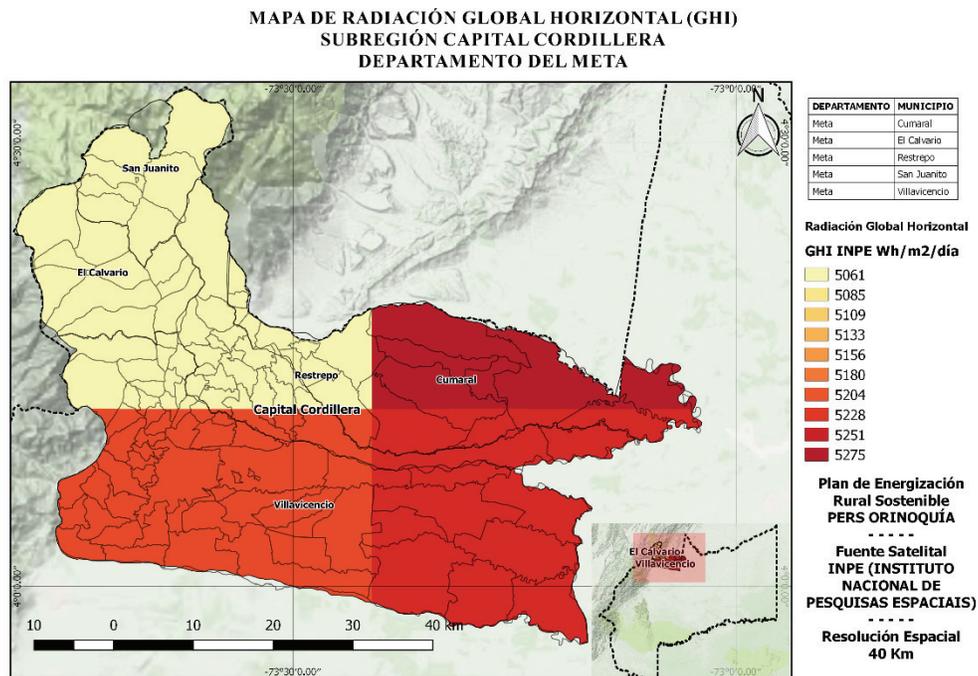
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

• Fuente satelital INPE

La *Figura 24* muestra el mapa de radiación global horizontal realizado a partir de la base de datos brasileña INPE. Al tener una resolución espacial baja de 40 km por pixel, nos muestra la subregión dividida en 4 valores de radiación. El valor más bajo se encuentra en la zona noroccidental en los municipios de El Calvario y San Juanito con una radiación de $5061 \text{ Wh/m}^2 - \text{ día}$, en la zona suroccidental en el municipio de Villavicencio el valor de radiación es de $5180 \text{ Wh/m}^2 - \text{ día}$.

En la zona suroriental podemos observar un aumento en el valor de radiación llegando a los $5228 \text{ Wh/m}^2 - \text{ día}$, mientras que los valores máximos de radiación llegan a los $5275 \text{ Wh/m}^2 - \text{ día}$ y se presentan en la zona nororiental de la subregión en el municipio de Cumaral.

Figura 24. Subregión Capital Cordillera - GHI INPE



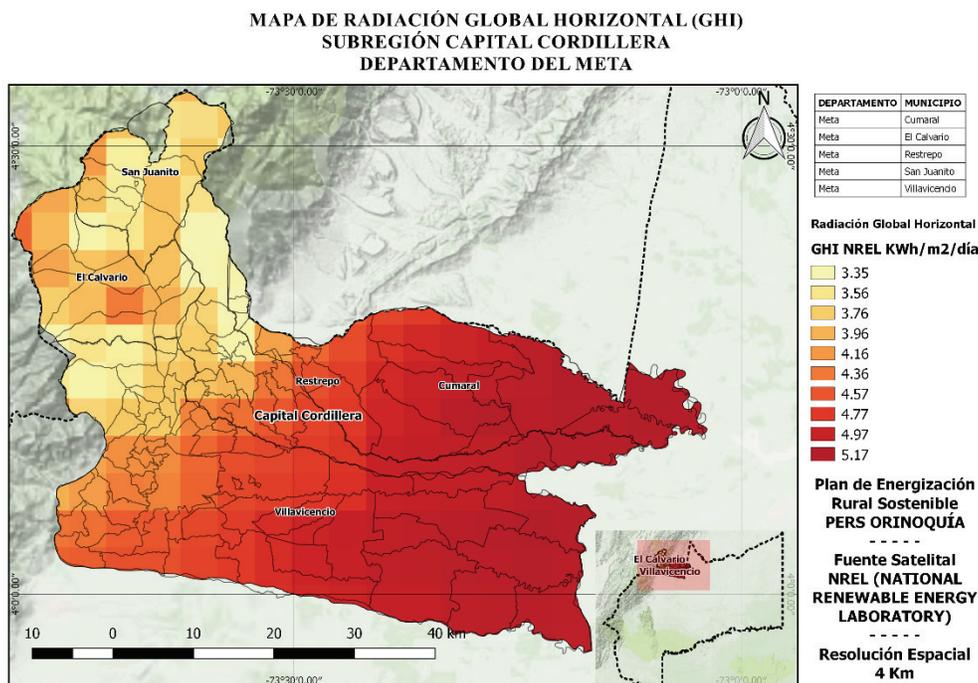
Fuente. Datos obtenidos de INPE 2005.

- **Fuente Satelital NREL**

Analizando la subregión con la base de datos satelitales de NREL muestra el mismo comportamiento que los mapas anteriores. De esta manera en la *Figura 25* se observan los valores máximos de radiación global horizontal en la zona oriental de la subregión llegando a los $5,17 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$. En la zona del piedemonte el valor de radiación decrece a los $4,57 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Por último en la zona noroccidental en los municipios de El Calvario y San Juanito, ubicados en la cordillera oriental, se presentan valores que van desde un rango de $3,35$ a los $4 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

Figura 25. Subregión Capital Cordillera - GHI NREL



Fuente. Datos obtenidos de NREL 2014.

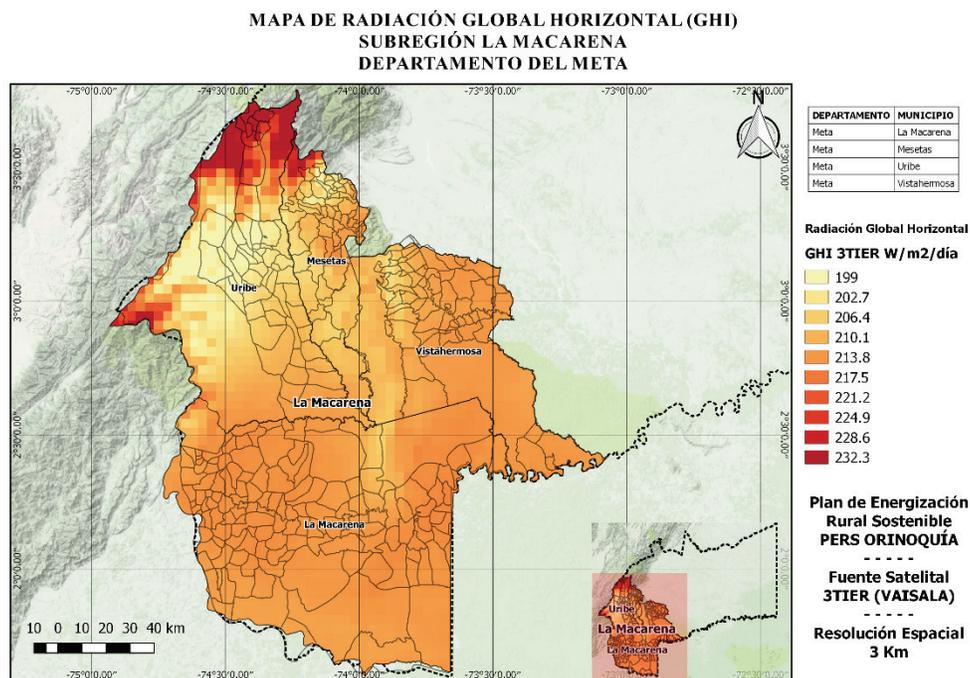
2.8.6 Subregión La Macarena

- **Fuente Satelital 3TIER**

En la subregión La Macarena hacen presencia 4 parques nacionales naturales llamados La Macarena, Picachos, Tinigua y Sumapaz. En la *Figura 26* podemos observar que en la zona norte de la subregión donde se encuentra el páramo de Sumapaz se presenta la mayor potencia de radiación con $232,2 \text{ W/m}^2 - \text{día}$.

Para el resto del territorio que comprende la subregión los valores de potencia son más homogéneos con valores de $213,8 \text{ W/m}^2 - \text{día}$, con algunos valores mínimos que llegan a los $199 \text{ W/m}^2 - \text{día}$.

Figura 26. Subregión La Macarena - GHI 3TIER



Fuente. Datos obtenidos de 3tier (VAISALA) 2016.

- **Fuente satelital ESMAP**

En la *Figura 27* se muestra el mapa de radiación global horizontal par la subregión La Macarena, donde se puede evidenciar el alto potencial solar que tiene esta región en la mayoría de su territorio, en los municipios de La Macarena, Vistahermosa y Mesetas al mantenerse con valores de $5,07 \text{ kWh/m}^2 - \text{día}$.

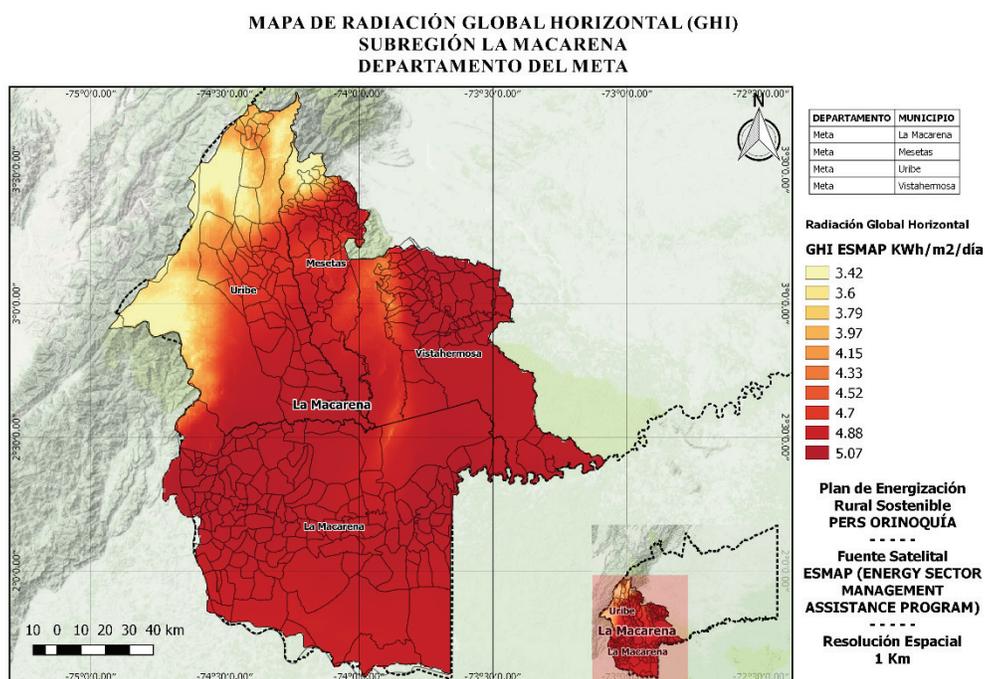
En el municipio de La Uribe se presentan valores mínimos en las zonas donde se encuentre el parque nacional natural Los Picachos y Sumapaz donde se

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

76

presentan rangos de radiación entre los 3,42 a los 4,15 $kWh/m^2 - día$. En la parte sur de dicho municipio donde se encuentra el parque nacional natural Tinigua se presentan valores máximos de 4,88 $kWh/m^2 - día$.

Figura 27. Subregión La Macarena - GHI ESMAP



Fuente. Datos obtenidos de ESMAP 2015.

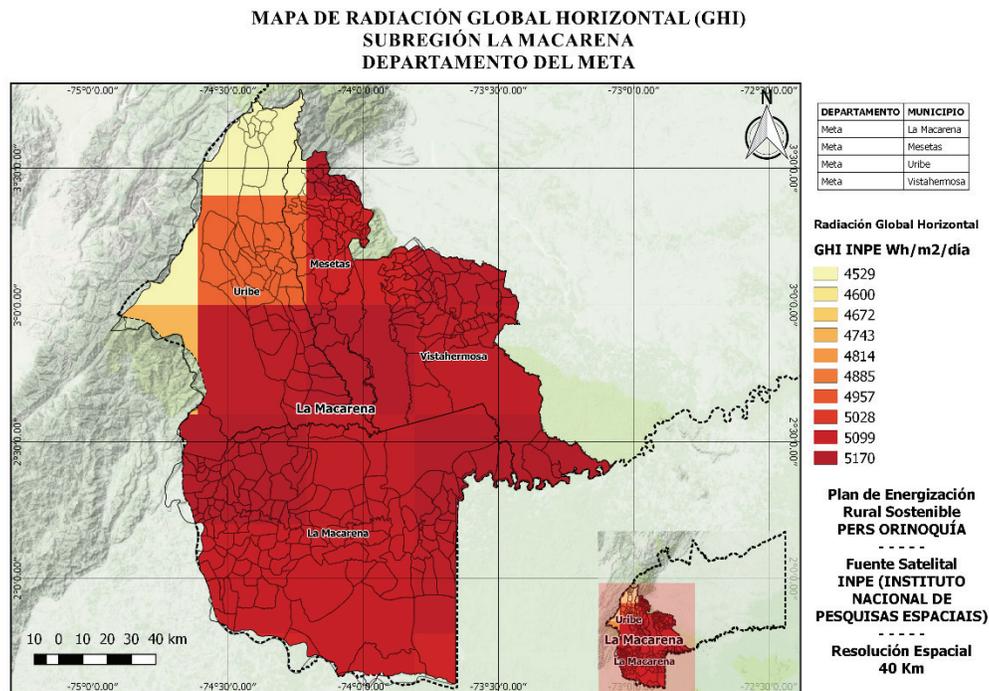
- **Fuente satelital INPE**

En la *Figura 28* se muestra el mapa de radiación global horizontal a partir de la base de datos satelitales de INPE, el comportamiento de los valores de radiación es similar al mapa anterior, mostrando valores mínimos en las zonas noroccidentales de la subregión donde se encuentran los parque Picachos y Sumapaz, estos valores llegan a los 4529 $Wh/m^2 - día$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

En el municipio de Uribe se presentan valores de radiación de 4672 hasta los 4885 $Wh/m^2 - día$. Para los municipios de Mesetas, Vistahermosa y La Macarena los valores de radiación tienen un rango de 5099 a los 5170 $Wh/m^2 - día$, siendo los valores máximos para toda la subregión.

Figura 28. Subregión La Macarena - GHI INPE



Fuente. Datos obtenidos de INPE 2005.

- **Fuente satelital NREL**

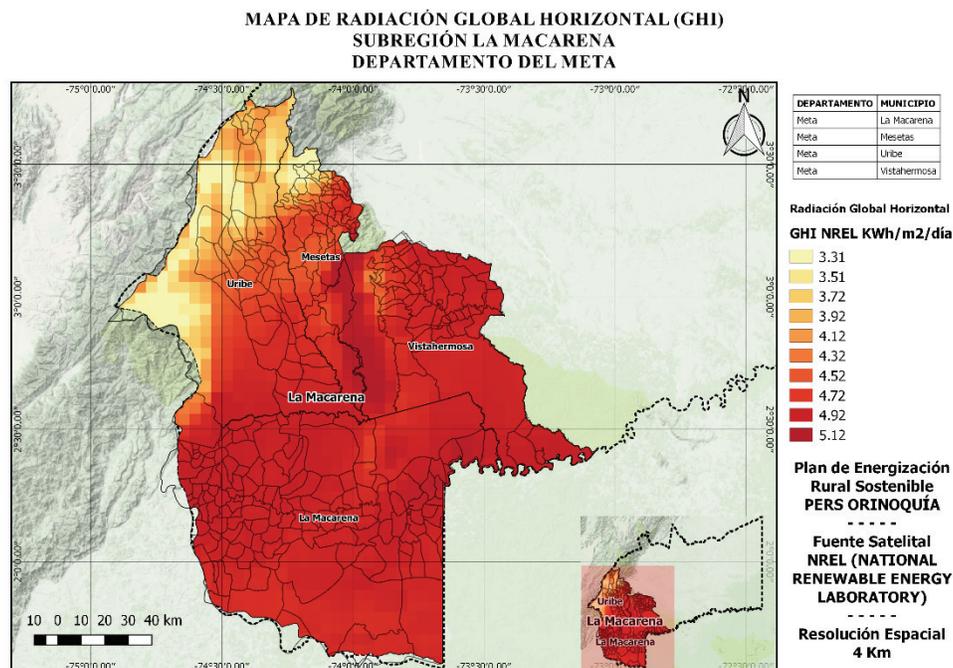
En la *Figura 29* se muestra el mapa de radiación global horizontal a partir de la base de datos de NREL, allí se puede observar el mismo comportamiento de radiación

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

que en los dos mapas anteriores. Por lo tanto el potencial solar más bajo se encuentra hacia la parte noroccidental de la subregión con valores que van desde los 3,3 a los 3,9 $kWh/m^2 - día$.

Para los municipios de Mesetas, Vistahermosa y La Macarena se encuentran los valores máximos de radiación con rangos que van desde los 4,5 a los 5,12 $kWh/m^2 - día$.

Figura 29. Subregión La Macarena - GHI NREL



Fuente. Datos obtenidos de NREL 2014.

2.8.7 Subregión Río Meta

- **Fuente Satelital 3TIER**

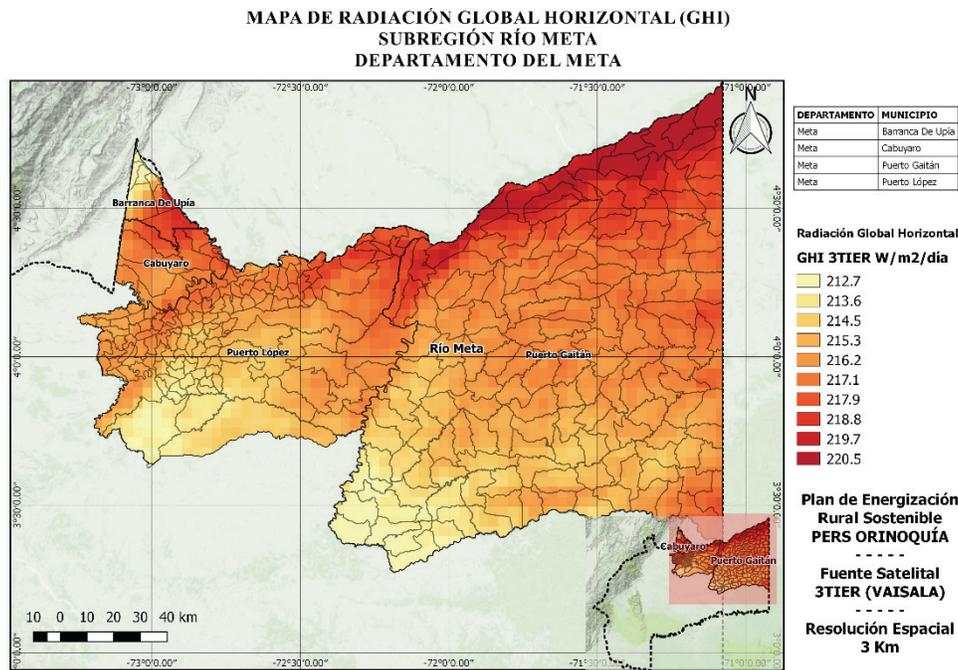
La subregión Río Meta está conformada por los municipios de Barranca de Upía, Cabuyaro, Puerto López y Puerto Gaitán, los cuales son recorridos por el Río Meta y es precisamente allí donde se presentan los mayor valores de potencia de radiación solar de acuerdo a la base de datos de VAISALA y como lo muestra la *Figura 30*.

Los valores máximos llegan a los $220,5 W/m^2 - día$, mientras que los valores mínimos presentes en la zona sur de los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán son de $212,7 W/m^2 - día$. En la mayor parte del territorio se presenta un rango de valores de potencia entre $215,3$ y $218,8 W/m^2 - día$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

80

Figura 30. Subregión Río Meta - GHI 3TIER



Fuente. Datos obtenidos de 3tier (VAISALA) 2016.

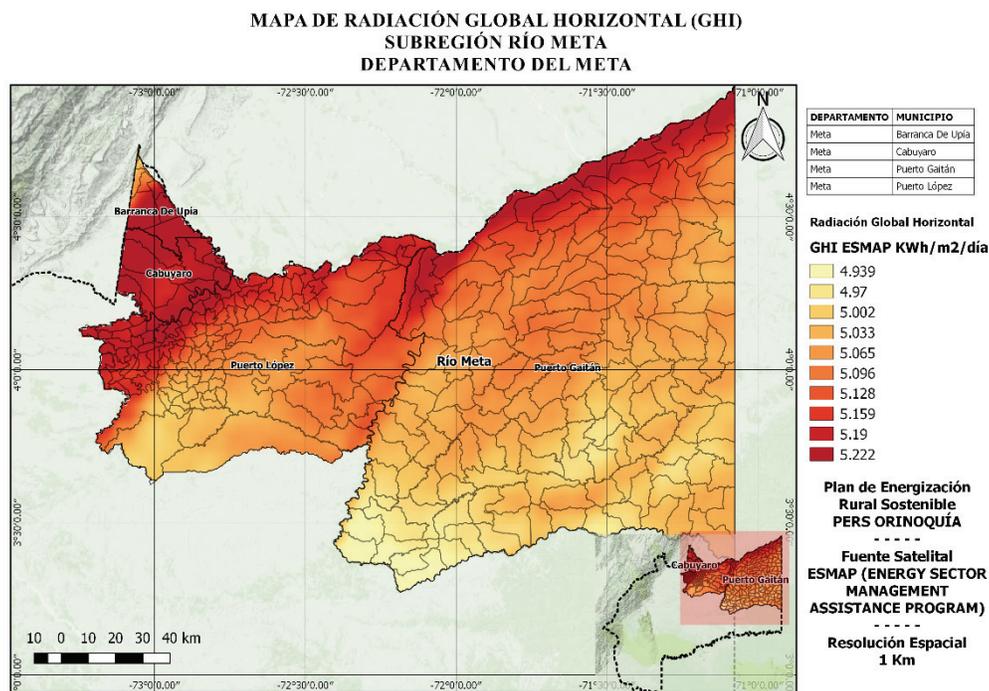
- **Fuente satelital ESMAP**

De acuerdo a la *Figura 31* que muestra el mapa de radiación global horizontal a partir de la base de datos ESMAPA, se observa un gran potencial energético especialmente en el municipio de Cabuyaro y Barranca de Upiá y en la ribera del río Meta en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, con un rango de valores entre los 5,12 y los 5,22 kWh/m² – día.

En la zona sur de esta subregión se presentan los valores mínimos de radiación, sin embargo estos valores se encuentran en un rango de 4,93 y 5,03 kWh/m² – día, los cuales son valores de radiación bastante aceptables para la implementación de proyectos que involucren paneles solares.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 31. Subregión Río Meta - GHI ESMAP



Fuente. Datos obtenidos de ESMAP 2015.

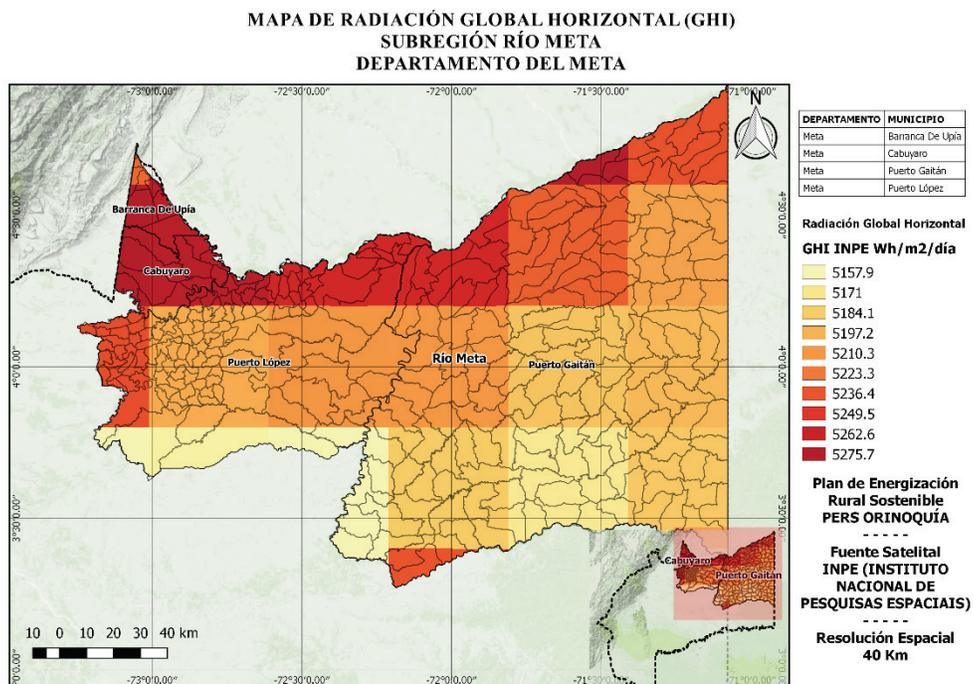
- **Fuente satelital INPE**

En la *Figura 32* se muestra el mapa de radiación global horizontal para la subregión Río Meta a partir de la base de datos INPE, primero que todo es necesario recalcar que el rango de valores de radiación se encuentra por encima de los $5100 \text{ Wh/m}^2 - \text{día}$ y la diferencia entre el valor máximo y el mínimo es de apenas $120 \text{ Wh/m}^2 - \text{día}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Al igual que el mapa anterior, se ubican los valores máximos en los municipios de Barranca de Upía, Cabuyaro y en la ribera del río Meta que pasa por los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán. Los valores mínimos de radiación se encuentran presentes en la zona sur de la subregión con $5157 \text{ Wh/m}^2 - \text{día}$.

Figura 32. Subregión Río Meta - GHI INPE



Fuente. Datos obtenidos de INPE 2005.

- **Fuente Satelital NREL**

El mapa de radiación global horizontal con la base de datos satelital de NREL nos muestra en la *Figura 33* valores de radiación similares a los evidenciados por

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

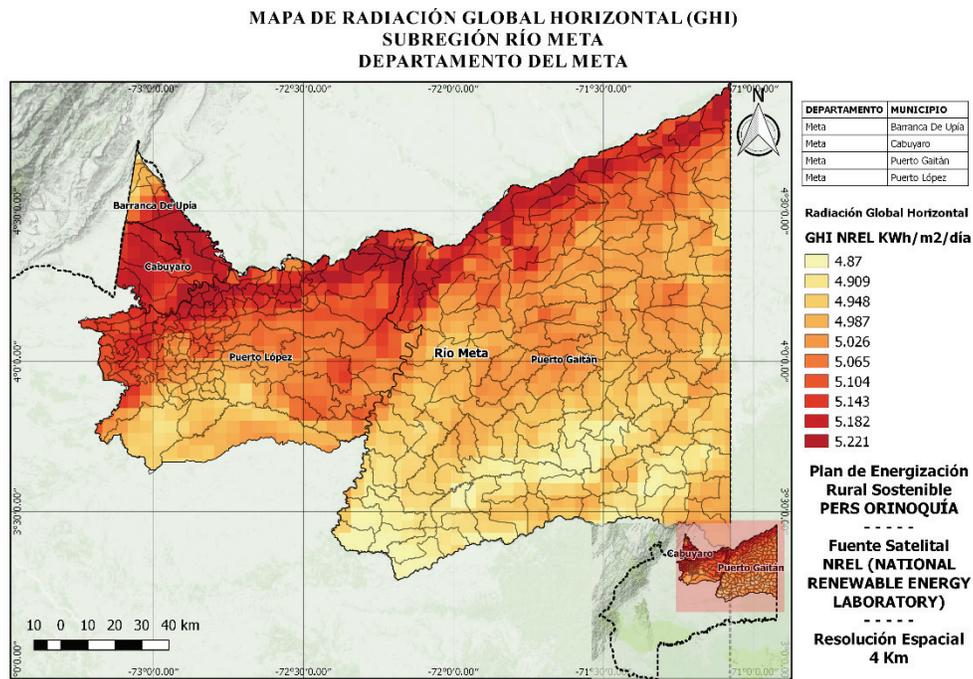
83

ESMAP e INPE. La radiación máxima se presenta en los municipios de Barranca de Upía y Cabuyaro con $5,22 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$, mientras que en la ribera del río Meta en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán se tienen valores de $5,15 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$.

Los valores mínimos de radiación se presentan en la zona sur de la subregión Río Meta con valores de $4,87$ a $5,02 \text{ kWh/m}^2 - \text{ día}$, los cuales son valores considerablemente altos para la aplicación de proyectos de energías renovables con paneles solares.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 33. Subregión Río Meta - GHI NREL



Fuente. Datos obtenidos de NREL 2014.

2.9 Mapa de radiación global horizontal propuesto para el Meta

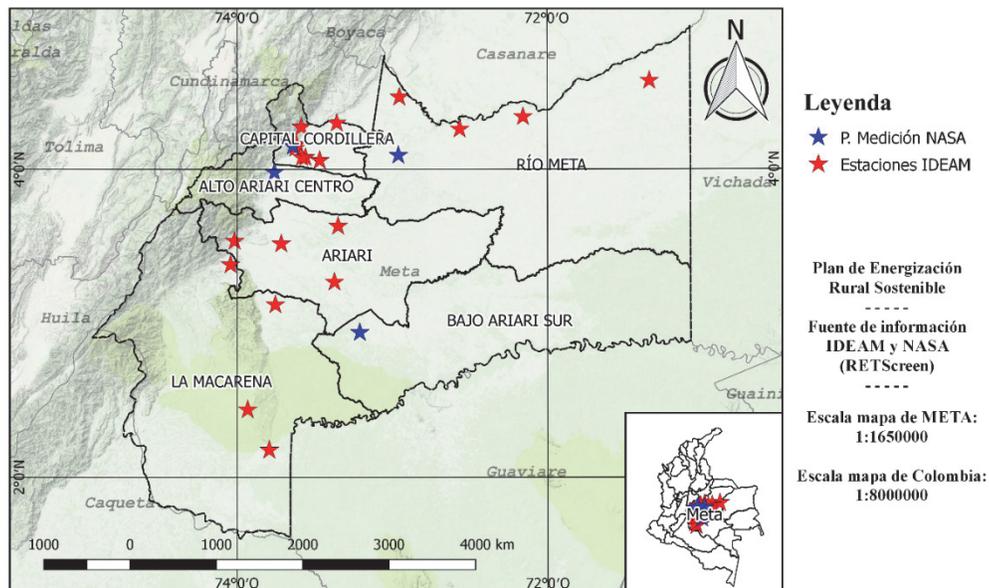
Para realizar la propuesta de mapa del PERS Orinoquía, se analiza la radiación global horizontal que incide sobre la totalidad del departamento del Meta por medio de un tratamiento cartográfico realizado con el software QGIS. A partir de los mapas de cada una de las subregiones elaborados con las bases de datos satelitales de INPE, NREL y ESMAP, se realizan dos procedimientos matemáticos, el primero consistente en determinar el promedio de los datos de cada mapa en la misma posición cartográfica, creando así un único mapa donde cada valor de radiación será el promedio de las tres bases de datos satelitales.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

El segundo método se llama Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW, por sus siglas en inglés), el cual consiste en determinar los valores en puntos desconocidos a partir de puntos de muestreo con valores conocidos, lo cual representa la *estimación de los valores de radiación global horizontal en los puntos espaciales del Meta donde no se cuenta con estaciones meteorológicas*, a partir de los valores de radiación de las fuentes satelitales en la localización geográfica de las estaciones existentes en el departamento.

Para ambos métodos, se toma como referencia la ubicación geográfica de cada estación meteorológica activa del IDEAM y los puntos de medición de la NASA identificados en el departamento del Meta, cuya ubicación se obtiene por medio del software de gestión de energía limpias RETScreen, como muestra la *Figura 34*.

Figura 34. Localización de estaciones del IDEAM y la NASA.



Fuente. Elaboración propia a partir de datos del IDEAM y NASA.

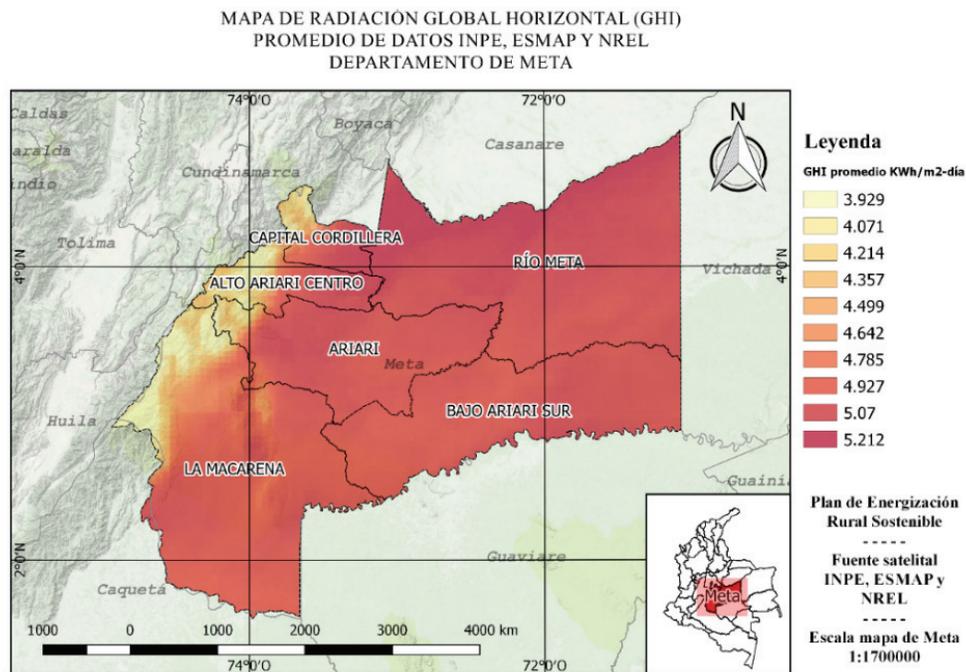
2.9.1 Método de promedio por valores de radiación global horizontal

Para validar la información de radiación global horizontal de las subregiones que cuentan con pocas estaciones del IDEAM, se realiza un mapa para el departamento de Meta a partir del promedio de los valores de GHI de los mapas recopilados de las fuentes satelitales INPE, NREL y ESMAP. Este método es realizado por medio de la herramienta de calculadora ráster integrada en el software QGIS, así se realiza el promedio de las capas ráster y se obtiene finalmente una capa con los valores promedio de GHI para el departamento del Meta.

En la *Figura 35* se muestra la capa ráster con los valores promedio de GHI de los datos de las fuentes satelitales, en la cual se puede apreciar que la superficie no es suave debido a la diferencia en la resolución espacial de cada capa ráster satelital.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 35. GHI con el método por promedio de fuentes satelitales



Fuente. Elaboración propia por medio del software QGIS.

En dicho mapa se presenta mayor influencia en el resultado de la capa ráster recopilada del INPE ya que esta tiene una resolución espacial de 40 km, abarcando un mayor número de píxeles con respecto a las otras capas ráster (ESMAP y NREL) al momento de realizar las operaciones para obtener el promedio.

2.9.2 Método de interpolación por distancia inversa ponderada

El método de ponderación estima la información de radiación global horizontal para la totalidad del departamento de Meta, se obtiene a partir de la interpolación espacial, mediante el software QGIS, a las capas ráster obtenidas de las fuentes satelitales INPE, ESMAP y NREL. Este proceso de interpolación utiliza un parámetro llamado *coeficiente de potencia* que determina la influencia entre los

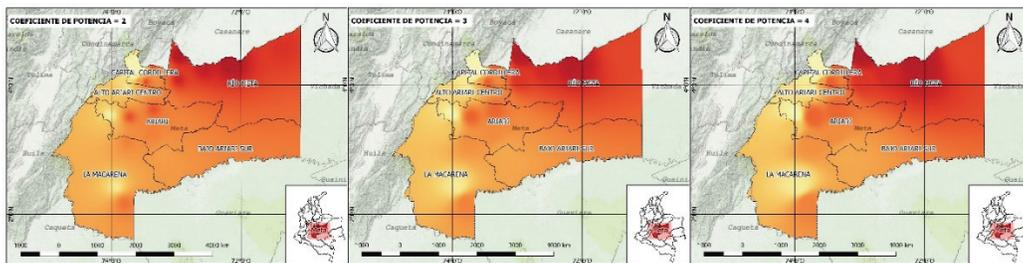
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

88

puntos conocidos y los valores interpolados de acuerdo a la distancia geográfica (coordenadas espaciales) entre ellos.

La herramienta establece por defecto un coeficiente de potencia igual a dos, sin embargo, se realiza la interpolación con coeficientes de dos, tres y cuatro con el fin de observar las características del resultado de cada interpolación. En la *Figura 36* se pueden observar los mapas resultantes.

Figura 36. Interpolación con coeficiente de dos, tres y cuatro



Fuente. Elaboración propia por medio del software QGIS.

La figura anterior muestra diferentes coeficientes de potencia para el método de interpolación por distancia inversa ponderada, se puede observar que a medida que el coeficiente de potencia es mayor, el área alrededor de cada punto de muestreo (estación del IDEAM o punto de medición de la NASA) se expande con mayor proporción, debido a que se les asigna mayor peso a los puntos más cercanos, por lo tanto, se produce un efecto de suavizado en la superficie.

Para la elección del mejor resultado de interpolación, se realiza un análisis estadístico a las capas ráster de cada mapa creado. En la *Tabla 5* se presentan las características de las capas ráster creadas, como el número de píxeles y la resolución espacial de cada una.

Tabla 5. Comparación y análisis estadístico de las capas ráster de interpolación

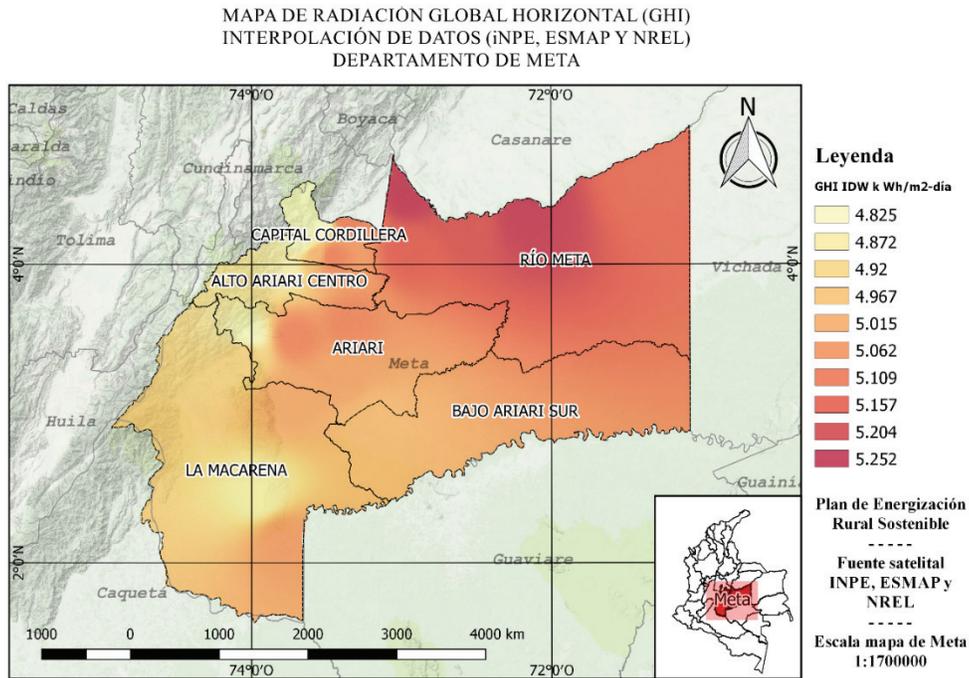
Coefficiente de potencia	Número de pixeles	Sumatoria	Media	Desviación estándar
2,00	31788	159609,29	5,02	0,07
3,00	32057	161335,51	5,03	0,09
4,00	32088	161716,59	5,04	0,10

Fuente. Elaboración propia por medio del software QGIS.

De acuerdo a los valores de la tabla anterior, el mapa creado con el coeficiente de potencia de dos tiene una resolución espacial menor, sin embargo, presenta la menor desviación estándar con respecto a los otros dos mapas. Los mapas de interpolación con coeficientes de tres y cuatro presentan características similares en cuanto a la resolución espacial y la desviación estándar.

Por tanto, la interpolación que permite una mejor validación de información para la radiación global horizontal se obtiene con el coeficiente de potencia de cuatro, como se muestra en la *Figura 37*. De esta manera podemos observar que la subregión Río Meta presenta los valores de radiación más altos con rangos que van desde los 5,15 a los 5,25 $kWh/m^2 - día$.

Figura 37. GHI por el método de interpolación



Fuente. Elaboración propia por medio del software QGIS.

La subregión Bajo Ariari Sur presenta valores de radiación en un rango de 4,96 a 5,15 $kWh/m^2 - día$. Para las subregiones Ariari, Alto Ariari Centro y La Macarena se observa un comportamiento similar con valores de radiación en los rangos de 4,92 a 5,06 $kWh/m^2 - día$. En cuanto a la subregión Capital Cordillera, aunque presenta el potencial de radiación solar más bajo en la zona norte a la altura de la cordillera oriental, el valor es de 4,825 $kWh/m^2 - día$, valor que es suficiente para la implementación de proyectos de energías renovables alimentados por medio de paneles solares.

2.10 Resultados

Aunque el departamento del Meta cuenta con 20 estaciones meteorológicas del IDEAM de interés para el análisis del potencial solar, las subregiones Bajo Ariari Sur y La Macarena no cuentan con información meteorológica actualizada sobre horas de brillo solar y radiación global horizontal. La subregión Alto Ariari Centro solo cuenta con 3 estaciones activas, la subregión Río Meta no cuenta con estaciones en la totalidad de los municipios que la componen. Mientras que las subregiones Ariari y Capital Cordillera cuentan con la mayor cantidad de estaciones de intereses, concentradas especialmente en la capital Villavicencio.

Al no contar con información de interés para el análisis del potencial solar en cada una de las subregiones, se valida la información de radiación con los puntos de medición de la NASA que se encuentran ubicadas en el departamento y con la información de las fuentes satelitales del IRENA que nos permite obtener un mapa del promedio multianual de radiación global horizontal para cada una de las subregiones.

El departamento cuenta con un período de verano bastante marcado en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, con un promedio de horas de brillo solar por encima de las 6 horas diarias llegando a alcanzar las 9 horas diarias en algunos casos, las octas de nubosidad obtenidas de las estaciones del IDEAM muestran la tendencia de cielos despejados. En los meses de marzo, abril, mayo, junio y julio se presenta el período de invierno con gran presencia de lluvias y lecturas de nubosidad con cielos nublados y totalmente cubiertos, registrando un promedio de 4 horas de brillo solar en la mayoría del territorio, teniendo casos como el de la Serranía de la Macarena con dos horas diarias.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

92

En la *Figura 37* se muestra el mapa propuesto por el PERS ORINOQUÍA a partir de la validación y análisis de microzonificación realizado a partir de las fuentes satelitales, en el mapa se observa un rango promedio que va de los 4,8 a 5,2 $kWh/m^2 - día$. Lo cual demuestra el alto potencial que posee el departamento para la implementación de proyectos de energías renovables a partir del aprovechamiento de la energía solar con paneles solares.

La subregión Río Meta demuestra el mayor potencial de radiación global horizontal y horas de brillo solar diarias, especialmente en los municipios de Cabuyaro, Puerto López y Puerto Gaitán, los cuales conforman la denominada región de altillanura que ha sido denominada como la dispensa agrícola de Colombia. Por lo cual es importante enfocar proyectos de generación de energía para la transformación y generación de valor agregado para los productos agrícolas presentes en dichos municipios.

A pesar de la nula información entregada por las estaciones meteorológicas del IDEAM en la subregión Bajo Ariari Sur, al realizar las validaciones y el análisis de microzonificación con la información de la NASA y de las bases de datos satelitales, encontramos que dicha subregión también cuenta con un potencial solar de radiación global horizontal bastante elevado con un promedio de 5 $kWh/m^2 - día$.

Las zonas que presentan un potencial solar bajo para el departamento del Meta son la parte norte del municipio de Uribe donde se encuentra el Parque Nacional Natural de Sumapaz donde predomina el clima de páramo y donde el estado de las vías permite un mejor acceso desde Bogotá DC. Igualmente la Serranía de La Macarena también presenta un potencial solar bajo, debido a las pocas horas de brillo solar diarias disponibles.



**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

3. POTENCIAL HIDROENÉRGETICO

La gran riqueza hídrica del territorio colombiano obedece a su ubicación geográfica y la influencia de factores como la circulación atmosférica, la topografía, la interacción entre la tierra y el mar y la influencia de las zonas selváticas (UPME, Atlas del potencial hidroenergético de Colombia, 2015); esta abundancia hídrica se manifiesta a través de una extensa red fluvial superficial, la existencia de cuerpos de agua lenticos y la presencia de enormes extensiones de humedales (IDEAM, 2001).

En el departamento del Meta debido a la presencia de la cordillera y la serranía de La Macarena se produjo la formación de un gran recurso hídrico que posee varios de los ríos más largos y caudalosos del país, muchos de ellos buscando las cuencas del río Orinoco y del Amazonas. Entre los ríos que más destacan se encuentran Gabarra, Duda, Manacacías, Yucao, Guatiquía, Guayuriba, Ariari, Guacavía, Guaviare y el río Meta (Contraloría departamental del Meta, 2013).

En la cordillera Oriental existen además accidentes como el páramo de Sumapaz, la serranía de Camuza y la cordillera de los Picachos, donde nacen la mayoría de los ríos que atraviesan el territorio. Esta cordillera tiene gran importancia, pues en su extensión de 4.477 km² se encuentran diferentes ecosistemas que favorecen la formación de cascadas de hasta 300 m de altura (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2012).

La ubicación geográfica del departamento está establecida en la Zona de Confluencia Intertropical haciendo que los vientos alisios del noreste y del sureste creen en la región un régimen de precipitación monomodal con periodos de lluvias entre abril y noviembre y una época de sequía entre diciembre y abril (IDEAM, 2014). Anualmente, sobre el piedemonte llanero las precipitaciones ascienden a los



**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

95

4000mm, hacia el centro del territorio las lluvias alcanzan los 3000mm y en el noroccidente se encuentra la zona con menores precipitaciones con un promedio de 2500mm (IDEAM).

3.1 Metodología de análisis

La primera fase de la metodología para la estimación del potencial hidroenergético es la identificación de las estaciones meteorológicas en tierra disponibles del IDEAM y de otras entidades. Posteriormente se procede con la descripción de los cuerpos de agua presente en cada una de las subregiones del departamento.

Adicionalmente se recopilan los datos de promedio multianual y mensual multianual de la precipitación, el cual es el parámetro climatológico de interés ya que brinda información sobre la variación del caudal de los diferentes cuerpos de agua identificados.

En la segunda fase se elaboran gráficas y mapas de la caída hidráulica para cada subregión del departamento, con longitudes horizontales (LC), entre el punto de captación y las turbinas con valores de 200 metros, 1 y 5 kilómetros. Por medio de un tratamiento de la información por medio de sistemas de información geográfica se determina las regiones con mayor potencial para la generación de energía eléctrica.

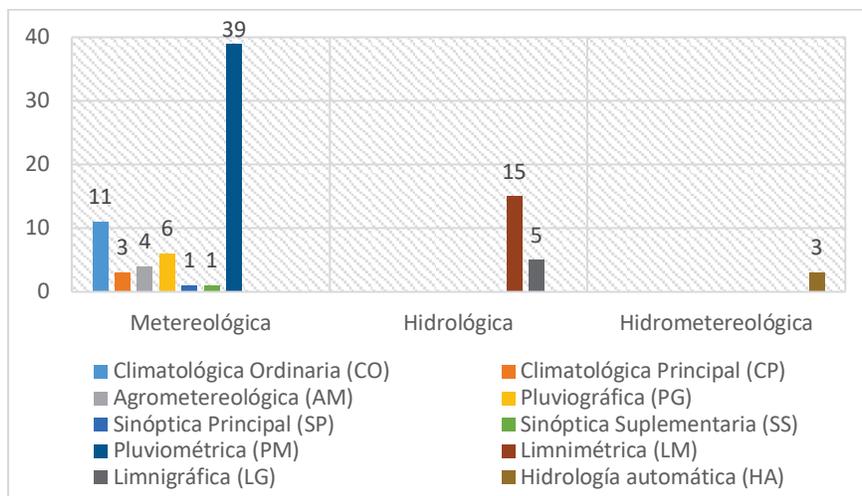
Por último, gracias a los datos del atlas de potencial hidroenergético de Colombia realizado por la UPME, se proponen dos mapas que permiten identificar el potencial disponible a pequeña escala (5 kW – 20 MW) y gran escala (20 MW – 50 MW) por cada subcuenca para el departamento del Meta. Adicionalmente los mapas identifican puntos geográficos donde podrían implementarse proyectos para pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH).

3.2 Estaciones meteorológicas de potencial hídrico en el Meta

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

El IDEAM tiene disponible información de 149 estaciones meteorológicas de las cuales 89 se encuentran activas, 59 inactivas y 1 en estado FSR. Este tipo de estaciones permite obtener datos sobre el nivel de agua, precipitación, la cantidad, duración, intensidad y periodo en que han ocurrido las lluvias, entre otros parámetros que pueden permitir un análisis posterior sobre el posible potencial hidroenergético de cada región. Estos datos se encuentran clasificados según el catalogo del IDEAM en estaciones de tipo hidrológicas (HID), hidrometeorológicas (HDM) y meteorológicas (MET), en la *Gráfica 28* se muestra la cantidad de estaciones que se encuentran activas en el departamento del Meta y sus respectivas categorías.

Gráfica 28. Clases y categorías de estaciones de interés hídrico

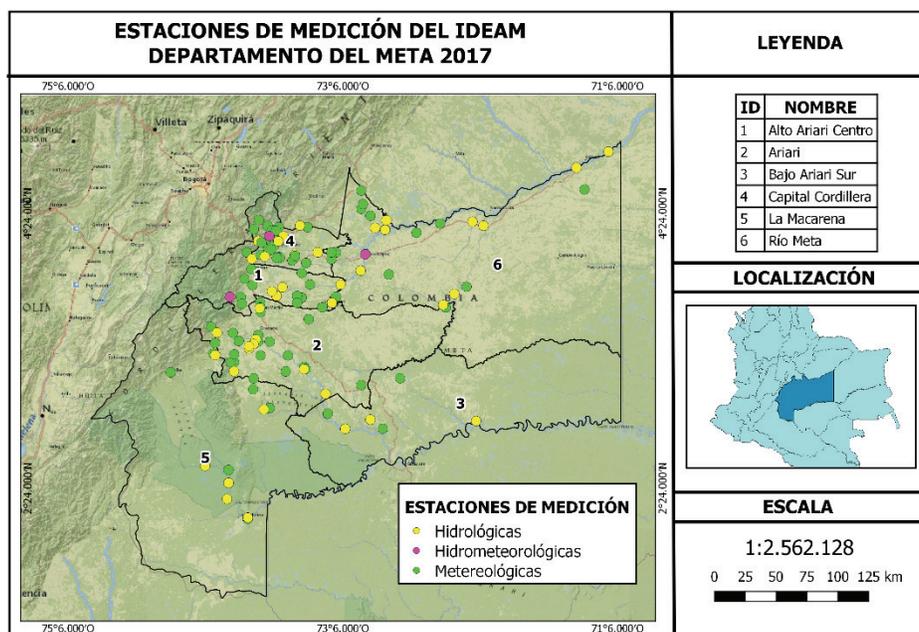


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de las estaciones del IDEAM.

En la ubicación de las estaciones se evidencia que hay una mayor concentración de estaciones meteorológicas en las subregiones Ariari, Alto Ariari Centro y Capital Cordillera, las estaciones hidrológicas están distribuidas de manera

que existen al menos dos por subregión y las estaciones hidrometeorológicas están ubicadas de la siguiente manera: una de ellas está en la subregión Alto Ariari Centro sobre el río Ariari en el municipio de Cubarral, otra en la Capital Cordillera sobre el río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio y la última en la subregión Río Meta sobre el río Metica en el municipio de Puerto López. En la *Figura 38* se observa su distribución.

Figura 38. Mapa de las estaciones meteorológicas activas



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

3.2.1 Estaciones de medición en la subregión Ariari

En la subregión del Ariari hay 18 estaciones de las cuales 11 pertenecen a la categoría pluviométrica, una es Limnigráfica, dos son Limnimétricas y cuatro son climatológicas ordinarias, estas se detallan en la *Tabla 6*. En el municipio de San

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

99

Juan de Arama las estaciones en su mayoría están sobre el río Güejar, tan solo una estación y junto con las de Lejanías y El Castillo están sobre el río Guape; en los municipios de Granada y Puerto Lleras existen cuatro estaciones ubicadas sobre el río Ariari, en San Martín hay tres estaciones de las cuales dos están sobre el caño Camoa y una sobre el río Humadea, finalmente, en el municipio de Fuente de Oro las estaciones están sobre los caños Blanco e Irique.

Tabla 6. Estaciones del IDEAM en la Subregión Ariari

Código	Nombre	Clase	Categoría	Corriente	Municipio
32070030	Micos Los	Met	Pluviométrica	Güejar	San Juan De Arama
32070090	Peñas Blancas	Met	Pluviométrica	Güejar	San Juan De Arama
32070100	San Juan De Arama	Met	Pluviométrica	Güejar	San Juan De Arama
32070120	Mesa De Fernández	Met	Pluviométrica	Ariari	San Juan De Arama
32077100	Peñas Blancas	Hid	Limnigráfica	Güejar	San Juan De Arama
32077110	El Limón	Hid	Limnimétrica	Güejar	San Juan De Arama
32060090	Lejanías Castillo	Met	Pluviométrica	Guape	Lejanías
32065010	Lejanías	Met	Climatológica Ordinaria	Guape	Lejanías

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

100

32060020	Mesa de Yamanes	Met	Pluviométrica	Guape	El Castillo
35010090	San Martín	Met	Pluviométrica	Cno Camoa	San Martín
35015050	Barbasal	Met	Climatológica Ordinaria	Humadea	San Martín
35017090	Pte Camacho	Hid	Limnimétrica	Cno Camoa	San Martín
32070020	Caño Blanco	Met	Pluviométrica	Caño Blanco	Fuente De Oro
32070060	Fuente De Oro	Met	Pluviométrica	Cno Irique	Fuente De Oro
32070110	Aguas Claras	Met	Pluviométrica	Ariari	Granada
32075040	Holanda La	Met	Climatológica Ordinaria	Ariari	Granada
32070080	Tierra Grata	Met	Pluviométrica	Ariari	Puerto Lleras
32075080	Pto Lleras	Met	Climatológica Ordinaria	Ariari	Puerto Lleras

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

3.2.2 Estaciones de medición en la subregión Bajo Ariari Sur

En la subregión Bajo Ariari Sur existen cinco estaciones: dos limnimétricas y tres pluviométricas, como se muestra en la *Tabla 7*. La estación hidrológica Puerto Rico está ubicada en municipio del mismo nombre y sobre el río Ariari y la estación de igual categoría se encuentra en Mapiripan sobre el río Guaviare. De las tres estaciones restantes uno pertenece a Puerto Rico y dos a Mapiripan.

Tabla 7. Estaciones de la Subregión Bajo Ariari Sur

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CLASE	CATEGORIA	CORRIENTE	MUNICIPIO
32077080	Pto Rico	Hid	Limnimétrica	Ariari	Puerto Rico
32080010	Pto Rico	Met	Pluviométrica	Ariari	Puerto Rico
32090010	Mapiripan	Met	Pluviométrica	Guaviare	Mapiripan
32097010	Mapiripan	Hid	Limnimétrica	Guaviare	Mapiripan
32120010	San Ignacio	Met	Pluviométrica	Siare	Mapiripan

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

3.2.3 Estaciones de medición en la subregión Alto Ariari Centro

La siguiente subregión cuenta con 11 estaciones cuyas categorías son hidrológica automática pluviométrica y limnimétrica. Sobre el río Ariari se encuentran ubicadas todas las estaciones pertenecientes al municipio de Cubarral y el Dorado, en los ríos Metica y Guamal hay dos estaciones que corresponden San Carlos de Guaroa, en el municipio de Guamal las estaciones se ubican sobre el río del mismo nombre, en Castilla la Nueva sobre el caño Guaroa y finalmente en el municipio de Acacias las estaciones se ubican en los ríos Acacias y Orotoy, todas estas estaciones se encuentran registradas en la *Tabla 8*.

Tabla 8. Estaciones del IDEAM en la subregión Alto Ariari Centro

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CLASE	CATEGORIA	CORRIENTE	MUNICIPIO
32060030	San Luis Cubarral	Met	Pluviométrica	Ariari	Cubarral

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

102

32060100	Puerto Angosturas	Met	Pluviométrica	Ariari	Cubarral
32067030	Pto Angosturas	Hmt	Hidrológica Automática	Ariari	Cubarral
32060060	Calime	Met	Pluviométrica	Ariari	El Dorado
35010150	Yaguarito	Met	Pluviométrica	Acacias	San Carlos De Guaroa
35017040	Barro El	Hid	Limnimétrica	Metica	San Carlos De Guaroa
35010040	Caño Hondo	Met	Pluviométrica	Guamal	Guamal
35010070	Guamal	Met	Pluviométrica	Guamal	Guamal
35010060	Toro El	Met	Pluviométrica	Cno Guaroa	Castilla La Nueva
35010020	Acacias	Met	Pluviométrica	Acacias	Acacias
35017070	Rancho Alegre	Hid	Limnimétrica	Orotoy	Acacias

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

3.2.4 Estaciones de medición en la subregión Río Meta

Como se muestra en la *Tabla 9*, la subregión Río Meta cuenta con 19 estaciones y sus categorías son: climatológica ordinaria, pluviométrica, limnimétrica, limnigráfica, hidrológica automática y agrometeorológica. En su mayoría las estaciones se encuentran en los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, sobre los ríos Manacacías, Metica, Meta, Yucao y Caño Melua.

Tabla 9. Estaciones del IDEAM en la subregión Río Meta

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CLASE	CATEGORIA	CORRIENTE	MUNICIPIO
---------------	------------------------	--------------	------------------	------------------	------------------

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

103

33035010	Carimagua	Met	Climatológica Ordinaria	Muco	Puerto Gaitán
35120010	Pto Gaitán	Met	Pluviométrica	Manacacías	Puerto Gaitán
35127010	Pto Gaitán	Hid	Limnimétrica	Manacacías	Puerto Gaitán
35127030	Esperanza La	Hid	Limnimétrica	Manacacías	Puerto Gaitán
35105050	Guaicaramo	Met	Climatológica Ordinaria	Upía	Barranca De Upía
35010010	Pto López	Met	Pluviométrica	Metica	Puerto López
35010080	Nare	Met	Pluviométrica	Cno Nare	Puerto López
35010230	Bajo Nare	Met	Pluviométrica	Metica	Puerto López
35017020	Pte Lleras Automática	Hmt	Hidrológica Automática	Meta	Puerto López
35117010	Humapo	Hid	Limnigráfica	Meta	Puerto López
35125010	Margaritas Las Hda	Met	Climatológica Ordinaria	Yucao	Puerto López
35127020	Camp Yucao	Hid	Limnigráfica	Yucao	Puerto López
35130010	Plata La	Met	Pluviométrica	Cno Melua	Puerto López
35137010	Cejalito	Hid	Limnimétrica	Cno Melua	Puerto López
35180030	Fundo Nuevo Humapo	Met	Pluviométrica	Meta	Puerto López
35185010	La Palomera Automática	Met	Agrometeorológica	Meta	Puerto López
35100020	Cabuyaro	Met	Pluviométrica	Meta	Cabuyaro
35107010	Pte Cabuyarito	Hid	Limnimétrica	Cabuyarito	Cabuyaro
35107030	Cabuyaro	Hid	Limnimétrica	Meta	Cabuyaro

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

3.2.5 Estaciones de medición en la subregión La Macarena

En la subregión La Macarena hay 12 estaciones: pluviométrica (5), climatológica principal (1), climatológica ordinaria (1), limnimétrica (2) y limnigráfica (1), ver *Tabla 10*.

Tabla 10. Estaciones del IDEAM en la subregión La Macarena

CODIGO	NOMBRE ESTACIÓN	CLASE	CATEGORÍA	CORRIENTE	MUNICIPIO
32030020	Raudal Uno	Met	Pluviométrica	Guayabero	La Macarena
32035010	Macarena La	Met	Climatológica Principal	Guayabero	La Macarena
32035020	Balsora La	Met	Climatológica Ordinaria	Guayabero	La Macarena
32037010	Balsora La	Hid	Limnimétrica	Guayabero	La Macarena
32037030	Macarena La	Hid	Limnigráfica	Guayabero	La Macarena
32070010	Campo Alegre	Met	Pluviométrica	Güejar	Vistahermosa
32070040	Pinalito	Met	Pluviométrica	Ariari	Vistahermosa
32075030	Vista Hermosa	Met	Climatológica Ordinaria	Güejar	Vistahermosa
32077070	Pinalito	Hid	Limnimétrica	Güejar	Vistahermosa
32010010	Mariposa La	Met	Pluviométrica	Guayabero	Uribe
32020020	Uribe La	Met	Pluviométrica	Duda	Uribe

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

105

32075050 Mesetas Met Climatológica Ordinaria Güejar Mesetas

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

3.2.6 Estaciones de medición en la subregión Capital Cordillera

Finalmente, de acuerdo a la *Tabla 11*, en la subregión Capital Cordillera hay 24 estaciones, cuyas categorías son: pluviográfica (6), pluviométrica (5), agrometeorológica (3), limnimétrica (3), limnigráfica (1), climatológica ordinaria (1), climatológica principal (2), hidrología automática (1), sinóptica secundaria (1), sinóptica principal (1).

Tabla 11. Estaciones del IDEAM en la subregión Capital Cordillera

CODIGO	NOMBRE ESTACION	CLAS E	CATEGORIA	CORRIENTE	MUNICIPIO
35030010	Calvario El	Met	Pluviográfica	Chingaza	El Calvario
35030020	Monfort	Met	Pluviométrica	Chingaza	El Calvario
35030090	Buenavista	Met	Pluviográfica	Upín	Restrepo
35035110	Salinas De Upin	Met	Agrometeorológica	Upín	Restrepo
35057040	Pte Carretera	Hid	Limnimétrica	Rio Salinas	Restrepo
35045020	Cabaña La Hda	Met	Climatológica Ordinaria	Guacavia	Cumaral
35047030	Pte Carretera	Hid	Limnimétrica	Guacavia	Cumaral
35020060	Pompeya	Met	Pluviométrica	Negro	Villavicencio
35025020	Libertad La	Met	Climatológica Principal	Negro	Villavicencio

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

106

35025110	La Libertad Automatica	Met	Agrometeorológica	Negro	Villavicencio
35027140	Pte Carretera -	Hid	Limnigráfica	Guayuriba	Villavicencio
35030030	Sena	Met	Pluviográfica	Guatiquía	Villavicencio
35030040	Acdto La Esmeralda	Met	Pluviográfica	Guatiquía	Villavicencio
35030050	Ojo De Agua	Met	Pluviométrica	Ocoa	Villavicencio
35030100	Alcaldia	Met	Pluviográfica	Guatiquía	Villavicencio
35030290	Servita	Met	Pluviográfica	Guatiquía	Villavicencio
35030370	Ica V/Cio	Met	Pluviométrica	Agua Lluvia	Villavicencio
35030380	IDEAM V/Cio	Met	Pluviométrica	Guatiquía	Villavicencio
35035010	Base Aérea Apiay	Met	Sinóptica Secundaria	Ocoa	Villavicencio
35035020	Apto Vanguardia	Met	Sinóptica Principal	Guatiquía	Villavicencio
35035070	Unillanos	Met	Climatológica Principal	Guatiquía	Villavicencio
35035100	Ica Villavicencio	Met	Agrometeorológica	Agua Lluvia	Villavicencio
35037100	Pte Abadía Automática	Hmt	Hidrología Automática	Guatiquía	Villavicencio
35037130	Pte Del Amor	Hid	Limnimétrica	Ocoa	Villavicencio

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

3.2.7 Estaciones de medición de otras entidades

Existen además del IDEAM otras fuentes generadoras de datos ambientales (FGDA) como la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), el Centro Nacional de

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

107

Investigaciones de Café (CENICAFE), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y la Corporación Autónoma Regional (CAR) quienes han instalado estaciones de medición en el departamento del Meta con el objetivo de tener programas de observaciones meteorológicas para proyectos específicos (IDEAM, 2007).

Como se resume en la *Tabla 12* existe una estación de medición en la subregión Ariari sobre el municipio de Lejanías y pertenece al Centro Nacional de Investigaciones de Café.

Tabla 12. Estaciones de otras entidades en la subregión Ariari

CODIGO	NOMBRE	CLASE	CATEGORIA	MUNICIPIO
32075501	Lejanías	Met	Climatológica Principal	Lejanías

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

En la subregión Ariari Centro hay presencia de 6 estaciones, en su mayoría de categoría pluviométrica. En la *Tabla 13* se presenta la información con mayor detalle.

Tabla 13. Estaciones de otras entidades en la subregión Ariari Centro

CODIGO	NOMBRE	CLASE	CATEGORIA	CORRIENTE	MUNICIPIO
35010110	Sta Helena	Met	Pluviométrica	Metica	San Carlos De Guaroa
32067010	Alemania	Hid	Limnimétrica	Nevado	Guamal

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

108

35010100	Villa Priscila	Met	Pluviométrica	Acacias	Guamal
35010140	Primavera La	Met	Pluviométrica	Guamal	Guamal
35010030	Montelibano	Met	Pluviométrica	Acacias	Acacias
35020040	Maringa	Met	Pluviométrica	Negro	Acacias

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

Finalmente, en la subregión Capital Cordillera la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) posee 11 estaciones de medición activas distribuidas de la siguiente manera: existen dos de categoría pluviométrica y una climatológica principal en el municipio de San Juanito y ocho limnimétricas en el Calvario, como se muestra en la *Tabla 14*.

Tabla 14. Estaciones de otras entidades en la subregión Capital Cordillera

CODIGO	NOMBRE	CLASE	CATEGORIA	CORRIENTE	MUNICIPIO
35030300	San Juanito Pvm	Met	Pluviométrica	San Juanito	San Juanito
35030310	Quebrada Blanca	Met	Pluviográfica	San Juanito	San Juanito
35035120	San Juanito	Met	Climatológica Principal	Guatiquía	San Juanito
35037060	Unión La	Hid	Limnimétrica	Qda La Chula	El Calvario
35037090	Centro	Hid	Limnimétrica	Qda Guajaro	El Calvario
35037120	Guadual El	Hid	Limnimétrica	Qda Guadual	El Calvario
35037170	Carmen El	Hid	Limnimétrica	Qda Blanca	El Calvario
35037180	San Luis	Hid	Limnimétrica	Guatiquía	El Calvario

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

109

35037190	Ye La	Hid	Limnimétrica	Qda Morena	El Calvario
35037200	Nacimiento	Hid	Limnimétrica	Guajaro	El Calvario
35037210	Nacimiento 2	Hid	Limnimétrica	Guajaro	El Calvario

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

3.3 Recurso hídrico en el departamento del Meta

La malla hídrica del departamento del Meta se caracteriza por ser de la clase Dendrítica debido al relieve particular de cordillera y serranía, cuenta con una variedad de ríos, caños y quebradas, que hacen al departamento un lugar estratégico a nivel nacional e internacional. Posee la cuenca del río Meta, que además de ser la más extensa de la Orinoquia, capta y drena el 60% de las aguas que bañan el departamento y cubre el norte y el oriente del Departamento.

La red hidrográfica del Departamento presenta procesos de deterioro debido a deforestaciones (extracción de madera y leña), la ampliación de la frontera agropecuaria y al uso equivocado del suelo, sumado al uso ineficiente del agua por parte de los ciudadanos (consumo excesivo y falta de sistemas de control). (Meta, 2016 - 2019)

El departamento cuenta con seis principales cuencas hidrográficas, ver *Tabla 15*, las cuales se abastecen de un gran número de caños, cañadas y ríos de menor amplitud. Su más importante cuenca es el Río Meta se encuentra conformada por la totalidad del territorio de los municipios de San Juanito, El Calvario, Restrepo, Cumaral, Villavicencio, Barranca de Upía, Cabuyaro, Puerto López, San Martín, San Carlos de Guaroa y Castilla la Nueva, y por parte de los municipios de Acacias, Guamal, Fuente de oro, Granada, Cubarral, Puerto Lleras y Puerto Gaitán, en una

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

110

extensión superficial aproximada de 36.954 Km². Además, en su recorrido pasa por los departamentos de Casanare y Vichada.

Existe servicio de transporte fluvial por el río Meta y sus afluentes durante ocho meses del año, aproximadamente, pero en épocas de verano el río sólo es transitable por embarcaciones de bajo calado.

Tabla 15. Principales cuencas del departamento del Meta

Número	Cuencas
1	Río Meta
2	Alto Guaviare
3	Medio Guaviare
4	Río Tumo
5	Río Vichada
6	Río Apaporis

Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IGAC 2012

El departamento cuenta con una gran cantidad de zonas hidrográficas las cuales tiene un gran número de cuerpos de agua como se detalla en la *Tabla 16*.

Tabla 16. Zona hidrográfica del departamento del Meta

Zona Hidrográfica	No. Cuerpos de agua pertenecientes	Zona Hidrográfica	No. Cuerpos de agua pertenecientes
Río Humadea	12	Río Guarrojo	2

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

111

Río Iteviare	4	Río Guatiquía	14
Río Macarena	10	Río Guavio	2
Río Melúa	6	Río Guayabero	6
Río Muco	2	Río Guayuriba	14
Río Negro	4	Río Güejar	12
Río Siare	2	Alto Guaviare	10
Río Sumapaz	4	Alto Río Tomo	2
Río Tunia	2	Alto Río Uvá	2
Río Túa	8	Alto Vichada	6
Río Upía	4	Alto Yará	2
Río Yucao	4	Cao Cumaral	2
Río Ajaju	2	Medio Guaviare	8
Río Ariari	42	Río Losada	4
Río Cabrera	2	Río Metica	34
Río Caguan Alto	4	Caño Guanápalo	2
Río Camuya	2	Directos Río Metica	12
Río Cusiana	2	Directos Meta	2
Río Guacavía	10	Directos al Río Meta	12
Río Guape	12	-	-

Fuente. Elaboración propia con datos tomados de la Ficha departamental del Meta 2017.

3.3.1 Descripción del recurso hídrico en la subregión Ariari

La subregión del Ariari posee un gran potencial hídrico con influencia en la cuenca del Río Ariari que nace en el páramo del Sumapaz alcanzando una longitud

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

112

aproximada de 290 km. Gran parte de sus cuerpos de aguas son abastecedores de los acueductos municipales y además recorren predios aptos para la ganadería y la agricultura. En la *Tabla 17* se detallan los principales ríos, caños y quebradas de la subregión.

Tabla 17. Recurso hídrico de la subregión del Ariari

Municipio	Ríos	Caños	Quebradas
San Juan de Arama	Güejar	Cunimia, Macanal, Pepiral, Morichera, Loco, Chule, Perichá, Unumal, Pedroza, Lavaplatos, Candelaria, Mojicón, El Paso, Carrillo, Rondón, Macanal, Malpaso, Acacias, Uricacha, Piñigua, Claro, Guamalito, La Lojosa, Tigre, Montealto, Mirador, Los Machos.	La Honda
El Castillo	Ariari, El Guape	Afluentes: La Cal, Cumaral, Urimes, Pereira, Brasil, Dulce, Yamanes	La Cristalina y Sardinata
San Martín	Meta, Guaviare, Ariari	Iraca, Congo, Cumaral, Melua, Humadea, Camoa, Maracaibo, Rubiano, Nare, Negrito, Viso Largo, Camoa, Guamal, Manacacias	
Lejanías	Ariari, Duda, Güejar, Bravo, Guape, Cafre, Lucia, Azul, Tonda	Blanco, Negro, Guamural	Grande, Las dos P, Volcana, Honda, Sonora
Fuente de Oro	Ariari	Upin, Guanayas, cural, Irique, Iraca, Curalito, Guadalito, Urichare, Uricacha, Adorote,	

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

113

		Venado, Arrecifes, Adorotes, Blanco, Garrapato, Labrador	
Granada	Ariari, Urumes, Guape	Venado, Mucuya, Guanayas, Uricharre, Blanco Clavelino, Cural, Curalito, Gualas, Milagro, Sardinata, rojo	Afl: Guape, Cubillera

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2 Descripción del recurso hídrico en la subregión Bajo Ariari Sur

La subregión del sur del departamento es una zona plana de sabanas y bosques, cobija la zona de influencia de los ríos Ariari y Guaviare. Cuenta con un gran número cuerpos de agua que favorecen la oferta agrícola y pesquera con la que cuentan los municipios que conforman esta subregión. En la *Tabla 18* se detalla el principal recurso hídrico de los municipios que conforman la subregión.

Tabla 18. Recurso hídrico de la subregión Bajo Ariari Sur

Municipio	Ríos	Caños	Quebradas
Mapiripan	Ariari, Iteviare, Manacacias, Siare, Mielon, Jabon	Victoria, Brisas, Casiquiare, Canapure	
Puerto Rico	Ariari, Guejar, Bajo Guaviare, Guayabero	Cabra, Cafre, Blanco, Chivecha, San Vicente, Yamú, Poroiro, Limón, Gringo, Ceiba, Carbón, Alfa	
Puerto Concordia	Guviare, Duda, Ariari, Guayabero, Papaneme, La Reserva,	Marimba, Cafre, Blanco, Hondo, Ceiba, Carbón, La Lindosa, Reserva	Lagartija

Losada, Yulo,
 Guaduas

Fuente. Elaboración propia.

3.3.3 Descripción del recurso hídrico en la subregión Río Meta

Dentro de la red hidrológica que recorre el territorio municipal, el río Meta es el de mayor importancia. El abanico hídrico que le da vida al río Meta, nace en las estribaciones de la cordillera oriental y los cordones de paramo que van en la línea desde el nevado de Sumapaz hasta la Sierra Nevada del Cocuy. Generando así un gran número de afluentes que abastecen el recurso hídrico de esta subregión. Ver *Tabla 19*.

Tabla 19. Recurso hídrico de la subregión Río Meta

Municipio	Ríos	Caños
Puerto Gaitan	Muco, Manacacias, Planas, Tillava, Guarrojo, Meta, Yucao, Iteviare, Uva	Carababa, Japanae, Negro, Camiragua, Mayoragua, Pilon, Azul, Palenque, El Tigre, Pabon, El Guayabal, Taparito, Chiguiro, El Oso, Salado, Mañanare, Colombia, Moriche, Salina, Iteviare, Marra, Domo, Cajua, Palmitas, Iroto, Arenoso, Gavilan, La Virgen, Culebra, San Francisco, Caracol
Puerto Lopez	Meta, Guayuriba, Guatiquia, Pajure, Humea, Cabuyarito, Upia, Tua,	Negrito, La Raya, Rajote, Negro, Banderas, Venturosa, La Hermosa, Casanare, El Perro

Cusiana, Cravo
 Sur, Yucao

Fuente. Elaboración propia.

3.3.4 Descripción del recurso hídrico en la subregión Alto Ariari centro

La subregión del Alto Ariari es un territorio netamente de piedemonte de la cordillera oriental. Cuenta con una gran riqueza hídrica (ver *Tabla 20*) con afluentes como el río Ariari, Guamal, Humadea, entre otros. El río Ariari que es de gran importancia por su riqueza hídrica en épocas de verano sufre significativas disminuciones en su caudal afectando la disponibilidad para uso dado por la población.

Tabla 20. Recurso hídrico de la subregión Alto Ariari Centro

Municipio	Ríos	Caños	Quebradas
Cubarral	Ariari	El Quebradon, La Cristalina, Jujuaro	
El Dorado	Cumaral, Ariari	Pajuil, Aguas Zarcas, Aguas Claras, Leche, Amarillo	
San Carlos de Guaroa	Guayuriba, Metica, Guamal, Humadea	Giramena, Guaroa	
Guamal	Meta, Humadea, Guamal, Orotoy, Minero, Guamalito	Colorado, San antonio, Cristalino, Aguapanelo	La Playa, Agua Linda, La Cochera
Castilla la Nueva	Meta, Acacias, Guamal, Humadea, Orotoy	Carayal, Cachirre, Albania, Arenales, Azul, Blanco, Grande, Perez, Seco, Gramalote, Guaroa, La	

Raya, La Sal, La Zorra,
Piñalito

Fuente. Elaboración propia.

3.3.5 Descripción del recurso hídrico en la subregión La Macarena

Los municipios que conforman esta subregión se sitúan en la parte occidental del departamento, entre la Sierra de la Macarena y la cordillera oriental. Su recurso hídrico como se observa en la *Tabla 21* es de gran influencia en la parte turística del departamento, ya que cuenta con la Reserva Natural de la Macarena (caño cristales).

Tabla 21. Recurso hídrico de la subregión La Macarena

Municipio	Ríos	Caños	Quebradas
La Macarena	Guaviare, Tunia, Guayabero, Losada, Guaduas	Piedras, Caiman, Yarumales, Indio, Correntoso, Morrocoy, Peña Roja, Grande, Cristales, Cachicamo, Perdido, La Cristalina, Gavilan, La Sal, San Antonio, Elias, Seco, Niña	Mayones, Posetas, La Union, Las Pavas
Uribe	Guayabero, Duda, Losada, Guape, Sinaí	La Sonora, La Miel, El diamante, La Dulzura, Porvenir, Santa Rita, Danta, Santander	
Vista Hermosa	Guejar, Guayabero, Duda, Santo Domingo	Cunumia, Talanqueras, Yarumales, Cafra, Correntoso, San Jose, Charco Yuca, Yopalito, El Puente, Junquera, Lejias, Jamuco, Barro, Ñame, Guapaya, Mitaflorez, Seco, Sardinata, Rojo, Guapaza	

Fuente. Elaboración propia

3.3.6 Descripción del recurso hídrico en la subregión Capital Cordillera

La subregión se encuentra ubicada al norte del departamento, cuenta con una gran diversidad del recurso hídrico (ver *Tabla 22*), el cual es altamente intervenido fundamentalmente por actividades agropecuarias. Esta subregión cuenta con dos municipios que se encuentran al extremo norte del departamento en límites con Cundinamarca que y por condiciones naturales se le define como una zona productora de agua para Colombia.

Tabla 22. Recurso hídrico de la subregión Capital Cordillera

Municipio	Ríos	Caños	Quebradas
Restrepo	Upín, Caney, Guacavía Chiquito	Caibe, Mate Guadua, Sardinata, La Raya, Puente Amarillo, Salitre, Campamento, Seco, Balcones, Pilatos	Salinas, Negra, Espejo, Blanca, Hortez
Villavicencio	Guatiquía, Guayuriba, Negro, Ocoa	Parrado, Gramalote, Maizaro	La Union, Grande, Honda, Buque, Rosablanca, La Curera

Fuente. Elaboración propia.

3.4 Precipitación en el departamento del Meta

El análisis de la precipitación se desarrolla con base en datos históricos desde el año 1981 hasta el 2010 y los presentados para el año 2012 por el IDEAM cuya fuente de información es directamente de las estaciones meteorológicas instaladas en el departamento del Meta, se hace una breve descripción del comportamiento de las lluvias a lo largo de cada una de las subregiones enfatizando en ciertos

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

118

municipios y veredas ubicadas sobre las subzonas hidrográficas descritas en el documento realizado por el IDEAM junto con el ministerio de Medio Ambiente denominado Zonificación y Codificación de Unidades Hidrográficas e Hidrológicas de Colombia.

Adicionalmente con base en el Atlas Climatológico de Colombia – IDEAM sobre número de días lluvia y temperatura a lo largo del departamento se logra determinar los tipos de clima que se presentan a lo largo de cada una de las subregiones.

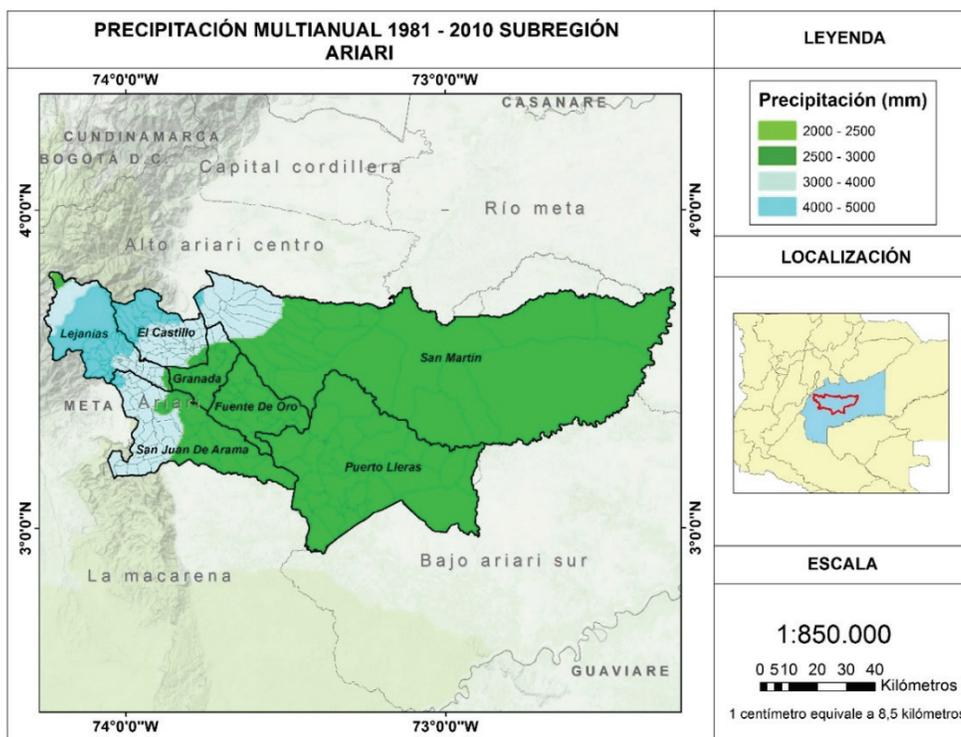
Para concluir se realiza un promedio multianual con los registros satelitales de precipitación de la NASA resaltando similitudes y diferencias encontrados frente a los datos históricos del IDEAM.

3.4.1 Precipitación subregión Ariari

Según el IDEAM, la subregión del Ariari para el departamento cuenta con una precipitación anual que oscila entre los 2000 mm a 5000 mm a lo largo de su territorio, presenta una precipitación mínima de 2000 mm a 2500 mm al occidente de la subregión en el municipio de Lejanías para una pequeña parte de la vereda El triunfo. La precipitación aumenta de 2500 mm a 3000 mm para las subzonas hidrográficas del Caño Cumaral, Río Manacías, Río Metica y parte de la zona del Río Ariari, en estas zonas se encuentra la totalidad de los municipios de Fuente de Oro, Puerto Lleras y en gran parte de Granada aunque también presenta esta misma precipitación para la gran mayoría de los municipios de San Martín y San Juan de Arama, ver *Figura 39*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 39. Precipitación para la subregión Ariari



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

La precipitación en la región comienza a tener un aumento en sus niveles a medida que se aproxima a la cordillera alcanzando un rango que va desde los 3000 mm a 4000 mm para una pequeña porción del municipio de San Martín en veredas de Alto Rubiano, Pascualera, Llano Grande, entre otras. Estas veredas se encuentran ubicadas hidrológicamente hablando en la subzona del Río Metica (Guamal – Humadea). Siguiendo este rango de precipitación para una gran parte de los municipios de El Castillo, Lejanías y San Juan de Arama, en donde pertenecen a las subzonas hidrográficas del Río Ariari y Río Güejar.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

120

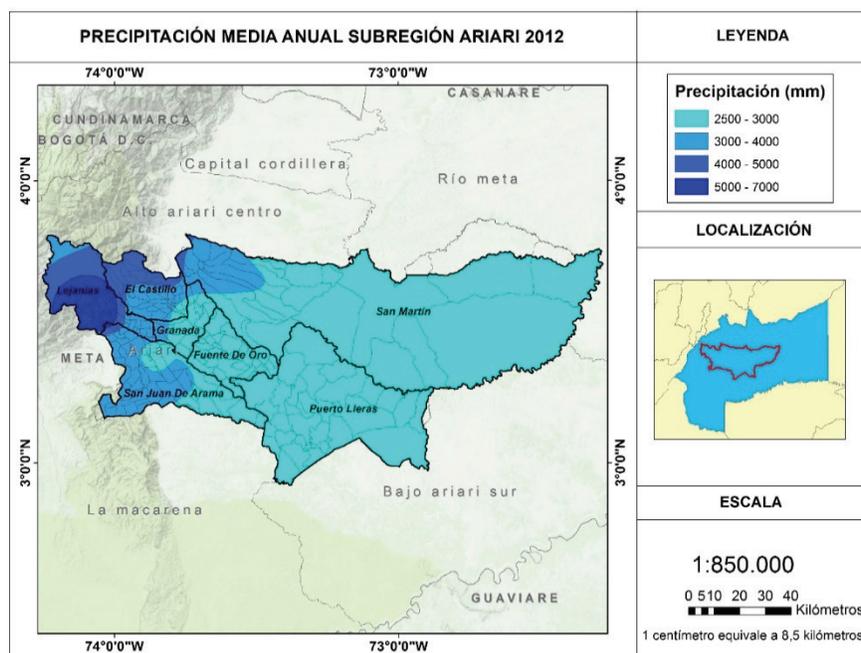
Por último, la mayor precipitación se localiza sobre el municipio de El Castillo y Lejanías en los que encontramos veredas tales como Brisas del Jordán, El Retiro, La esmeralda, Agua Linda, El Jardín, Alto Cumaral y parte de El Triunfo, estas veredas se caracterizan por que se encuentran ubicadas relativamente cerca de la cordillera oriental en donde se ha verificado que la precipitación toma su mayor valor.

También del IDEAM se logró obtener información de mediciones más recientes de la precipitación en la que se realizó el sondeo de los niveles de lluvia media anual para el año 2012 en la subregión de Ariari, como se muestra en la *Figura 40*, donde se puede determinar que la precipitación cuenta con un comportamiento similar a la precipitación multianual.

Cabe resaltar que para el año 2012 la precipitación alcanzó un nivel mayor llegando a un rango de 5000 mm a 7000 mm localizada en el municipio de Lejanías, más específicamente en las veredas de El Jardín, Delicias, Cafetales, Naranjal y alrededores.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 40. Precipitación media anual para la subregión Ariari



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

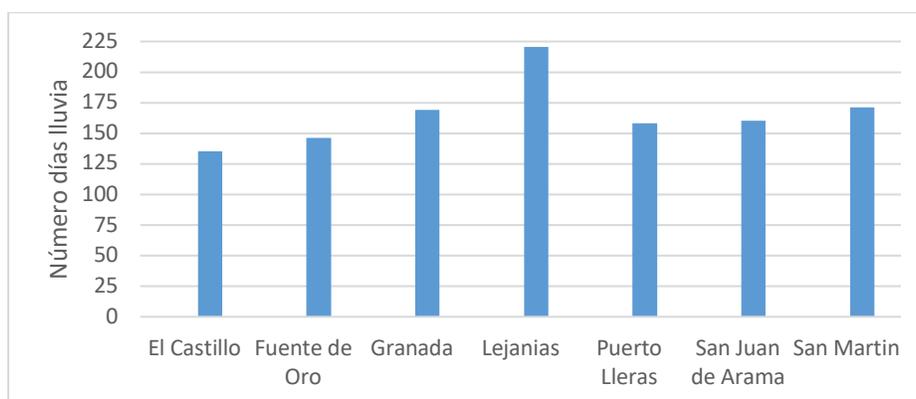
Con base en el Atlas interactivo del IDEAM, la cantidad de días lluvia para la subregión de Ariari está en su rango más bajo (100 a 150 días en el año) para una parte del territorio de los municipios de San Martín, Puerto Lleras y en menos medida en los municipios de Fuente de Oro y San Juan de Arama, más específicamente en la parte sur.

Ya que la precipitación y días lluvias están relacionados entre sí, este parámetro aumenta a medida que se aproxima a la cordillera oriental, pues para los municipios de El Castillo, Granada y gran parte de Fuente de Oro y San Juan de Arama los días lluvia se encuentra entre los 150 a 200, para finalizar el mayor rango de días oscila entre los 200 y 250 ubicados en la zona donde se determinó el mayor nivel de lluvias, es decir, en el municipio de Lejanías. Ver *Gráfica 29*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

122

Gráfica 29. Promedio multianual de días lluvias para subregión Ariari

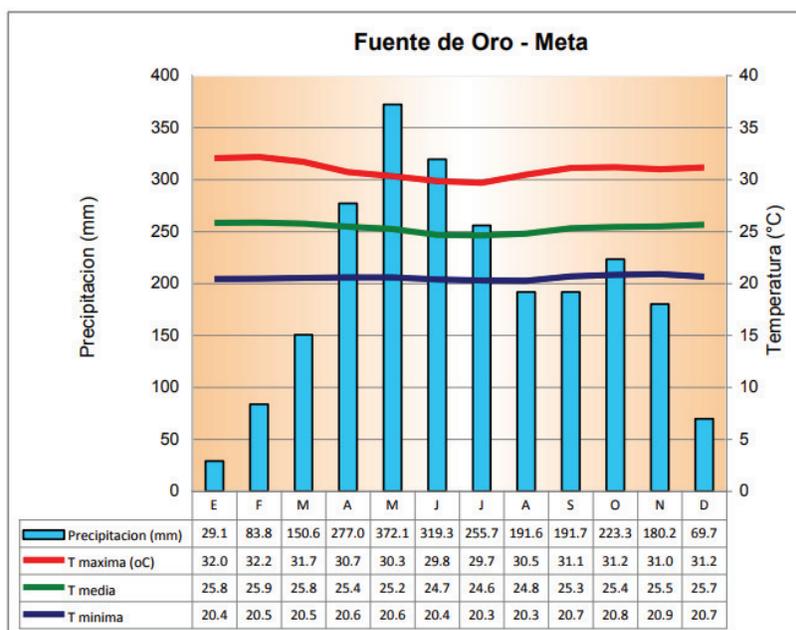


Fuente. Elaboración propia con datos del IDEAM - promedios climatológicos 1981 - 2010.

En la *Gráfica 30* se tiene el Climograma realizado por el IDEAM del municipio de Fuente de Oro, en el que es posible determinar que la precipitación procede de la misma forma que en el promedio multianual 1981 a 2010, pero de manera más específica se identifica que este municipio posee una temperatura media relativamente constante oscilando entre los 24.7 °C a 25.9 °C a lo largo de todo el año.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 30. Climograma del municipio de Fuente de Oro



Fuente. Atlas interactivo IDEAM.

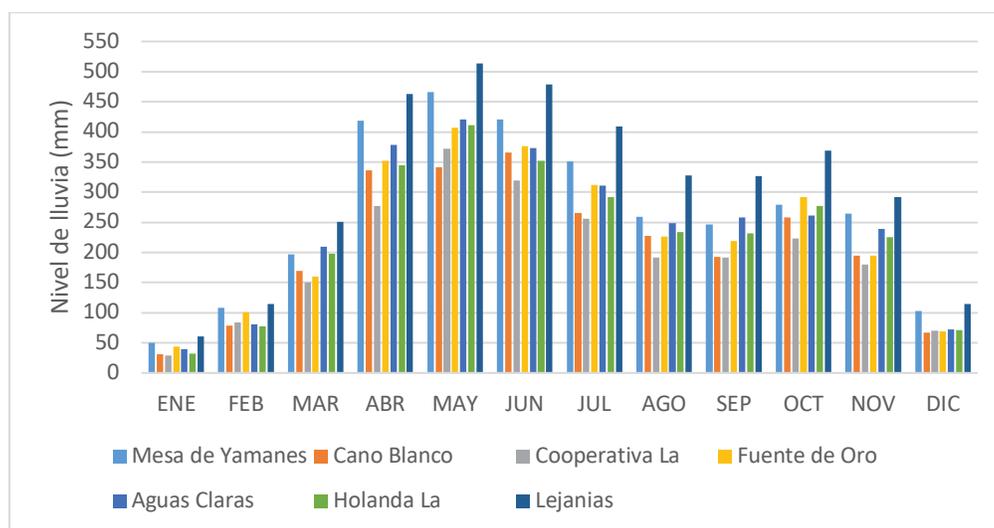
Esta subregión cuenta con 16 estaciones meteorológicas del IDEAM repartidas a lo largo de los siete municipios en las que se realizó la medición de la precipitación de forma multianual arrojando los datos mes a mes desde el año 1981 hasta el 2010.

Para los municipios que se observan en la Gráfica 31 se tiene que el municipio que presenta mayor nivel de lluvias es Lejanías en todos los meses del año frente a los demás municipios en donde se encuentra que alcanza hasta un máximo de 513 mm en el mes de mayo, seguido por El Castillo que también presenta el máximo de precipitación en el mismo mes, llegando a 466 mm.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

124

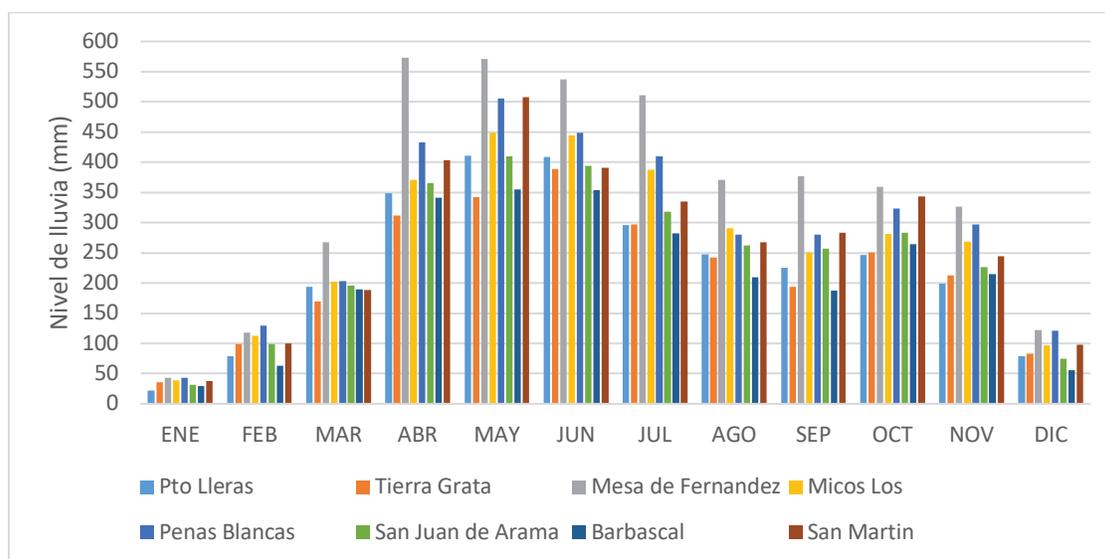
Gráfica 31. Precipitación en la subregión Ariari



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM.

En una segunda parte, el municipio de San Juan de Arama es el que tiene una mayor precipitación en comparación con todos los municipios de esta subregión alcanzando un nivel de lluvias de hasta 573 mm para los meses de abril y mayo, (ver Gráfica 32).

Gráfica 32. Precipitación en la subregión Ariari



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM.

Con el estudio multianual realizado por el IDEAM en las estaciones de esta región, se concluye que en toda la subregión el comportamiento de la precipitación es de régimen monomodal encontrándose una época de sequía pronunciada en los meses de Diciembre a Febrero para los cuales la precipitación no supera los 130 mm, por otro lado para los meses de Marzo a Noviembre se tiene una época de lluvias en donde el periodo de mayor precipitación se identifica para los meses comprendidos entre abril y julio.

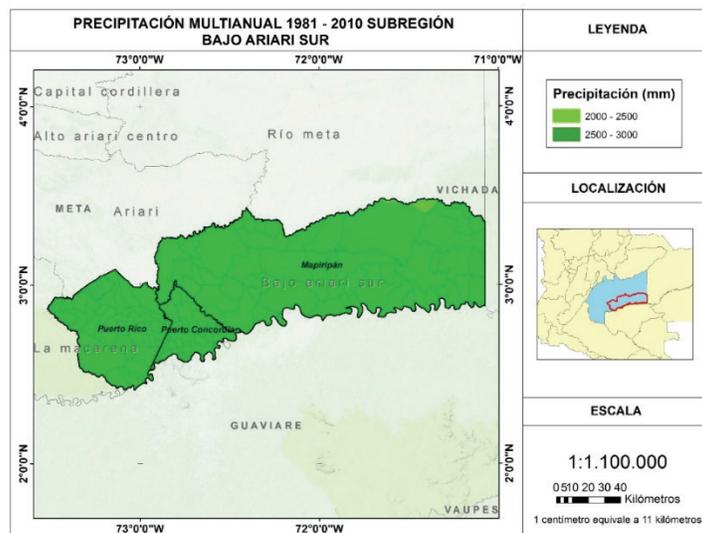
3.4.2 Precipitación subregión Bajo Ariari Sur

La precipitación media anual en la subregión de Bajo Ariari Sur es constante a lo largo de todo su territorio, en un rango de 2500 mm a 3000 mm como se observa en la *Figura 41*, este nivel de lluvia se presenta debido a que el territorio de la subregión es totalmente plano y alejado de la cordillera donde las lluvias aumentan

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

su valor. Aunque en el municipio de Mapiripán en límites con Puerto Gaitán la precipitación toma el menor valor oscilando entre los 2000 mm a 2500 mm, específicamente en la vereda Sabanas de San Ignacio que se encuentra ubicada sobre la sub zona hidrográfica del río Iteviare.

Figura 41. Precipitación para la subregión Bajo Ariari Sur



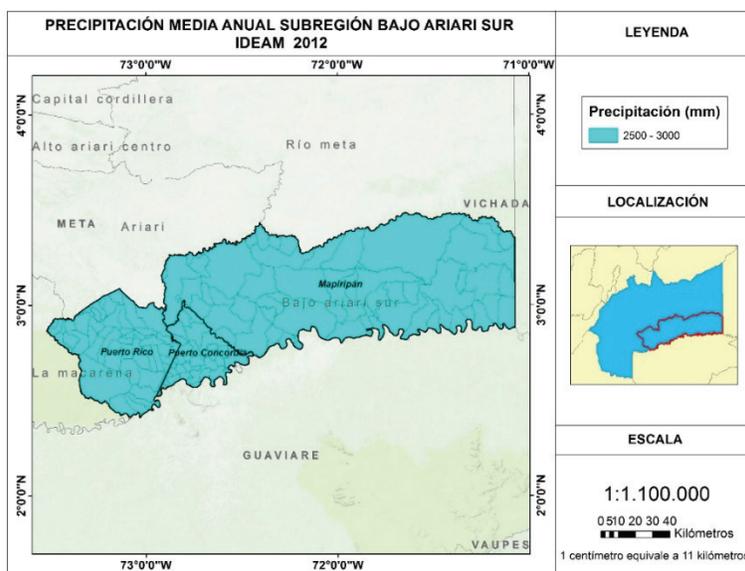
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia.

La precipitación media anual del año 2012 medida por el IDEAM y el SIAC, como se muestra en la *Figura 42*, arroja que el nivel de lluvias es bastante similar al presentado en el estudio multianual de 1981 a 2010 mostrado en la figura anterior. En la totalidad de la subregión las lluvias son completamente uniformes estando en los 2500 mm a 3000 mm.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

127

Figura 42. Precipitación media anual para la subregión Bajo Ariari Sur



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

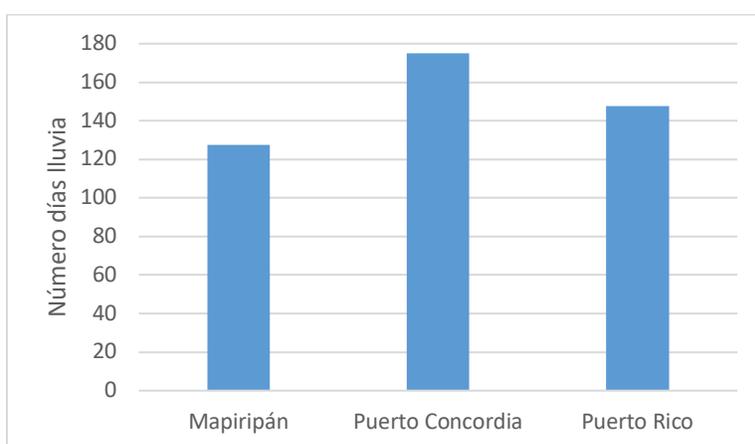
Los días lluvias en esta subregión cuentan con un poco más de variabilidad, pues para gran parte del municipio de Mapiripán la tasa de días con lluvia oscila entre los 100 a 150 días desde la vereda Betania hasta Palmarito en límites con el departamento del Vichada, estos días de lluvia se hacen presentes en la mayoría de inspecciones de dicho municipio, entre las que están Buenos Aires, Anzuelo, Sardinata, Siare, Puerto y Cooperativa, aunque en veredas ubicadas más al occidente en límites con el municipio de Puerto Concordia el número de días lluvia pasa a estar en el rango de mayor nivel con 150 a 200 días en el año (ver *Gráfica 33*).

Puerto Concordia y más de la mitad del territorio del municipio de Puerto Rico conservan esta cantidad de días, pero en la parte occidental de la subregión en donde las sub zonas hidrográficas de Alto Guaviare, río Güejar y río Ariari se

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

conectan la cantidad de lluvia pasa a ser de 100 a 150 días lluvia en las veredas más distantes como son Alto Cumaral, El Jordán, San Pedro, entre otros.

Gráfica 33. Promedio por municipio de días lluvias para subregión Bajo Ariari Sur



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM.

La subregión de Bajo Ariari Sur posee una temperatura relativamente constante la cual está alrededor de los 24 °C a 28 °C por lo tanto junto con la precipitación y días lluvias que no cuentan con una gran cantidad de variación en general la subregión posee un clima cálido, sin embargo, puede presentarse cálido semihúmedo o cálido húmedo dependiendo de las zonas donde la cantidad de días lluvias tiene una menor o mayor medida respectivamente. (ver *Tabla 23*).

Tabla 23. Climas y temperatura de la subregión Bajo Ariari Sur

Clima	Temperatura (°C)
Cálido semihúmedo	26 - 28

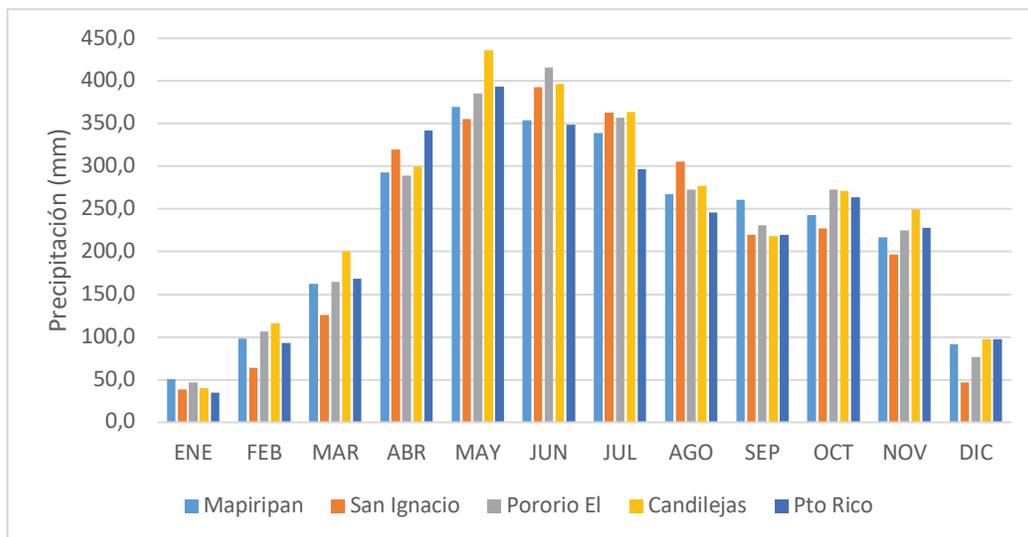
Cálido húmedo

24 - 26

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

Esta subregión cuenta con un total de cinco estaciones de medición identificadas por el IDEAM en el cual se lleva a cabo el promedio climatológico desde el año 1981 a 2010 con el fin de caracterizar una serie de parámetros meteorológicos y se determina que la precipitación en esta subregión tiene un gran periodo de lluvias comprendido entre los meses de Abril y Noviembre con un nivel de precipitación que se encuentra entre los 200 mm a 450 mm, por otro lado, en los meses restantes la precipitación decrece drásticamente, por ejemplo, en el mes de Enero (mes crítico) no supera los 50 mm como se observa en la *Gráfica 34*.

Gráfica 34. Precipitación multianual subregión Bajo Ariari Sur



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

130

Todas las estaciones miden una precipitación similar entre sí, no obstante, la estación de San Ignacio ubicada en el municipio de Mapiripan es la que en la mayoría del año presenta un nivel menor, en contraste, la estación de Candilejas que se encuentra en el municipio de Puerto Rico es la que arroja un mayor nivel de precipitación.

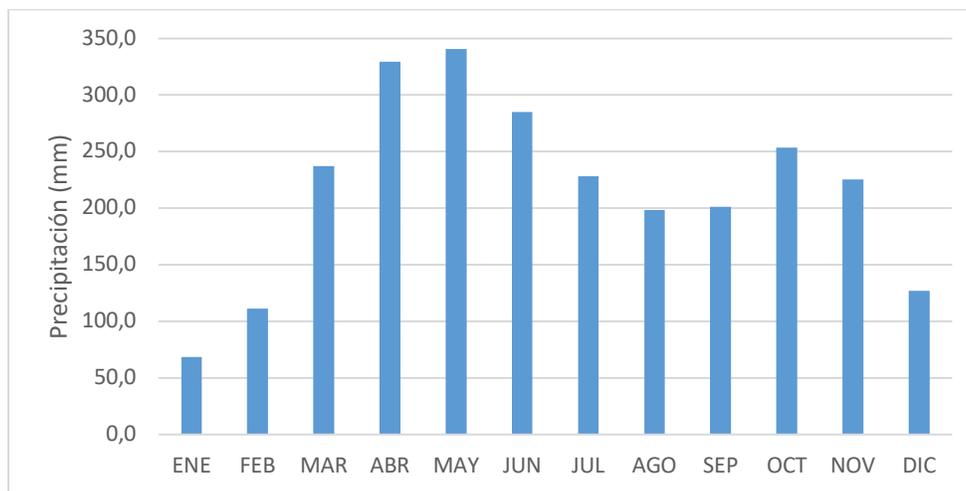
De la misma forma que el IDEAM, en esta subregión la NASA cuenta con un solo punto de medición o instalación de mediciones en el que ha llevado el registro de datos climatológicos desde el año 1997 hasta el año 2015, por lo que se ha podido realizar un promedio multianual mes a mes de la precipitación, ver *Gráfica 35*, en la que se puede determinar los niveles de lluvias.

En comparación con las mediciones del IDEAM éstas presentan el mismo comportamiento monomodal, pero los periodos de sequía y lluvia difieren puesto que la época de lluvias que indica la NASA está comprendida entre los meses de marzo a noviembre, a su vez los niveles de precipitación de esta época muestran una diferencia de 50 mm a 100 mm por debajo del multianual del IDEAM. Por otro lado, la época de sequía es bastante similar oscilando entre los 50 mm a 100 mm en los meses de diciembre a febrero.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

131

Gráfica 35. Precipitación Municipio de Puerto Rico

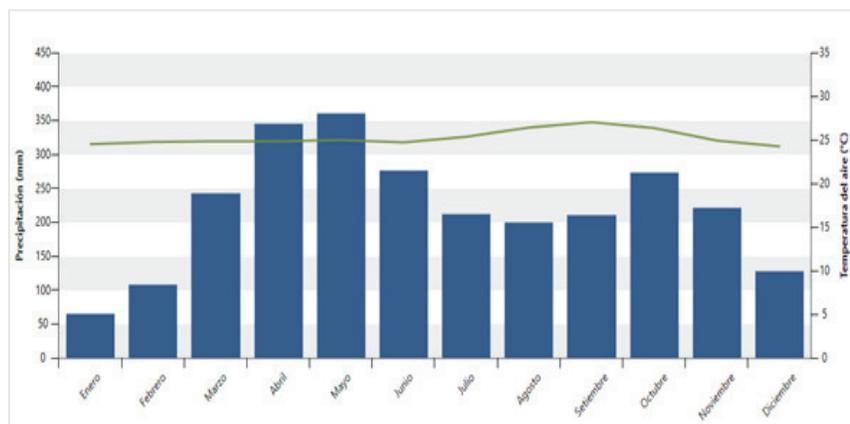


Fuente. Elaboración propia con datos tomados de software RETScreen – NASA.

Con base en el climograma obtenido de la NASA del municipio de Puerto Rico del año 2016, ver *Gráfica 36*, se puede ver que la precipitación corresponde a la planteada en el promedio multianual realizado con los datos de esta misma entidad, así como también la temperatura medida se encuentra en un valor muy constante oscilando entre los 24 °C a 27 °C durante todo el año de la misma forma como se presenta en el análisis de los datos tomados del IDEAM.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 36. Climograma del municipio de Puerto Rico



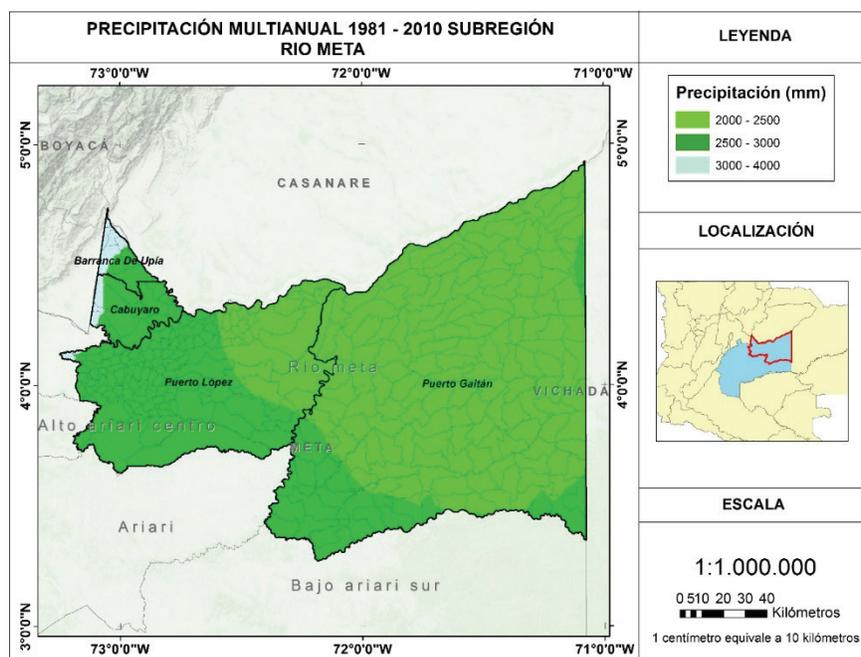
Fuente. RETScreen – NASA.

3.4.3 Precipitación subregión Río Meta

Según el IDEAM la subregión de Río Meta presenta niveles de precipitación anual entre los 2000 mm a 4000 mm por año. A lo largo de la mayoría del municipio de Puerto Gaitán y en parte de Puerto López la precipitación toma valores de 2000 mm a 2500 mm, aunque hay zonas sobre los límites con las subregiones de Bajo Ariari Sur, Ariari y Alto Ariari Centro donde la precipitación aumenta hasta los 3000 mm en veredas tales como La Curva para Puerto Gaitán, Céspedes y Sabana Quemada para Puerto López, como se observa en la *Figura 43*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 43. Precipitación para la subregión Río Meta



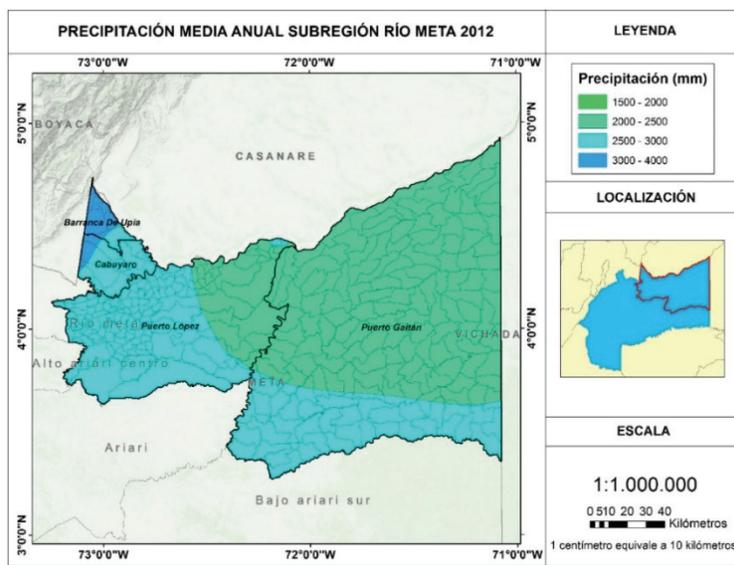
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia.

La Precipitación alcanza el máximo rango de valores sobre los límites con el departamento de Boyacá en las veredas Naguaya, San Miguel, Algarrobos y Alianza, que perteneces a los municipios de Barranca de Upía y Cabuyaro, este lugar se caracteriza por ser el más cercano al piedemonte llanero, razón por la cual la precipitación aumenta hasta los 4000 mm de agua al año.

Hecha la descripción anterior, en la precipitación media anual del año 2012 presentada en la *Figura 44*, el comportamiento de las lluvias es muy similar en este año, pues tiene los mismos niveles de precipitación, aunque el rango entre los 2500 mm a 3000 mm de agua al año aumenta sobre la zona sur del municipio de Puerto Gaitán, en veredas como La Sierrita y Las Cruces.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 44. Precipitación media para la subregión Río Meta



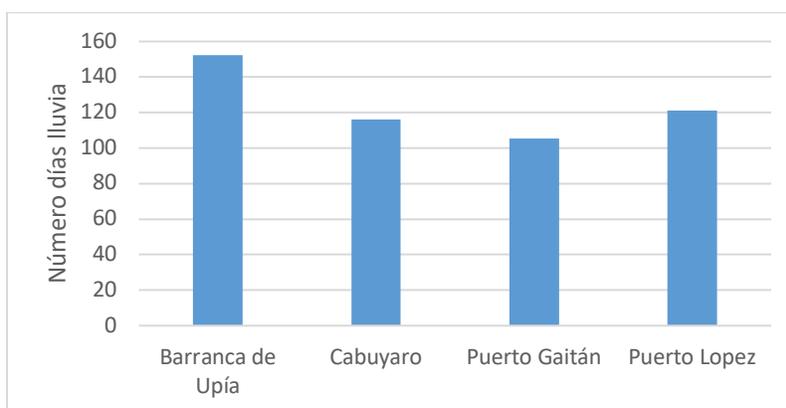
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas – SIAC.

La cantidad de días lluvia está con un rango bajo de 100 a 150 días en el año para una gran parte del territorio de los municipios de Puerto Gaitán, Puerto López y en Cabuyaro. Debido a que precipitación y los días lluvias están directamente relacionados entre sí, estos parámetros se presentan con un comportamiento similar sobre toda la región, es decir, que el municipio con menos días lluvias es Puerto Gaitán con aproximadamente 105 días al año y por el caso contrario, el municipio de Barranca de Upía alcanza a tener 150 días de lluvia, ver *Gráfica 37*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

135

Gráfica 37. Promedio por municipio de días lluvias para subregión Río Meta



Fuente. Elaboración propia con datos tomados del IDEAM.

La combinación de días lluvia, precipitación y una temperatura que oscila alrededor de los 24 °C a 28 °C sobre toda la subregión de Río Meta, hacen que esta zona posea parcialmente un clima cálido que varía entre semihúmedo y húmedo dependiendo de la precipitación y temperatura del lugar (*ver Tabla 24*), por ejemplo, el municipio de Barranca de Upía que cuenta con la mayor cantidad de lluvia y una menor temperatura, su clima es cálido húmedo.

Tabla 24. Climas y temperatura de la subregión de Río Meta

Clima	Temperatura (°C)
Cálido semihúmedo	26 - 28
Cálido húmedo	24 - 26

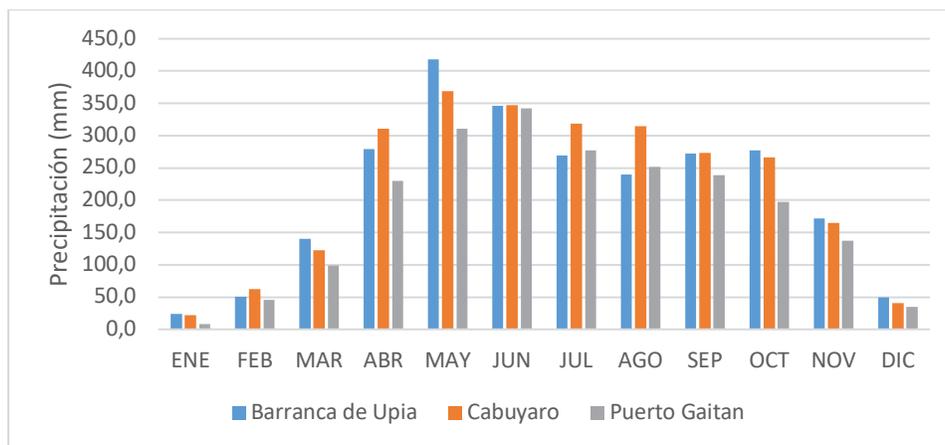
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia.

Esta subregión cuenta con 8 estaciones del IDEAM. Los municipios de Barranca de Upía, Puerto Gaitán y Cabuyaro cuentan con una estación cuyos datos

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

muestran una temporada de lluvias bastante amplia que abarca los meses de abril hasta noviembre, como se detalla en la *Gráfica 38*.

Gráfica 38. Precipitación multianual Subregión Río Meta



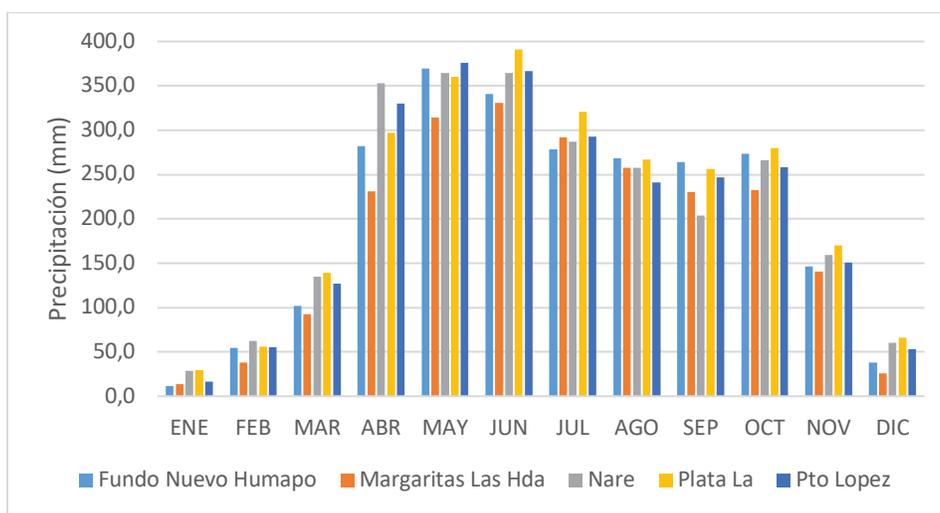
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM

Cabe recalcar que el mes de enero es el más crítico para los tres municipios que no supera los 25 mm de lluvia, pero más específicamente para Puerto Gaitán que tan solo llega a los 8 mm de agua durante este mes.

Por otra parte, el municipio de Puerto López cuenta con las cinco estaciones restantes de medición a lo largo de su territorio, en la *Gráfica 39* es posible identificar que la precipitación es uniforme, es decir, que la precipitación del mes de enero está en un rango aceptable para todas las estaciones. Puerto López al igual que los demás municipios, comparte las temporadas de lluvia y sequía con la diferencia que alcanza su máximo valor sobre los meses de abril, mayo y junio logrando superar los 350 mm de agua.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 39. Precipitación multianual Subregión Río Meta

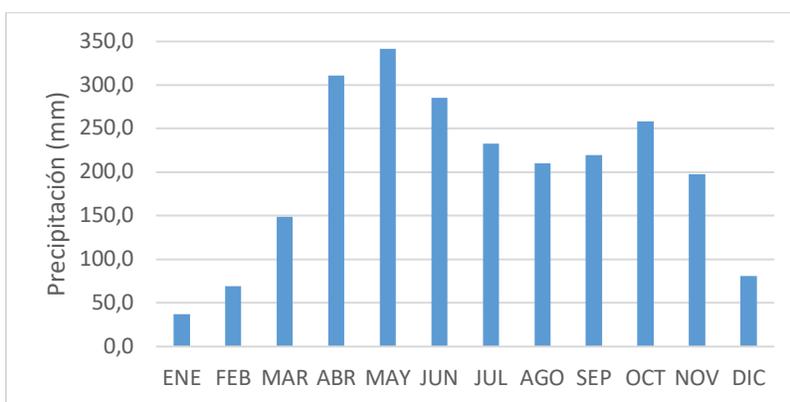


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

De manera similar que el IDEAM, la NASA cuenta con un punto de medición para la toma de registros de datos satelitales sobre la precipitación. Se realiza el promedio mes a mes durante 17 años y es posible determinar que el comportamiento de la lluvia es igual que la estación Margaritas (ver Gráfica 40), pues el valor máximo se encuentra cerca de los 340 mm para el mes de mayo y el mínimo en enero rondando los 30 mm de agua.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 40. Precipitación multianual municipio de Puerto López

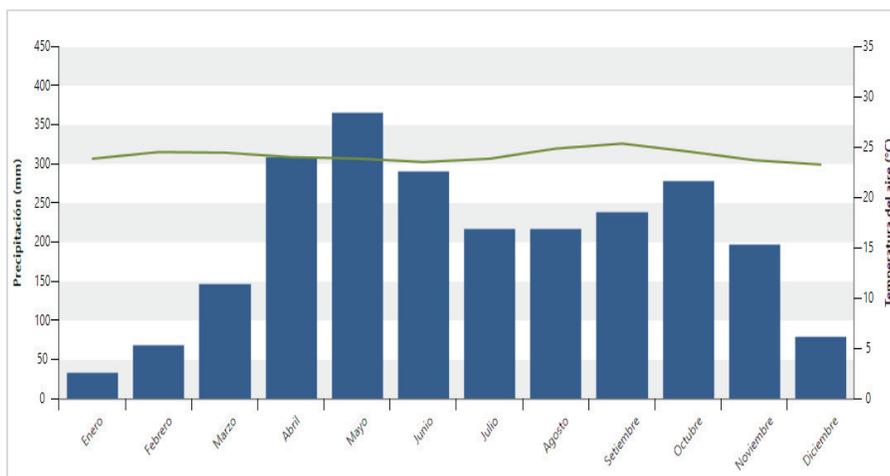


Fuente. Elaboración propia con datos tomados de software RETScreen – NASA.

Al igual que el análisis de los datos para el IDEAM, la NASA realiza el climograma para el municipio de Puerto López del año 2016, como se observa en la *Gráfica 41*, es posible comparar los parámetros de precipitación y temperatura encontrando una equivalencia entre las dos fuentes, a groso modo, se identifica un régimen monomodal para las lluvias con una época de sequía comprendida entre los meses de diciembre y marzo, una época de lluvias para gran parte del año (abril a noviembre) y una temperatura con poca variación oscilando entre los 24°C a 25°C durante todo el año.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 41. Climograma del municipio de Puerto López



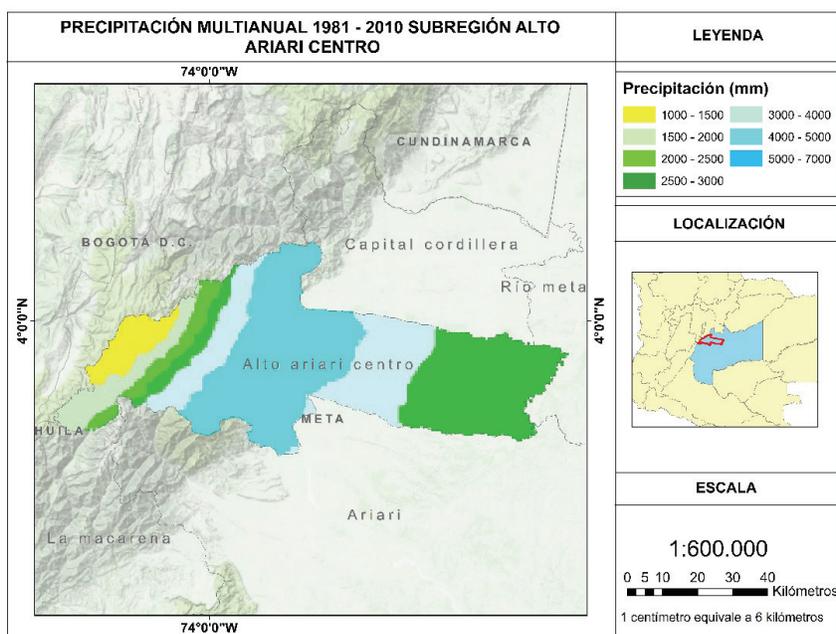
Fuente. Elaboración propia con datos tomados de software RETScreen – NASA.

3.4.4 Precipitación subregión Alto Ariari Centro

De acuerdo con el mapa de precipitación multianual del IDEAM que aparece en la *Figura 45*, la mayor cantidad de lluvias se presentan a lo largo de la subregión debido a la presencia de la Cordillera Oriental, comprendiendo parte de los municipios del Dorado, Cubarral, Acacias y Castilla la Nueva, generando precipitaciones que alcanzan hasta 5000mm. Estas lluvias decrecen hacia el oriente en el municipio de San Carlos de Guaroa con un promedio de 2500mm a 3000mm anuales y al occidente a una altura que oscila entre 3500 y 4000msnm donde se encuentran algunos paramos de la cordillera oriental se presenta la mayor disminución de lluvias llegando incluso a 1000mm (Ospina Rodríguez, 2003).

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 45. Precipitación multianual en la subregión Alto Ariari Centro

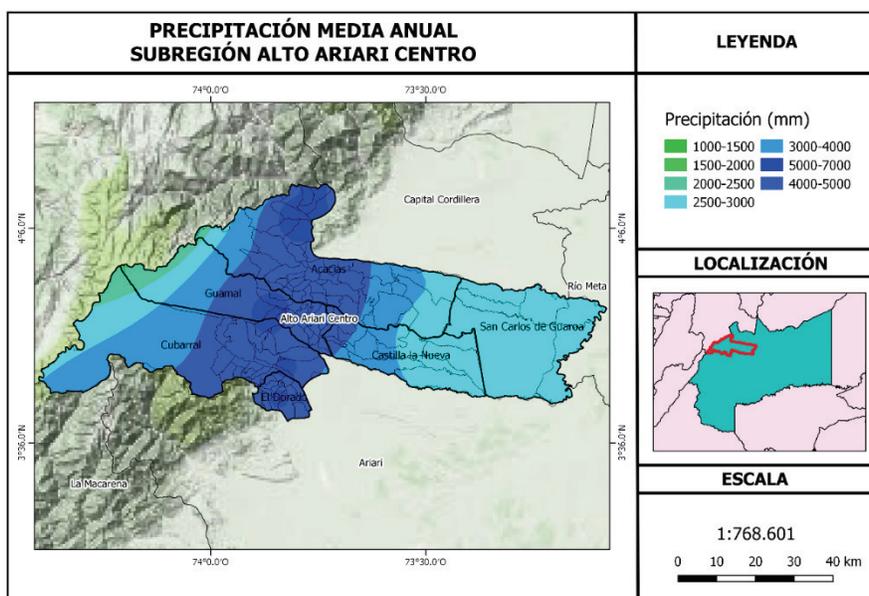


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia.

La precipitación media anual en esta subregión conserva las mismas características descritas en el análisis multianual (1981-2010), mostrando sin embargo, unos puntos de mayor concentración de lluvias en las veredas Caño Leche, Caño Amarillo, La Meseta, Puerto Ariari, Marayal, el norte del municipio de Acacias y la zona donde nace el río Guamal, oscilando entre 5000mm y 7000mm, ver *Figura 46*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 46. Precipitación media para la subregión Alto Ariari Centro



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

El reporte multianual generado por el IDEAM consta de información recopilada por algunas estaciones de medición que se encuentran instaladas en el territorio colombiano desde 1981, la subregión Alto Ariari Centro cuenta con siete de estas estaciones, las cuales pertenecen a la categoría pluviométrica y a través de las cuales se determina la precipitación mensual, número de días con lluvia y otras variables que reflejan el comportamiento de la subregión.

Con los datos sobre precipitación es posible determinar que en la subregión Alto Ariari Centro existe un régimen monomodal con una prolongada temporada de lluvias entre los meses de abril a noviembre y una temporada seca que se extiende de diciembre a marzo.

De acuerdo con la *Gráfica 42*, cinco de los municipios de la subregión cuentan con estaciones de medición del IDEAM. En el municipio de Acacias se encuentran

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

142

las estaciones Manzanares y Acacias, la primera está ubicada al norte del departamento, en cercanía a la vereda Manzanares y la zona de reserva que limita con el municipio de Guayabetal, la segunda estación se encuentra en la zona urbana del municipio.

Según los datos registrados por la estación pluviométrica de Manzanares, el periodo de lluvias ocurre entre los meses de abril a noviembre, con un máximo de 697mm durante los meses de mayo y junio, y se presenta una disminución entre diciembre y marzo, siendo enero el mes más crítico con 136mm. En la estación de Acacias se evidencia el mismo régimen pluviométrico con una pequeña disminución en el nivel de las lluvias con respecto al presentado en la vereda Manzanares. En esta zona se dio un máximo de lluvias en el mes de mayo con 660mm y un mínimo en el mes de enero con aproximadamente 76mm.

En el municipio de Castilla la Nueva al oriente de la vereda El Toro existe una estación que recibe el mismo nombre, esta región al encontrarse más alejada de la cordillera oriental con respecto a los demás municipios pertenecientes a la subregión Alto Ariari Centro presenta un nivel de lluvias bajo, con un rango entre 25mm y 406mm anuales.

Las medidas de precipitación multianual en el municipio de Cubarral fueron obtenidas por la estación de medición San Luis de Cubarral que se encuentra en la zona urbana. De acuerdo con esto el periodo de mayores lluvias está comprendido entre los meses de abril a noviembre y el periodo de sequía se da entre diciembre y marzo. La mayor precipitación corresponde al mes de mayo con un promedio de 622,1mm y en el mes de enero se presenta la menor precipitación con 109,4mm.

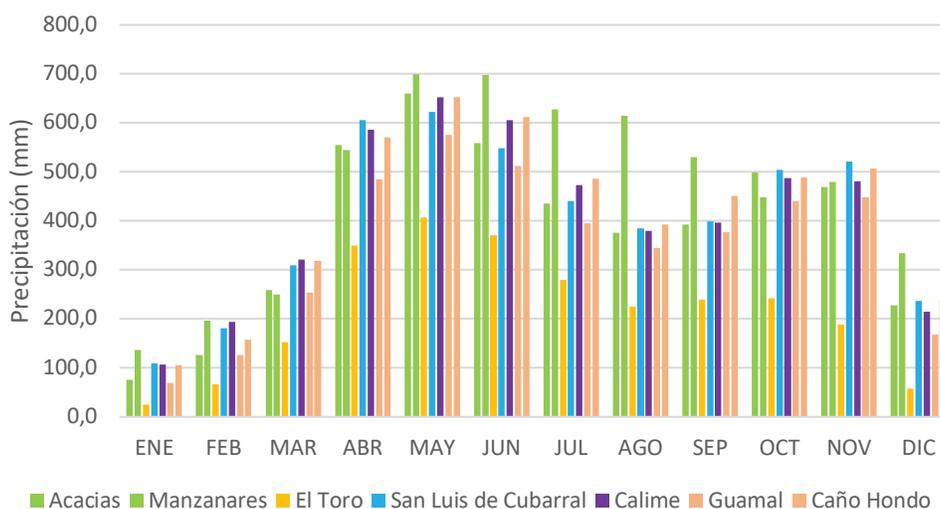
La estación Calime está ubicada en el municipio El Dorado y su registro indica que el periodo de lluvias está comprendido en los meses de abril a noviembre

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

durante los cuales existe una disminución en los meses de agosto y septiembre, además existe una época sequia entre diciembre y marzo. El mayor incremento en las precipitaciones se dio durante el mes de mayo alcanzando 652,7mm y por el contrario durante el mes de enero se encontró el menor registro de lluvias con aproximadamente 106,9mm.

En el municipio de Guamal se encuentran las estaciones Caño Hondo y Guamal, la primera está ubicada sobre la vereda El Retiro al noroccidente del municipio y la segunda se encuentra al oriente en la vereda San Miguel. La precipitación registrada es mayor en la estación Caño Hondo con rango que oscila entre 392mm y 652mm en temporada de lluvias, y en el periodo de sequía se presenta un mínimo de 105mm, el mes con mayor abundancia en las lluvias es mayo. En la estación Guamal la precipitación alcanza en el mes de mayo un registro en las precipitaciones de 575,3mm y una notable disminución durante el mes de enero donde apenas alcanza 69mm.

Gráfica 42. Precipitación mensual en la subregión Alto Ariari Centro



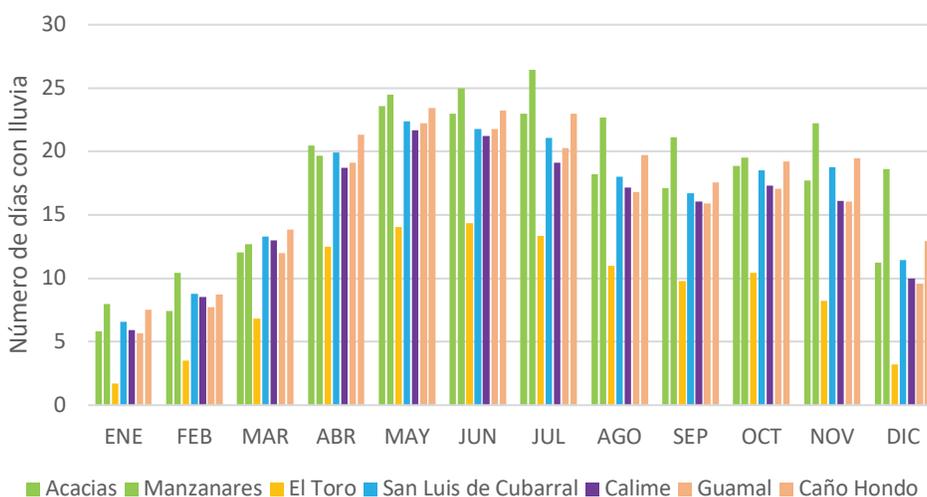
**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

Fuente. *Elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.*

Según lo expuesto en la *Gráfica 43* en el municipio de Acacias se registra el mayor índice de días con lluvia, incluso durante el mes de julio alcanza un promedio de 26 días según los datos obtenidos por la estación pluviométrica Manzanares; en los municipios de Guamal, Cubarral y El Dorado el número de días con lluvia es significativo, especialmente en los meses de mayo y junio donde oscila entre 21 y 23 días.

Por otra parte, la estación El Toro en el municipio de Castilla la Nueva registra un número de días de lluvia que no supera los 14 días e incluso presenta un nivel crítico en el mes de enero con apenas dos días de lluvia.

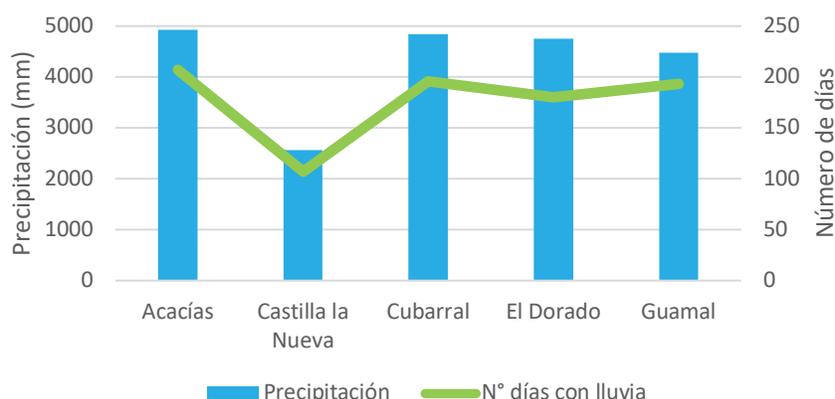
Gráfica 43. Días con lluvia en la subregión Alto Ariari Centro



Fuente. *Elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.*

En la subregión el número de días con lluvia es alto en la mayoría del territorio, anualmente se encuentra en un rango de 107 a 216 días, siendo los municipios de Acacias y Cubarral los que presenta mayor cantidad de precipitaciones con un promedio de 207 y 196 días respectivamente, debido a su cercanía con la Cordillera Oriental, por otra parte el municipio de Castilla la Nueva ubicado en la Llanura Oriental y adyacente al Piedemonte Llanero (Instituto de Turismo del Meta) presenta el menor número de días con lluvia, estos datos se pueden observar con mayor detalle en la *Gráfica 44*.

Gráfica 44. Precipitación multianual en la subregión Alto Ariari Centro



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

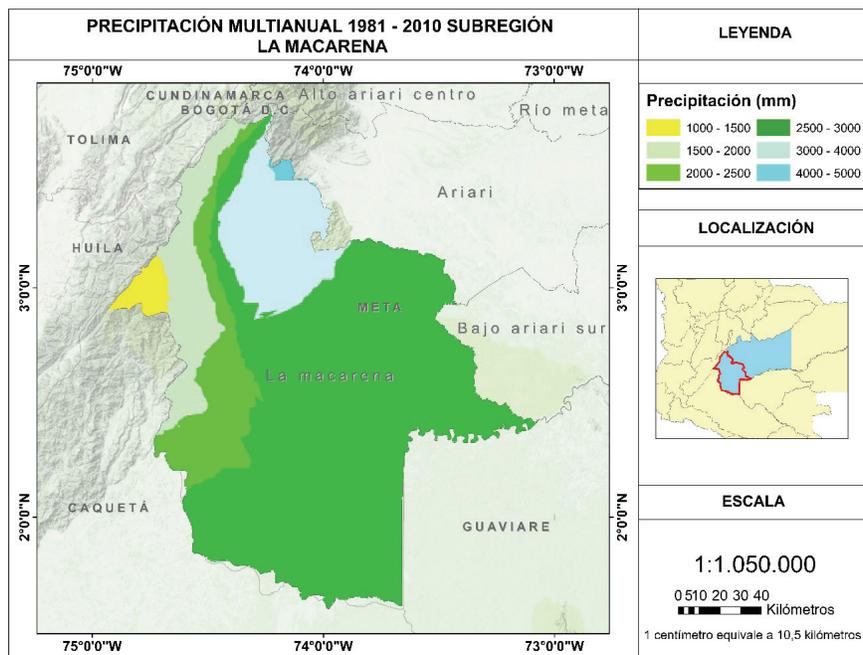
3.4.5 Precipitación subregión La Macarena

La precipitación en esta zona del departamento presenta un mayor incremento en los municipios aledaños a la Cordillera Oriental, entre ellos el municipio de la Uribe que cuenta con un promedio de 1000mm a 4000mm y el municipio de Mesetas que alcanza una precipitación entre 3000mm a 4000mm destacándose las veredas S.D y Villa Lucía en el límite con el municipio de Lejanías donde las lluvias pueden llegar

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

a 5000mm. El municipio de Vista Hermosa se encuentra en un rango de 2500mm a 3000mm y la zona la correspondiente al municipio de la Macarena está en promedio entre 2000mm y 3000mm, esta información fue obtenida del reporte multianual del IDEAM y se refleja en la *Figura 47*.

Figura 47. Precipitación multianual de la subregión La Macarena



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

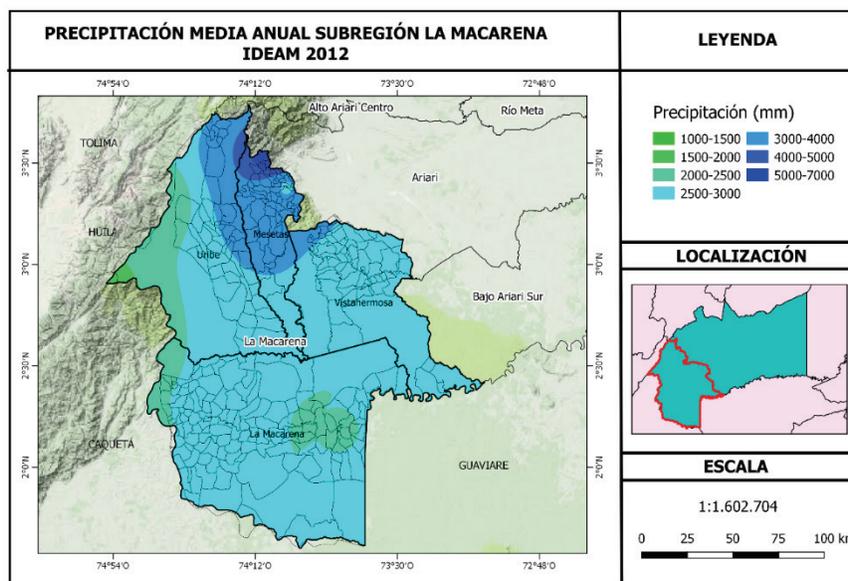
**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

147

En la *Figura 48* se observa la precipitación media anual del 2012 obtenida por el IDEAM, de acuerdo con esta, hay un aumento en las lluvias en la zona que limita con el municipio de Lejanías, al oriente de La Uribe y La Macarena. En contraste, se presenta una disminución al nororiente del municipio La Macarena, específicamente en la zona aledaña al parque Tinigua y la Sierra de la Macarena.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 48. Precipitación media anual para la subregión La Macarena

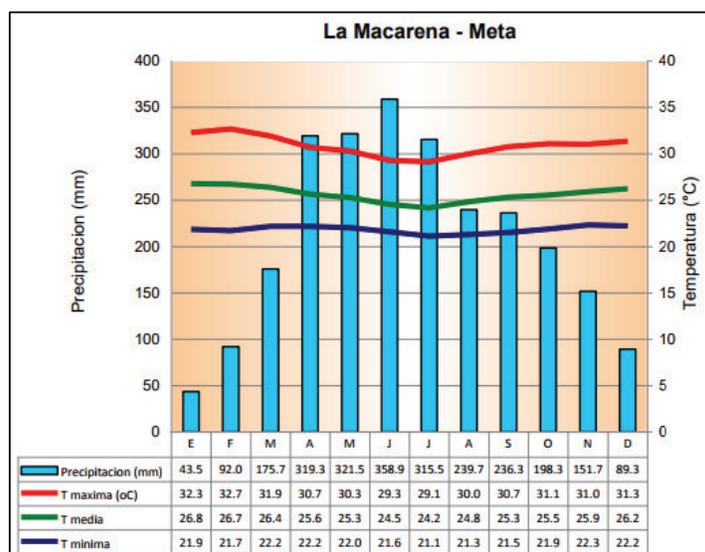


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas - SIAC.

El Atlas Interactivo del IDEAM presenta además tres climogramas de algunos de los municipios de la subregión la Macarena, en la *Gráfica 45* se presenta el correspondiente al municipio que recibe el mismo nombre, de acuerdo con este la mayor cantidad de lluvias se presenta durante los meses de marzo a noviembre y existe una época de sequía entre diciembre y febrero, además se identifica una temperatura media que oscila entre 24,2°C y 26,8°C a lo largo del año.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 45. Climograma del municipio La Macarena

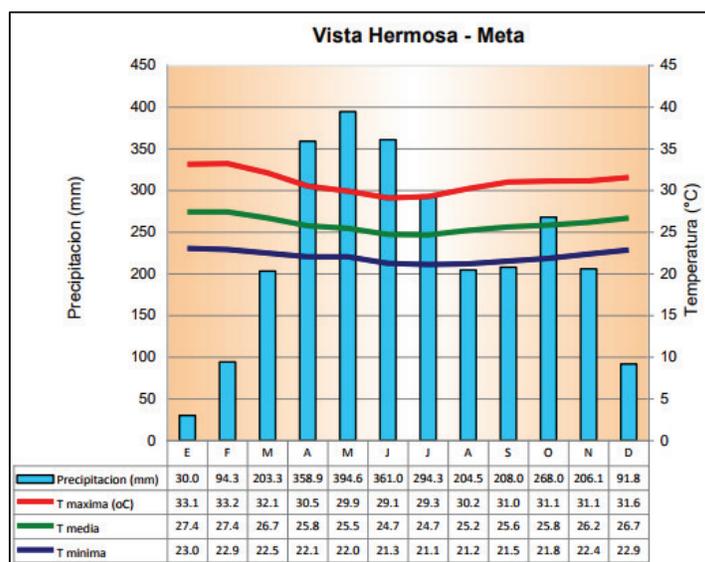


Fuente. Atlas interactivo IDEAM.

El climograma del municipio Vista Hermosa permite observar el mismo comportamiento en las lluvias con respecto al descrito en la Macarena y presenta un aumento de 0,6°C en la temperatura media, oscilando en un rango de 24,7°C a 27°C, ver Gráfica 46.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 46. Climograma del municipio Vistahermosa

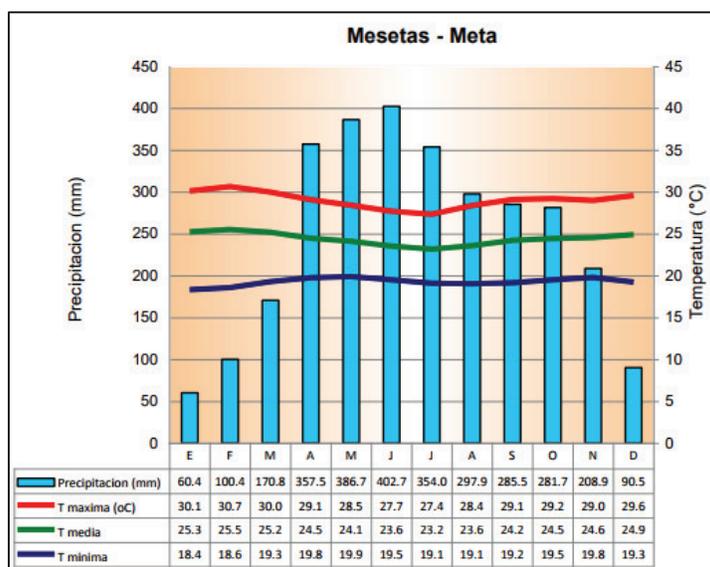


Fuente. Atlas interactivo IDEAM.

El tercer climograma del IDEAM para la subregión La Macarena corresponde al municipio de Mesetas, de acuerdo con la *Gráfica 47* el régimen pluviométrico es monomodal con un periodo de lluvias entre abril y noviembre, y un periodo de sequía entre diciembre y marzo, en cuanto a su temperatura media, presenta el rango más bajo con respecto a los tres municipios descritos con un promedio que oscila entre 23.2°C y 24.5°C.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 47. Climograma del municipio Mesetas



Fuente. Atlas interactivo IDEAM.

El municipio de La Macarena cuenta con tres estaciones de medición activas desde el año 1981, en la *Gráfica 48* se presenta la información que fue recopilada por el IDEAM hasta el 2010. Las estaciones que pertenecen a este municipio son La Balsora, La Macarena y Raudal Uno.

La Balsora es una estación climatológica secundaria que está ubicada en el parque Tinigua sobre la vereda El Tapir, allí el periodo de mayores lluvias está comprendido en los meses de abril a octubre, sin embargo, es durante el mes de junio donde se presenta el mayor registro de lluvias con aproximadamente 387,8mm, durante los meses de noviembre a marzo las lluvias no superan 187mm e incluso durante el mes de enero se presenta un estado crítico con apenas 28,9mm. La estación La Macarena es de categoría climatológica principal y se encuentra al suroccidente de la cabecera municipal sobre la vereda Altamira, posee el mismo régimen pluviométrico de la estación Balsora, durante el mes de junio

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

152

presenta la mayor cantidad de lluvias con 358,9mm y durante el mes de enero, que es el de mayor sequía tiene un nivel de 43,5mm.

La estación Raudal Uno es de categoría pluviométrica, se encuentra instalada en el parque Tinigua en la vereda Alto Raudal, desde allí registra una temporada de lluvias más amplia, cubriendo los meses de abril a noviembre, el rango de mayores precipitaciones oscila entre 345mm y 457,2mm, por otra parte, el punto crítico durante el periodo de sequía se presenta en el mes de enero, durante el cual las lluvias solo alcanzan 41,6mm.

De acuerdo con la estación de medición presente en el municipio de Mesetas, esta región presenta una temporada de lluvias en los meses de abril a noviembre, alcanza un máximo en durante el mes de junio con 402,7mm y durante los meses de diciembre a marzo hay una temporada de sequía.

Las estaciones La Mariposa y La Uribe son de categoría pluviométrica y pertenecen al municipio de La Uribe. La primera estación se encuentra en el parque Tinigua en la vereda Brisas del Guayabero, que limita con el municipio de La Macarena y la segunda estación se encuentra al norte en la vereda el Diamante. De acuerdo con la información suministrada por la estación La Mariposa, el periodo de lluvias para esa zona está comprendido entre los meses de abril a octubre y el de sequía de noviembre a marzo.

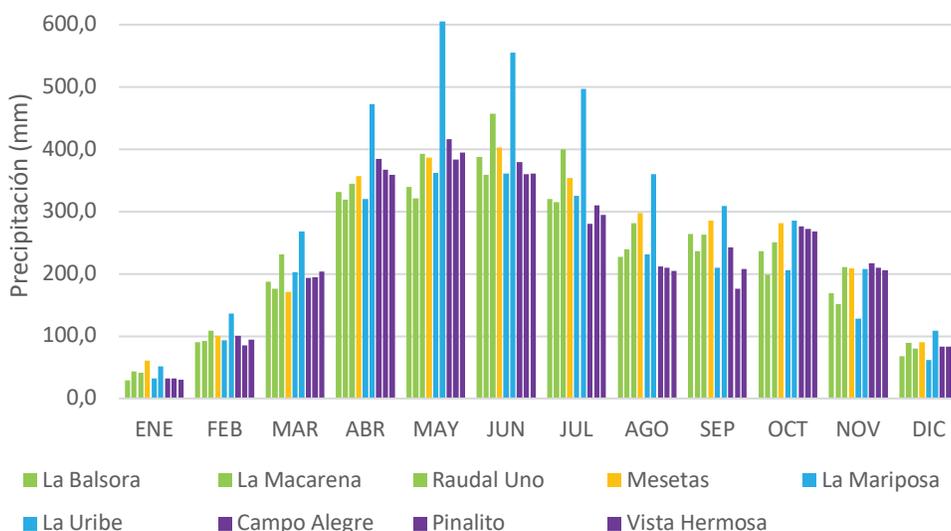
La mayor cantidad de lluvias ocurren durante los meses de mayo y junio con un promedio de 361.75mm y enero es el mes más crítico del año con 32,5mm. Por otra parte, la estación La Uribe registra los niveles de precipitación más altos de la subregión debido a su cercanía con la Cordillera Oriental, está en general describe un periodo de lluvias comprendido entre marzo y noviembre, y un periodo de sequía

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

entre diciembre y febrero, el mayor nivel de precipitación se alcanza en el mes de mayo con 605,6mm.

El municipio de Vistahermosa posee tres estaciones: la primera de ellas llamada Campo Alegre que se encuentra al norte en el límite con San Juan de Arama en la vereda el Danubio, la segunda estación es Vista Hermosa, está ubicada en la cabecera municipal y la tercera es Pinalito que se encuentra en la vereda 50711015. En esta zona se presenta un periodo de lluvias y otro de sequía, el primero abarca los meses de abril a noviembre, y el segundo los meses de diciembre a marzo.

Gráfica 48. Precipitación multianual en la subregión La Macarena



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

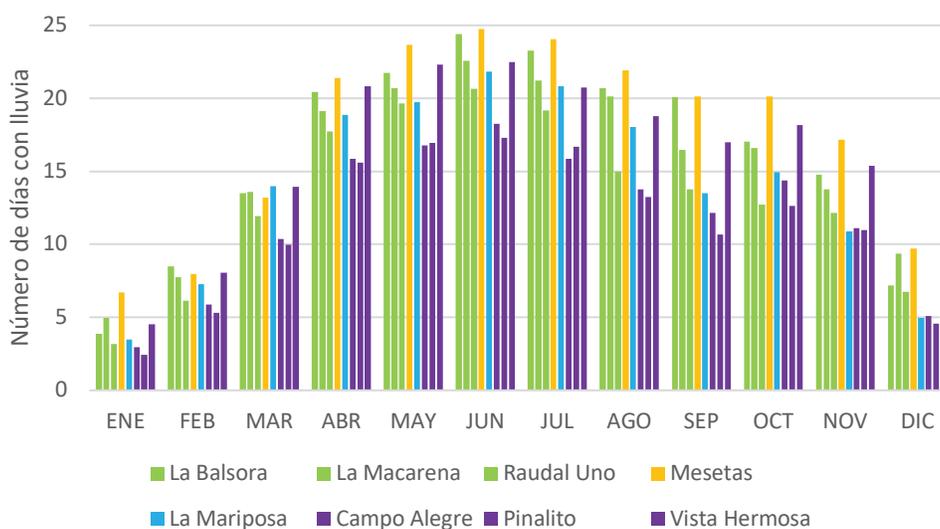
Según el reporte multianual del IDEAM, la subregión La Macarena presenta un rango de días con lluvia que oscila entre dos y 25, siendo el municipio de Mesetas

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

el que más cantidad registra a lo largo de cada mes; en los municipios de la Macarena y Vista Hermosa no existe una uniformidad en la cantidad de días con lluvia, sin embargo, se destaca la zona norte y oriente respectivamente. En el municipio de la Uribe el número de días con lluvia es alto durante el mes de junio, donde alcanza un registro de 22 días.

Es de resaltar que, aunque en la cabecera municipal de Vista Hermosa se registra uno de los índices más altos de días con lluvia, en esta misma región al oriente en la vereda Piñalito, el registro disminuye a tal punto que no supera los 17 días y durante el mes de enero que es el más crítico del año, solo alcanza 2 días con lluvia. Esta información se consolida en la *Gráfica 49*.

Gráfica 49. Días con lluvia en la subregión La Macarena



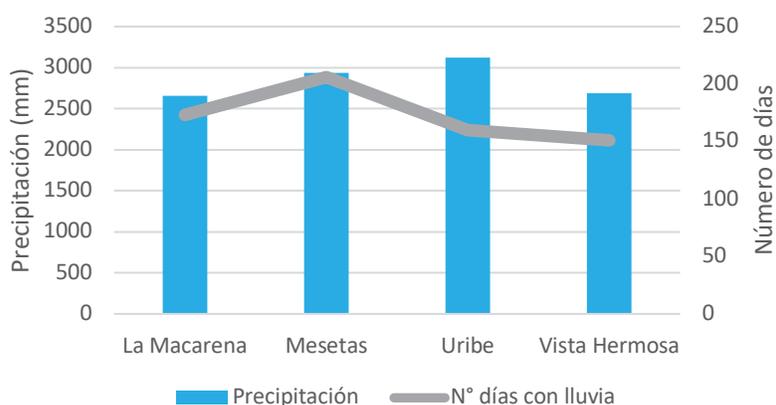
Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

En esta subregión según la *Gráfica 50* el mayor índice de precipitaciones corresponde al municipio de la Uribe debido a la presencia de la Cordillera Oriental,

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

sin embargo, esta cantidad de lluvia se distribuye en apenas 160 días, contrario al municipio de Mesetas que cuenta 2932,4mm anuales y 206 días de lluvia. En La Macarena y Vista Hermosa se tiene un registro por encima de 2500mm y 206 y 151 días con lluvia respectivamente.

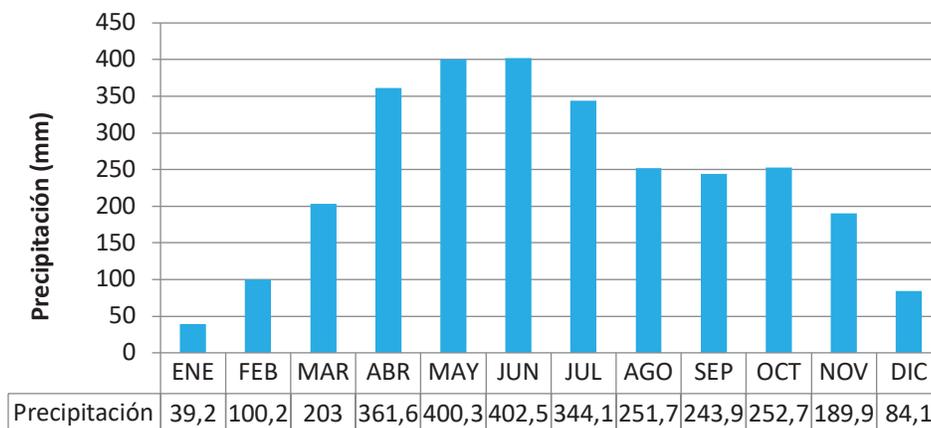
Gráfica 50. Precipitación multianual en la subregión La Macarena



Fuente: elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

En general el territorio describe un régimen monomodal que se manifiesta a través de un periodo de lluvias que está comprendido entre los meses de abril a marzo con un máximo en las precipitaciones en los meses de mayo y junio, y un periodo de sequía que ocurre entre diciembre y marzo. En la *Gráfica 51* se muestran los datos consolidados según tres estaciones climatológicas ordinarias, una climatológica principal y cinco pluviométricas.

Gráfica 51. Precipitación mensual en la subregión La Macarena



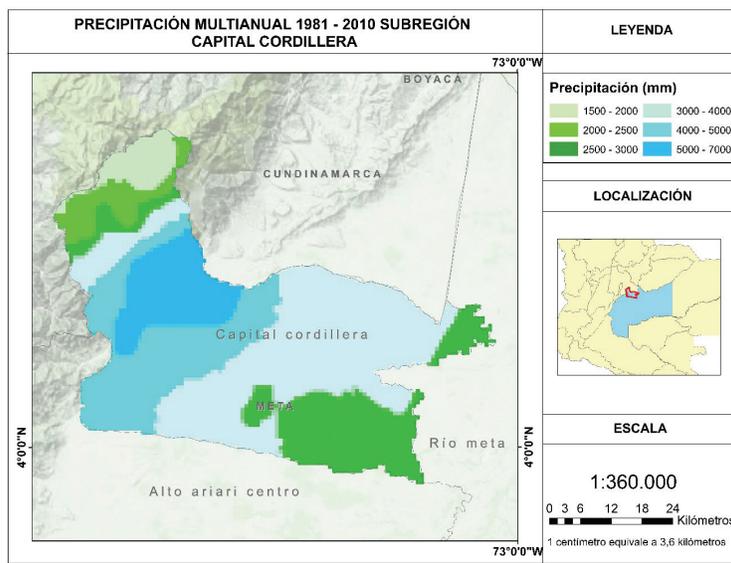
Fuente: elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

3.4.6 Precipitación subregión Capital Cordillera

En el mapa multianual del IDEAM correspondiente a la *Figura 49* se observa que la subregión Capital Cordillera presenta una alta precipitación en la zona aledaña a la Cordillera Oriental, especialmente en las veredas de Restrepo y Cumaral que se encuentran cerca al PNN Chingaza. Al occidente de la subregión las lluvias decrecen secuencialmente hasta el municipio de San Juanito y la vereda San Fernando en el límite con el departamento de Cundinamarca, donde la precipitación oscila entre 1500mm y 2000mm. De igual manera, al oriente de los municipios de Villavicencio y Cumaral se registra una disminución en las lluvias, sin embargo, la precipitación se mantiene por encima de 2500mm anuales.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 49. Precipitación multianual de la subregión Capital Cordillera



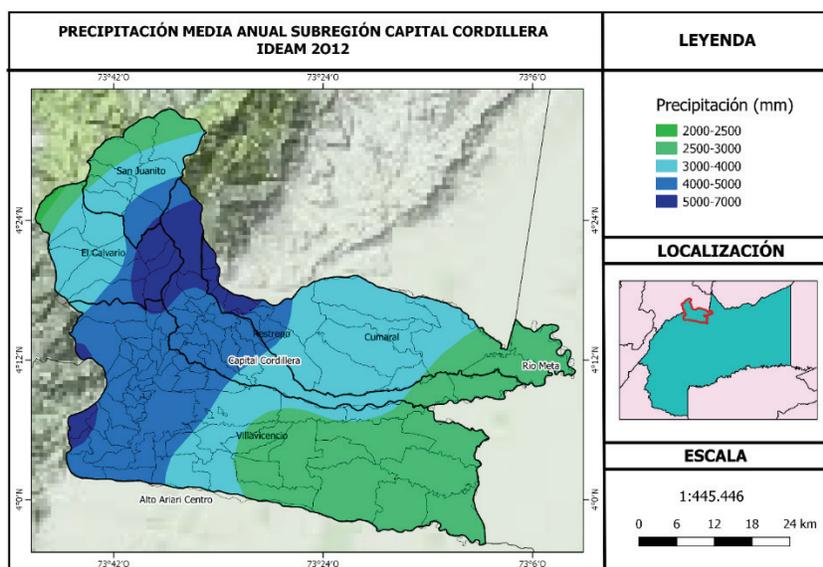
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Interactivo Climatológico de Colombia.

En cuanto a la precipitación media anual 2012 de la subregión Capital Cordillera, en la *Figura 50* se observa un comportamiento similar al presentado en el análisis multianual con una pequeña disminución en el nivel de precipitación especialmente en el noroccidente del municipio de Villavicencia con un promedio que oscila entre 4000mm a 5000mm y un aumento de las lluvias de las veredas San Isidro, Quebrada Honda y San Fernando, ubicadas en los municipios El Calvario y San Juanito.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

158

Figura 50. Precipitación media anual para la subregión Capital Cordillera

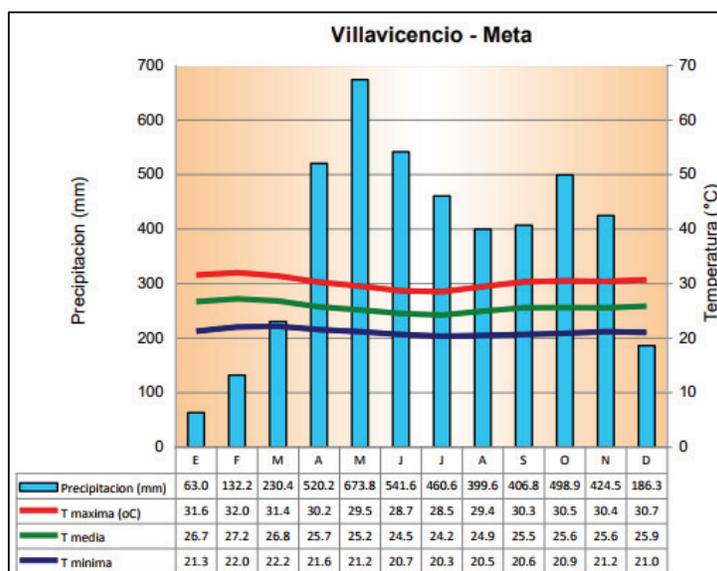


Fuente. Elaboración propia con datos tomados del catálogo de mapas – SIAC.

El climograma del municipio de Villavicencio mostrado en la *Gráfica 52* deja en evidencia que esta zona tiene una temporada de lluvias que inicia durante el mes de abril y finaliza en noviembre, además presenta una época de sequía entre diciembre y marzo, siendo enero el mes más crítico y su temperatura media se encuentra en un rango de 24,2°C a 27,2°C.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 52. Climograma del municipio de Villavicencio

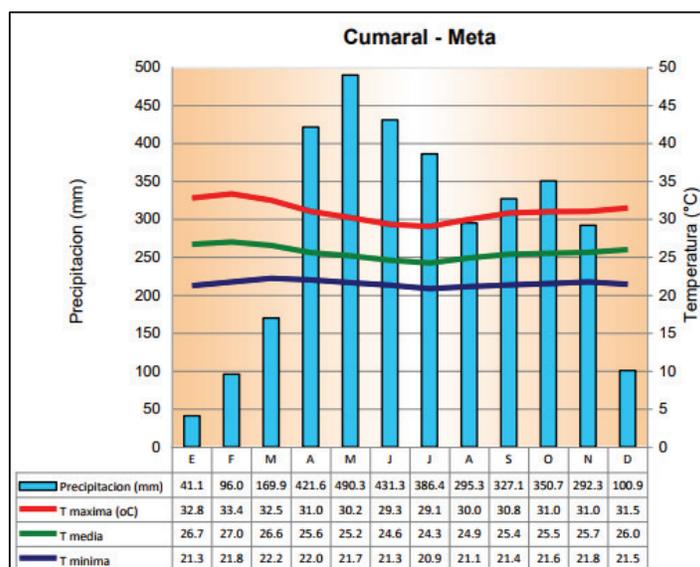


Fuente. Atlas interactivo IDEAM.

El climograma del IDEAM correspondiente al municipio de Cumaral presenta las mismas características del régimen pluviométrico descrito a partir de la gráfica anterior y deja en evidencia una temperatura media que oscila entre 24,3°C y 27°C a lo largo del año, ver Gráfica 53.

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

Gráfica 53. Climograma del municipio de Cumaral



Fuente. Atlas interactivo IDEAM.

De acuerdo con la Gráfica 54, en la subregión Capital Cordillera hay presencia de 14 estaciones de medición dispuestas por el IDEAM, a partir de las cuales se puede determinar el comportamiento pluviométrico del territorio.

En el municipio de Cumaral en la Inspección Presentado existe una estación de categoría climatológica ordinaria llamada Hda La Cabaña cuyo registro indica que el comportamiento de las lluvias es de carácter monomodal, con un periodo de lluvias en los meses de abril a noviembre y un periodo de sequía entre diciembre y marzo. La mayor cantidad de lluvias se presentan durante el mes de mayo con un promedio de 490,3mm, contrario al mes de enero donde solo alcanza 41,1mm.

La estación pluviométrica Monfort y la pluviográfica El Calvario pertenecen al municipio de El Calvario. En la estación Monfort ubicada en la vereda Corrales, que limita con Villavicencio y Restrepo, el periodo de lluvias ocurre entre abril y

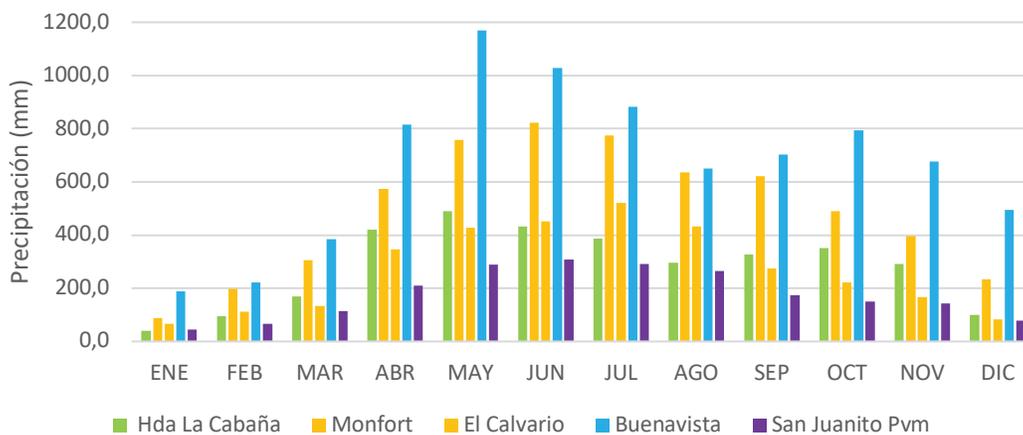
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

noviembre, con un máximo de 823,5mm durante el mes de junio, y una temporada seca de diciembre a marzo con un rango que oscila entre 86,9mm y 233,9mm. En el Calvario, aunque se registra el mismo régimen pluviométrico, el máximo nivel en la precipitación solo alcanza 521,2mm y disminuye rápidamente, registrando durante el mes de noviembre un nivel de 166,6mm.

La región correspondiente al municipio de Restrepo registra una alta precipitación de acuerdo con la información suministrada por la estación pluviográfica en la vereda Santa Lucia. Describe un régimen monomodal, con una temporada de lluvias que corresponde a los meses de abril a noviembre, de los cuales se destaca mayo con un máximo de 1169,1mm, entre diciembre a marzo existe un periodo de sequía.

La estación San Juanito Pvm durante el tiempo que estuvo en funcionamiento registró un nivel bajo de precipitación para el municipio, siendo junio el mes de mayores lluvias con un promedio de 307,5mm y enero el más crítico del año con apenas 45,0mm.

Gráfica 54. Precipitación multianual en la subregión Capital Cordillera



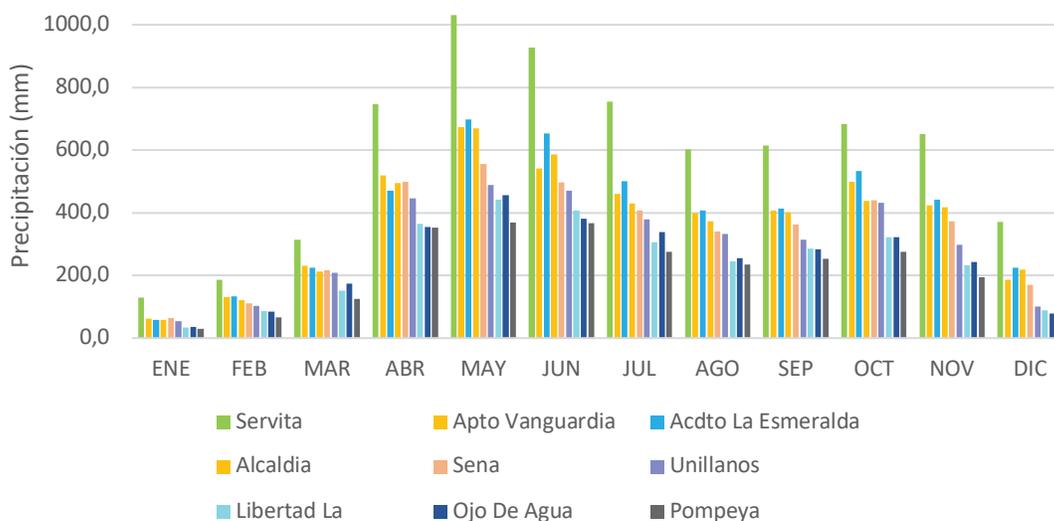
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

162

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

Villavicencio al ser la capital del departamento del Meta posee la mayor cantidad de estaciones en su territorio, esta situación se evidencia en la *Gráfica 55*. El registro más considerable ocurre al noroccidente en la vereda la Servita con un máximo de 1031,7mm durante el mes de mayo. La siguiente estación que registra un promedio de lluvias alto es la correspondiente al acueducto La Esmeralda con un máximo de 697,9mm, en las demás estaciones conforme se ubican al oriente de la región se hace evidente un descenso en las lluvias.

Gráfica 55. Precipitación en la subregión Capital Cordillera



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

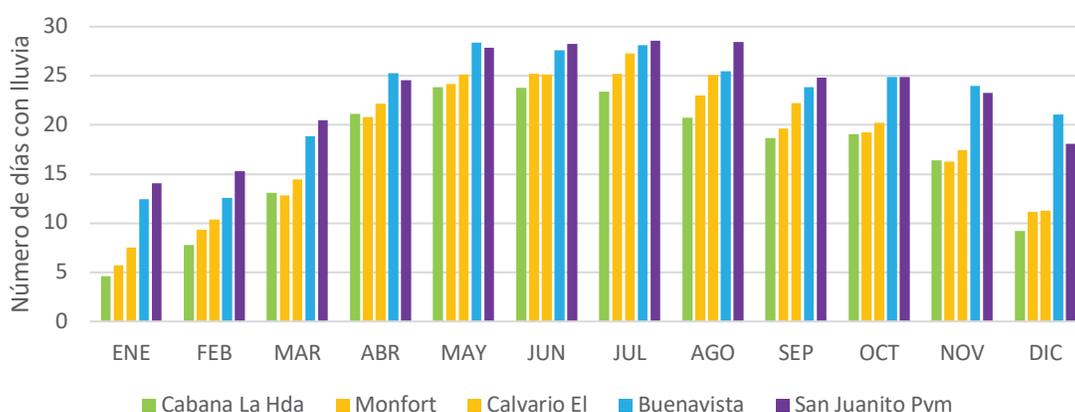
A partir de la *Gráfica 56* es posible identificar que el número de días con lluvia es alto en los municipios que tienen influencia del PNN Chingaza como son Restrepo y San Juanito, y en mayor proporción durante los meses de mayo, junio y

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

163

julio, donde su registro oscila entre 28 y 29 días. Por otra parte, en los municipios Cumaral y el Calvario el número de días con lluvia se encuentra por debajo de 25, y durante el mes de enero cuentan con apenas 5 y 6 días.

Gráfica 56. Días con lluvia en la subregión Capital Cordillera

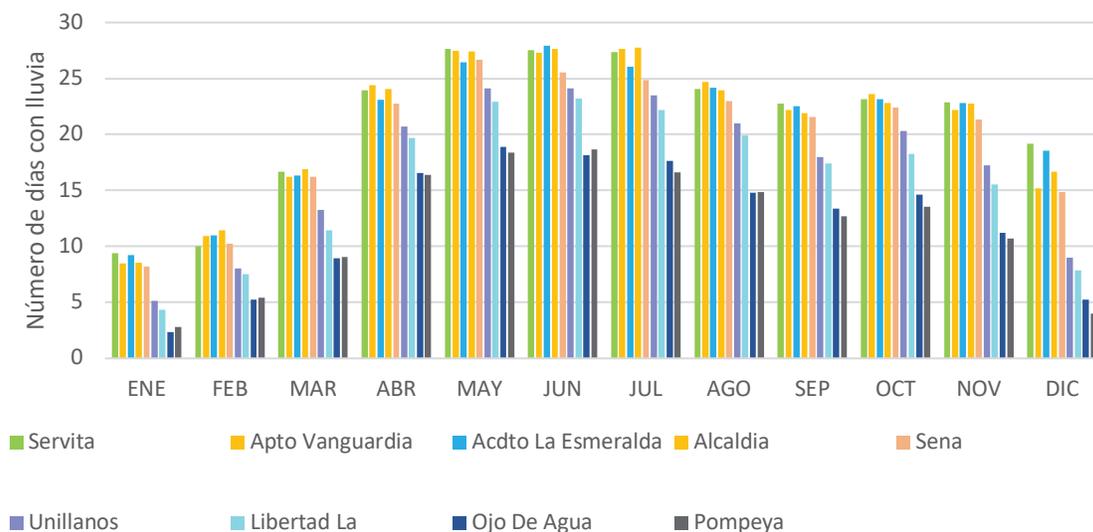


Fuente: elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

En Villavicencio de acuerdo con la *Gráfica 57* el número de días con lluvia varía notablemente conforme a la cercanía que exista con la Cordillera Oriental. En la zona correspondiente a la cabecera municipal y las veredas Servita y Vanguardia se presenta el mayor número de días con lluvia con respecto al municipio, con un rango que oscila entre 25 y 28 para los meses de mayo, junio y julio. Contrario a la zona oriente cuyo registro no supera 18 días con lluvia.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 57. Días con lluvia en la subregión Capital Cordillera

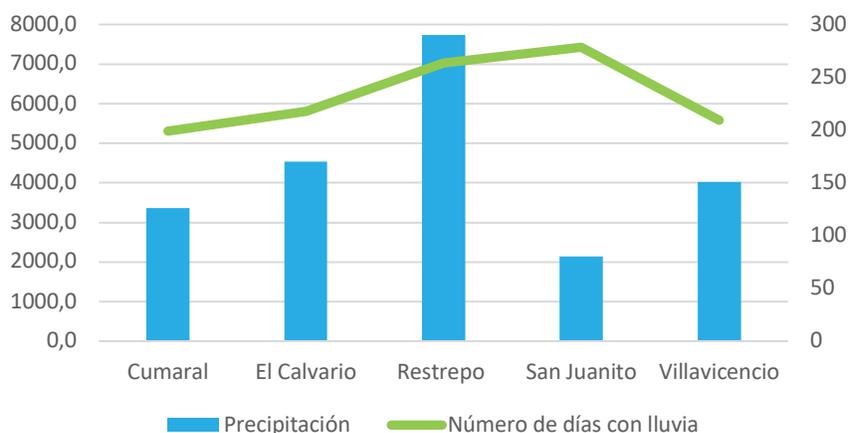


Fuente: elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

Anualmente la subregión Capital Cordillera registra una alta precipitación especialmente en la zona correspondiente al municipio de Restrepo cuyas lluvias alcanzan un nivel de 7728,4mm en 263 días. El municipio de San Juanito presenta el mayor número de días con lluvia y el menor nivel de precipitación en toda la subregión. Los municipios de Cumaral, El Calvario y Villavicencio están en un rango entre 3000mm y 5000mm anuales. Esta información se aprecia en la Gráfica 58.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 58. Precipitación multianual en la subregión Capital Cordillera



Fuente: elaboración propia con datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM.

La precipitación en la subregión Capital Cordillera como se aprecia en la Gráfica 59 presenta un régimen monomodal que es predominante a través del año, con máximos especialmente en los meses de mayo y junio, y una temporada seca que se extiende de diciembre a marzo.

Gráfica 59. Precipitación mensual en la subregión La Macarena



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

3.5 Potencial Hidroenergético en el departamento del Meta

La creciente demanda energética a causa del desarrollo económico e industrial hace necesaria la generación de energías alternativas que complementen los sistemas tradicionales y tengan un mínimo impacto ambiental. En Colombia con este objetivo se han empezado a implementar leyes que permiten el aprovechamiento y buen uso de las fuentes no convencionales de energía y especialmente las renovables.

El atlas de potencial hidroenergético 2015 es un claro ejemplo del trabajo que se adelanta para la consolidación de información que permita generar proyectos energéticos sostenibles, este documento se presenta como una herramienta para la identificación de lugares con potencial hidroeléctrico en los cuales se pueda llevar a cabo la implementación de proyectos de filo de agua (UPME, IDEAM, IGAC, & COLCIENCIAS, 2015).

3.5.1 Caída hidráulica para el departamento del Meta

La caída hidráulica es la diferencia de cota entre el punto de captación del agua y las turbinas; a mayor diferencia de cota, mayor potencia hidráulica disponible. Cada uno de los ríos analizados de la red de drenaje se estudió en tramos de 30 m, para que esta longitud fuera consistente con el modelo digital del terreno (MDT) disponible para todo el país. Para su cálculo se asumió que la longitud horizontal (L_c), entre la captación y las turbinas, corresponde a valores de 0,2km, 1 km y 5km.

En la *Tabla 25* se presentan los valores medios y máximos de caídas hidráulicas para el área hidrográfica del Orinoco. La mayor capacidad de generación

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

167

corresponde a la longitud horizontal de conducción de 1km pues de acuerdo al estudio realizado la diferencia media entre el punto de captación y las turbinas es de 46m y la máxima es de 277m.

Tabla 25. Caídas hidráulicas en metros para el área hidrográfica

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

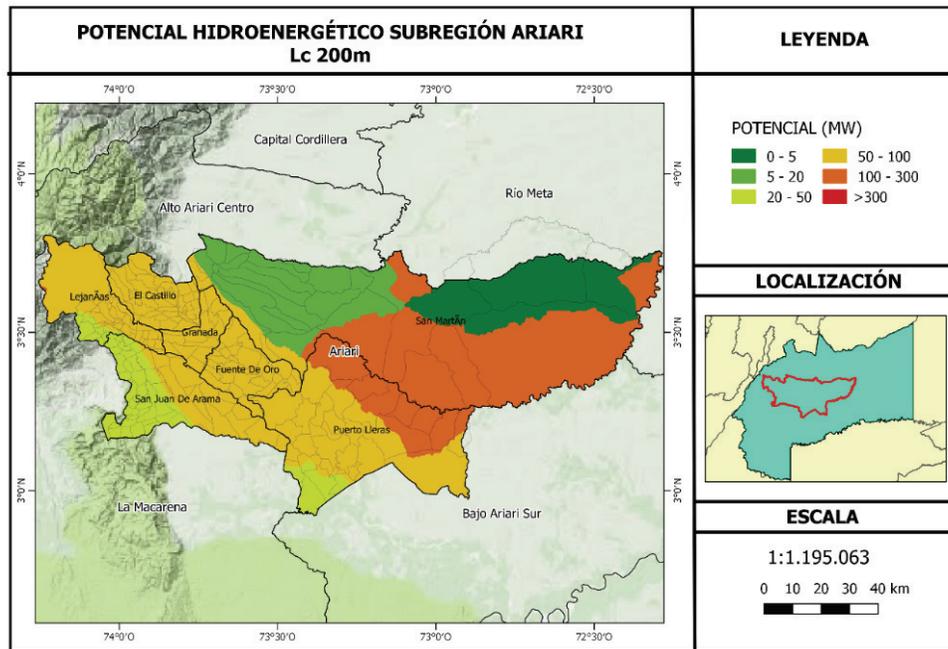
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia.

3.5.2 Subregión Ariari – Lc: 200 Metros, 1km y 5km

De acuerdo con la *Figura 51*, el mayor potencial hidroenergético en la subregión Ariari para una longitud horizontal de 200m se presenta en la zona correspondiente al municipio de San Martín especialmente en límites con Puerto Lleras y Mapiripán, en las veredas Punto Nuevo, Santa Teresa del Camoa, Brisas del Manacacías y Puerto Castro, con una capacidad superior a 200 MW. En la región que es atravesada por el río Meta, comprendida por los municipios Lejanías, el Castillo, Granada, Fuente de Oro, Puerto Lleras y el oriente de San Juan de Arama la potencia oscila entre 100 y 150 MW. La menor capacidad se presenta en límite con Puerto López y la zona aledaña al río Humadea.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 51. Potencial hidroenergético en la subregión Ariari Lc - 200m

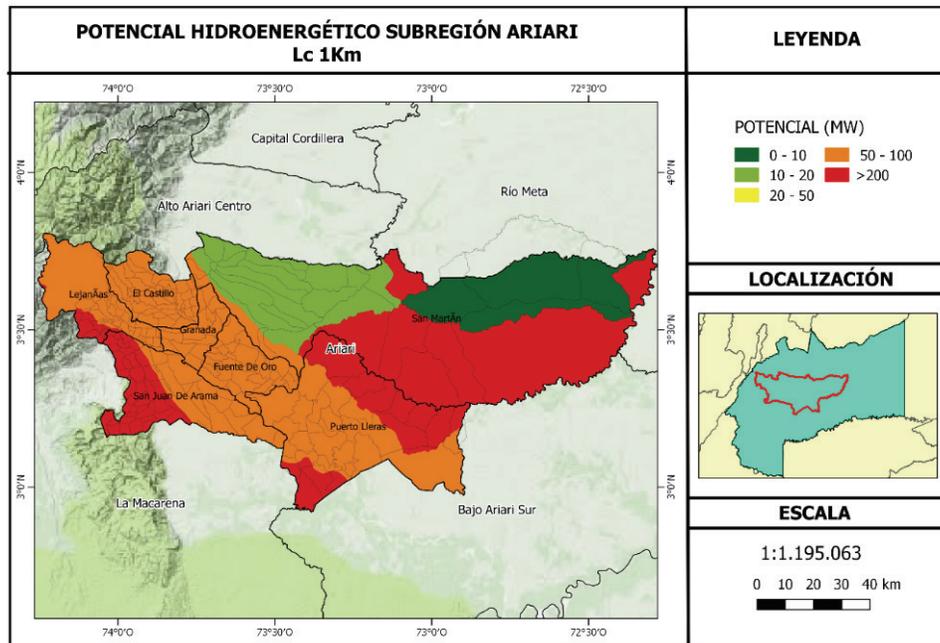


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

Un análisis de la *Figura 52* permite establecer que a una longitud horizontal de 1km se presenta un aumento en el potencial hidroenergético en los municipios de San Juan de Arama y Puerto Lleras en la zona aledaña a la subregión de la Macarena.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

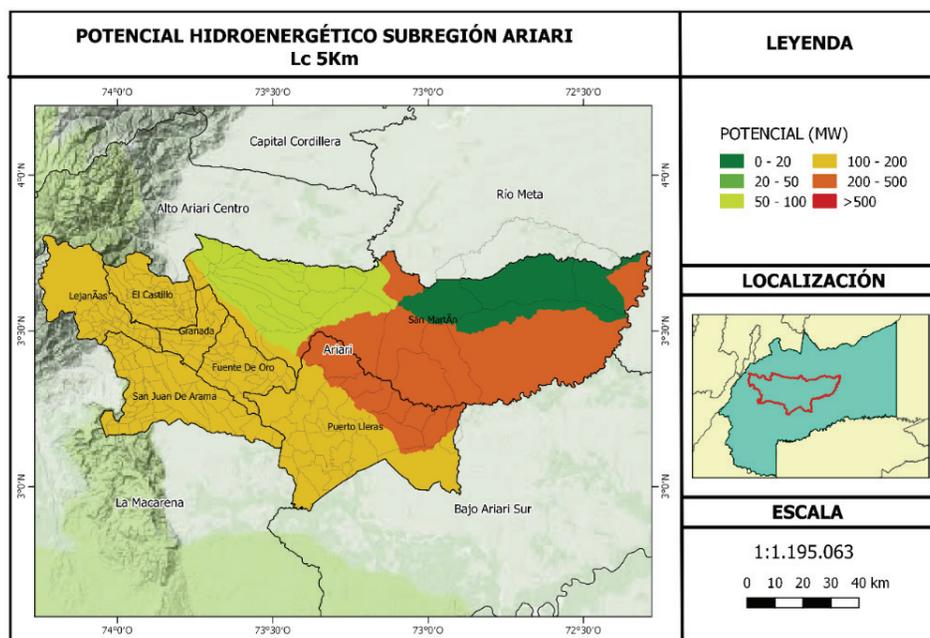
Figura 52. Potencial hidroenergético en la subregión Ariari Lc - 1km



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

Para una longitud horizontal de 5km la zona con mayor capacidad para la instalación de centrales hidroeléctricas a filo de agua corresponde al oriente de San Martín con un potencial que se encuentra en un rango de 200 MW a 500 MW. En Lejanías, el Castillo, Granada, Fuente de Oro, el centro y sur de Puerto Lleras, regiones atravesadas por el rio Meta e inclusive San Juan de Arama el potencial oscila entre 100 y 200 MW. En la zona norte de la subregión los indicadores son bajos especialmente en las veredas Santa Teresa del Camoa, Cumaralito y la Cristalina. Estas características se reflejan en la *Figura 53*.

Figura 53. Potencial hidroenergético en la subregión Ariari Lc - 5km



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

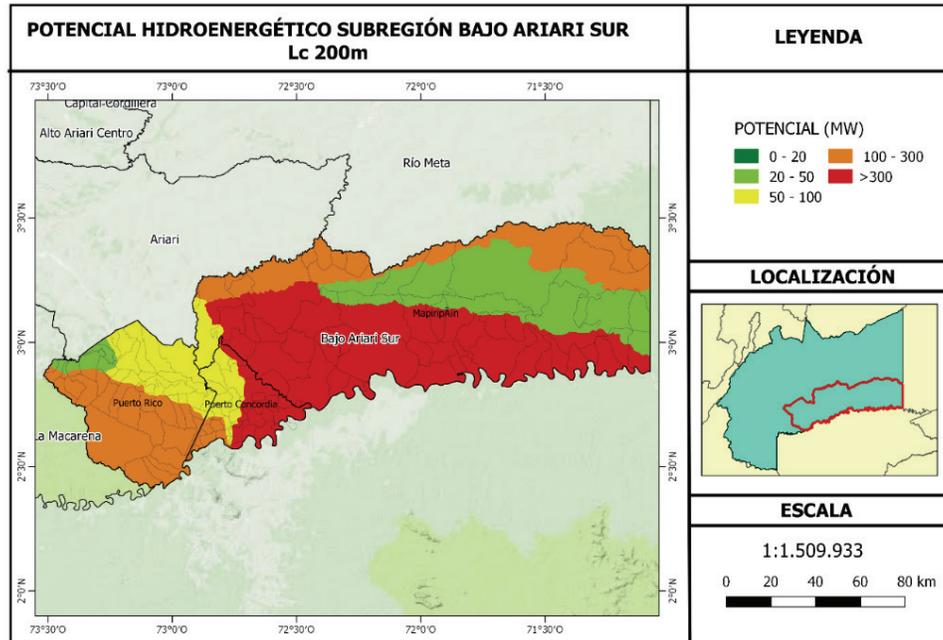
3.5.3 Subregión Bajo Ariari Sur Lc: 200metros, 1km y 5km

En la subregión Bajo Ariari Sur el potencial hidroenergético asciende los 300 MW en gran parte del centro y sur del municipio de Mapiripan y al oriente de Puerto Concordia. Las zonas que limitan con Puerto Gaitán, San Martín y Vista Hermosa se encuentran entre 100 a 300 MW. La zona recorrida por las aguas del río Meta presenta una capacidad de instalación entre 50 a 100 MW, el resto de la subregión presenta un potencial que no supera los 50 MW, como muestra la *Figura 54*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

171

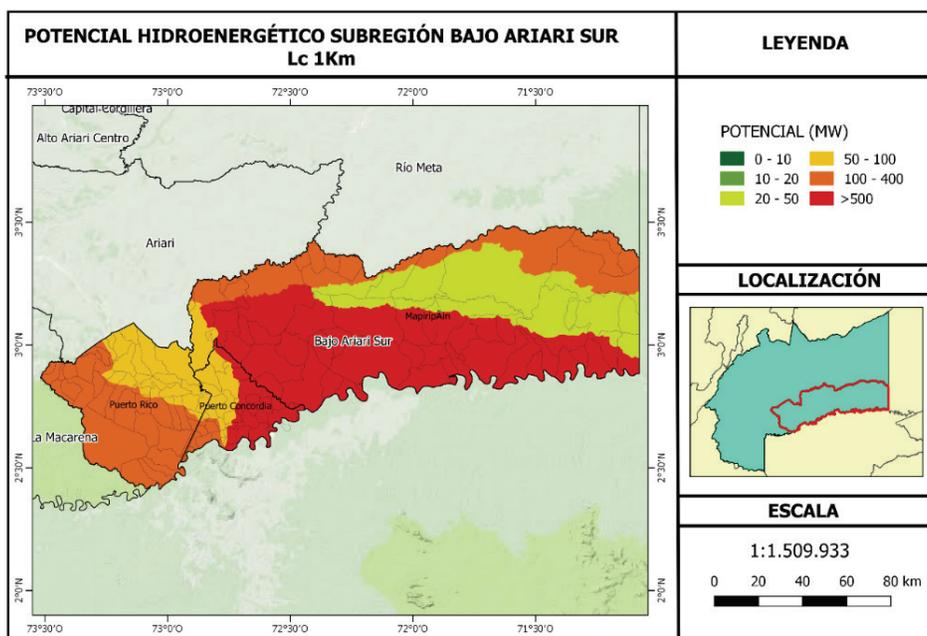
Figura 54. Potencial Hidroenergético en la Subregión Bajo Ariari Sur Lc - 200m



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

En la *Figura 55* se presenta un aumento del potencial especialmente en el municipio de Mapiripán, allí gran parte de su territorio tiene una capacidad de instalación superior a 500 MW. Al norte y oriente de la subregión se tiene un potencial que oscila entre 100 MW y 400 MW, la zona recorrida por el río Meta tiene una capacidad entre 50 y 100 MW y el centro de Mapiripán tiene la menor capacidad de la subregión con un rango entre 20 y 50 MW, esto para una longitud horizontal de 1km.

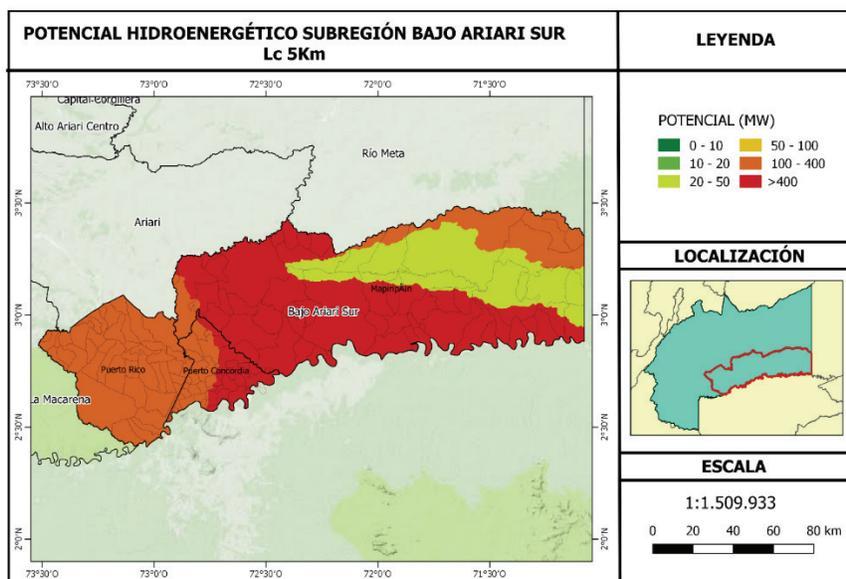
Figura 55. Potencial hidroenergético en la subregión Bajo Ariari Sur Lc - 1km



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

Como se observa en la *Figura 56* el potencial hidroenergético para una longitud horizontal de 5km es superior a 400 MW al sur en límite con el departamento del Guaviare y al norte en límite con San Martín y el occidente de Puerto Gaitán. En Puerto Rico, el occidente de Puerto Concordia y el norte de Mapiripán, la capacidad oscila entre 100 y 400 MW, en el centro de este municipio se presenta el menor potencial de la subregión con apenas 20 a 50 MW.

Figura 56. Potencial hidroenergético en la subregión Bajo Ariari Sur Lc - 5km



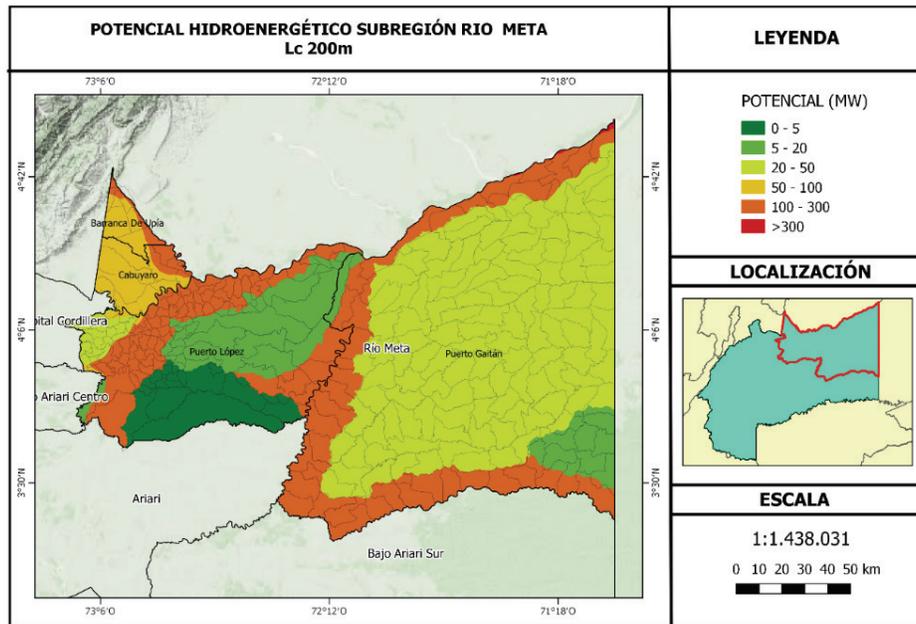
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

3.5.4 Subregión Río Meta – Lc: 200 metros, 1km y 5km

De acuerdo con la *Figura 57* los municipios de Cabuyaro y Barranca de Upía presentan el mayor potencial hidroenergético en la subregión Río Meta para una longitud horizontal de 200m con una capacidad de instalación que oscila entre 100MW y 300MW en las veredas que limitan con el departamento de Casanare y 50MW a 100MW en el resto de su territorio. En general la mayor capacidad de instalación se encuentra en los límites de los municipios con un potencial que oscila entre 100Mw y 300MW a excepción de la zona sur de Puerto López donde se presenta el menor potencial de la subregión. En Puerto Gaitán el potencial que predomina se encuentra en un rango de 20MW a 50Mw.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 57. Potencial hidroenergético de la subregión Río Meta Lc: 200m

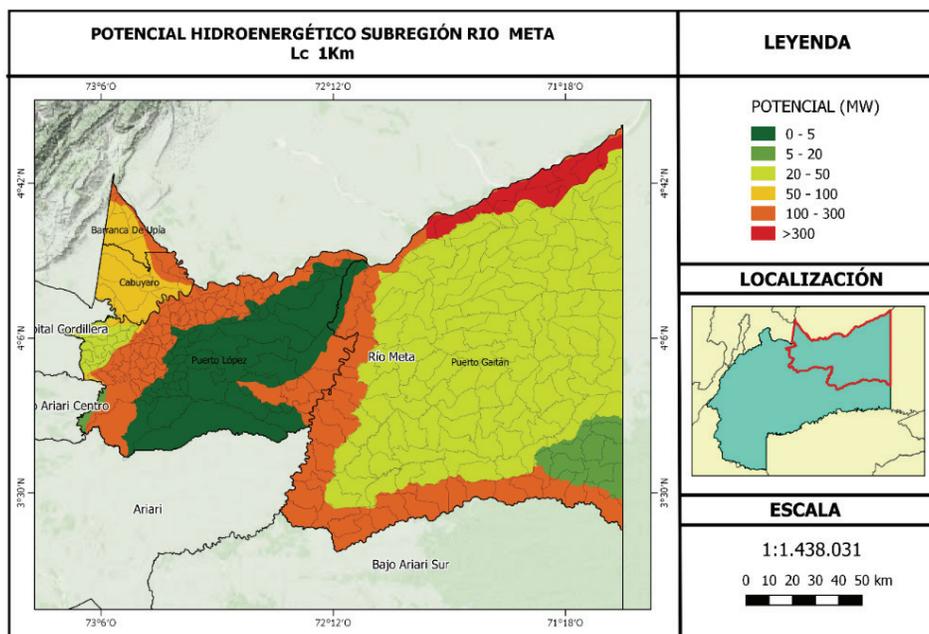


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

En la *Figura 58* se presenta el potencial hidroenergético de la subregión a una longitud horizontal de 1km, se observa que conserva las características descritas a partir de la figura anterior a excepción del norte del municipio de Puerto Gaitán donde el potencial supera 400MW y, además, se evidencia una disminución en la capacidad de instalación en la zona que corresponde al centro del municipio Puerto López.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

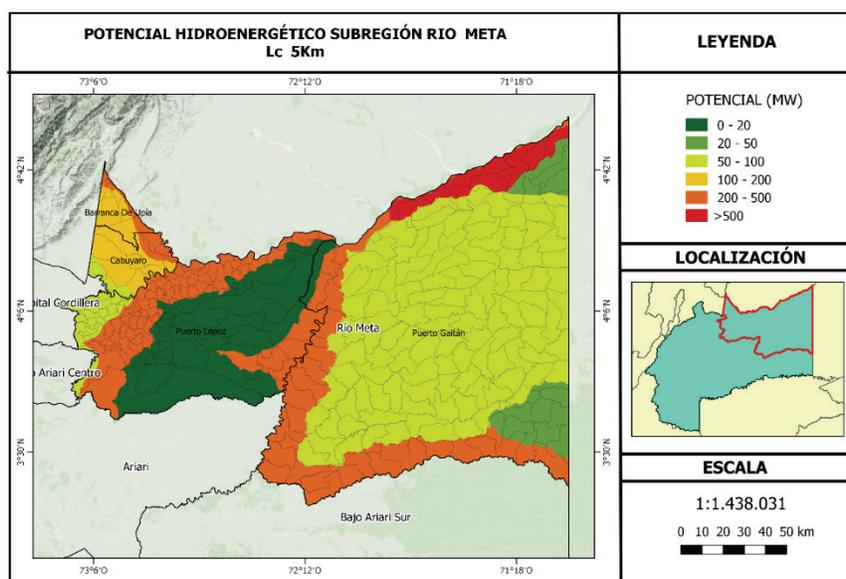
Figura 58. Potencial hidroenergético de la subregión Río Meta Lc: 1km



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

Como se observa en la *Figura 59* el potencial es superior a 500MW en el nororiente de la subregión y se encuentra en un rango de 200MW a 500MW en las veredas que limitan con el departamento de Casanare, el municipio de Maripipan y los límites de Puerto López con Cabuyaro y Puerto Gaitán. Este último presenta en la mayoría de su territorio una capacidad de instalación que oscila entre 50MW y 100MW. En contraste, el menor potencial corresponde al centro del municipio Puerto López, pues no supera 20MW.

Figura 59. Potencial hidroenergético de la subregión Río Meta Lc: 5km



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

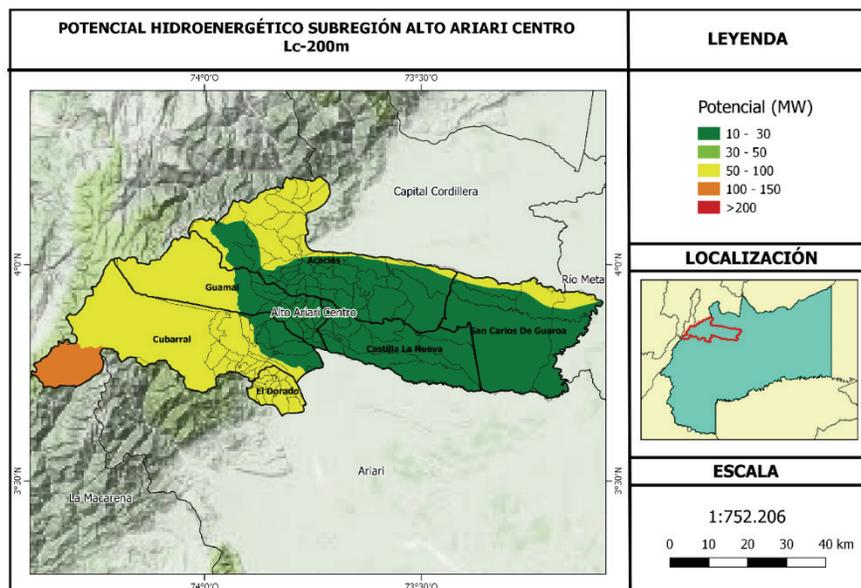
3.5.5 Subregión Alto Ariari Centro – Lc: 200m, 1km y 5km

En la *Figura 60* se presenta el potencial hidroenergético de la subregión Alto Ariari Centro para una longitud de 200m, la potencia máxima se alcanza en el municipio de Cubarral en límite con la Uribe alcanzando 150 MW, en los municipios de Cubarral, el Dorado, Guamal y la región que limita con Villavicencio la potencia oscila entre 50 MW y 100 MW. La menor capacidad se presenta en Castilla la Nueva, San Carlos de Guaroa, gran parte de Acacias y el oriente de Guamal, allí la potencia oscila entre 10 MW y 30 MW.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

177

Figura 60. Potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro Lc-200m

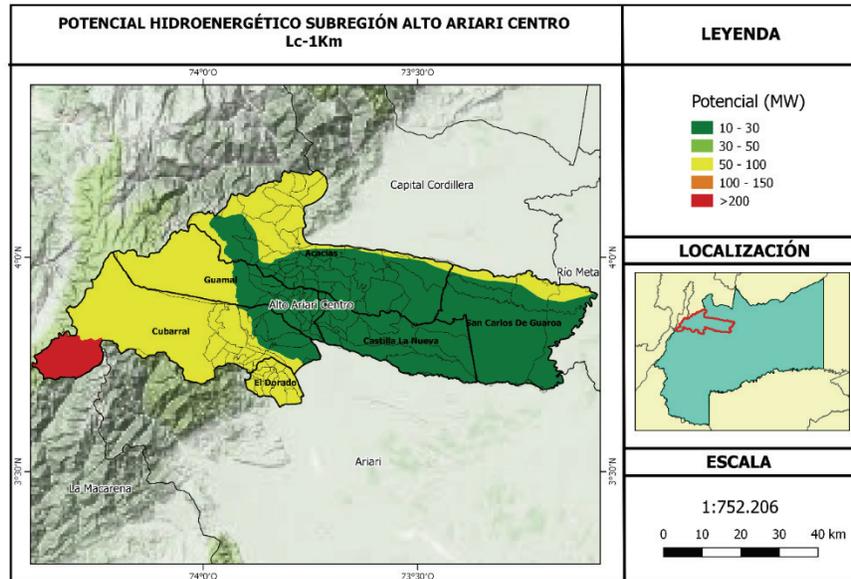


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

En el mapa de potencial hidroenergético de la subregión para una longitud horizontal de 1km el municipio de Cubarral, que limita con Uribe, presenta una potencia máxima por encima de 150 MW, este comportamiento se observa en la Figura 61.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 61. Potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro Lc-1km

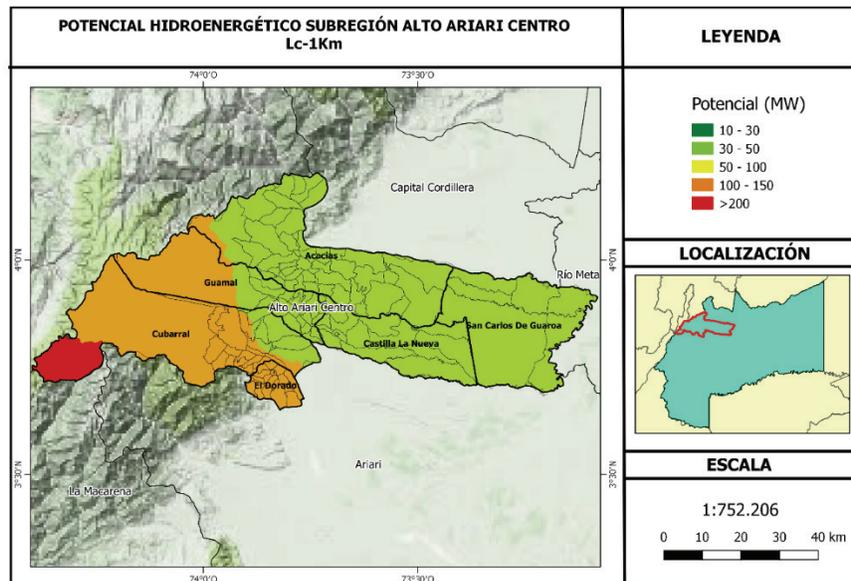


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

Para una longitud horizontal de 5km la zona con mayor capacidad nuevamente corresponde al municipio de Cubarral con un promedio mayor a 200 MW. Para la zona correspondiente a Cubarral, el Dorado y el occidente de Guamal la potencia máxima para pequeñas centrales hidroeléctricas a filo de agua oscila entre 100 MW y 150 MW, por otra parte, el oriente de la subregión Alto Ariari Centro el potencial hidroenergético registrado es bajo, correspondiendo a un rango que va desde los 50 hasta los 100 MW, ver Figura 62.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 62. Potencial hidroenergético en la subregión Alto Ariari Centro Lc-5km



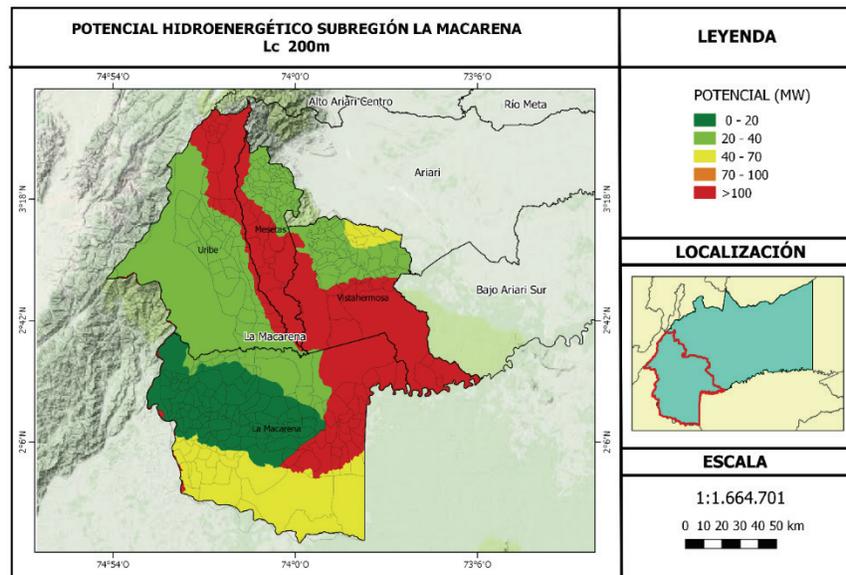
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

3.5.6 Subregión La Macarena – Lc: 200m, 1km y 5km

El potencial hidroenergético en los municipios de la Uribe, Mesetas y Vista Hermosa a una longitud horizontal de 200m oscila entre 20 a 40MW, a excepción de la franja que inicia al norte del municipio de la Uribe y que recorre un trayecto pasando por el sur de Mesetas y Vista Hermosa, y el nororiente de la Macarena donde el potencial se encuentra por encima de 100MW. Al norte del municipio de Vistahermosa y al sur de la Macarena se presenta una potencia que oscila entre 40MW a 70MW, esto se observa en la *Figura 63*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 63. Potencial hidroenergético en la subregión La Macarena Lc-200m

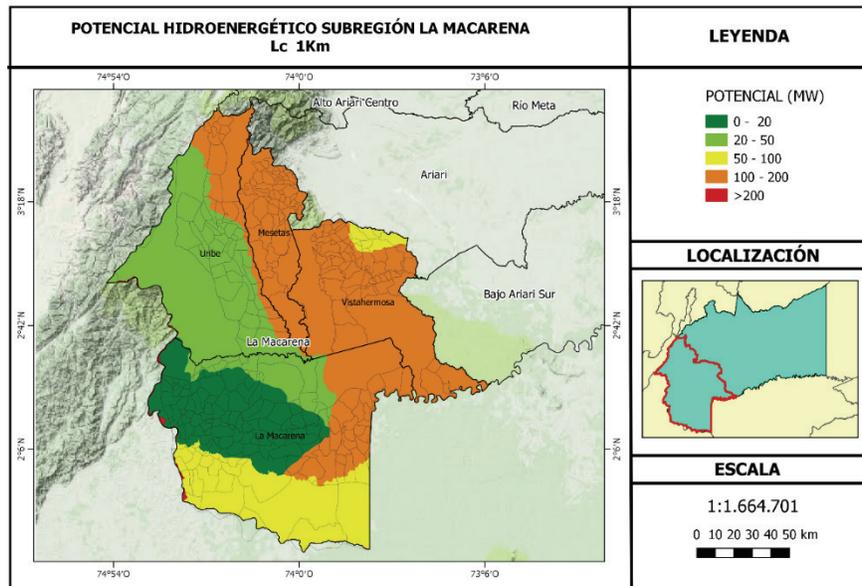


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

En la *Figura 64* se presenta el potencial para una longitud horizontal de 1km, la menor capacidad de instalación se presenta nuevamente al oriente del municipio de la Macarena con una potencia que oscila entre 0 a 20MW, seguido por el occidente del municipio de la Uribe donde el potencial oscila entre 20 a 50MW. El nororiente de la subregión La Macarena que comprende los municipios de Mesetas, Vistahermosa y el norte de la Uribe se encuentran en un rango de 100 a 200MW.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 64. Potencial hidroenergético en la subregión La Macarena Lc-1km



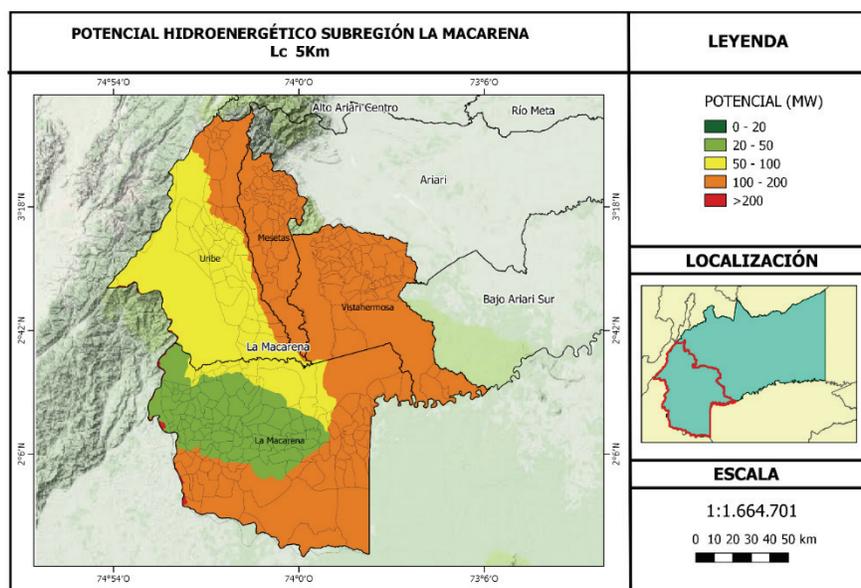
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

Como se puede observar en la *Figura 65* potenciales al occidente de la Macarena con un rango entre 20 a 50MW, en la Uribe entre 50 a 100MW y en el resto del territorio la capacidad para la instalación de centrales hidroeléctricas a filo de agua entre 100 a 200MW.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

182

Figura 65. Potencial hidroenergético en la subregión La Macarena Lc-5km



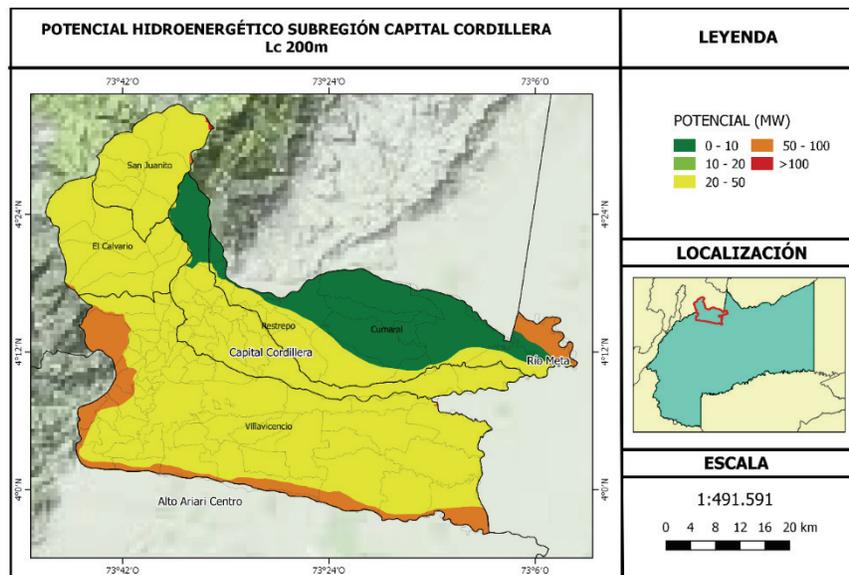
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

3.5.7 Subregión Capital Cordillera – Lc: 200m, 1km y 5km.

En la subregión Capital Cordillera con una longitud horizontal de 200m el mayor potencial hidroenergético se presenta al sur de Villavicencio en el límite con Acacias, San Carlos de Guaroa y, además, al nororiente en la Inspección Veracruz. En los municipios de San Juanito, El Calvario, Villavicencio, Restrepo y la zona de Cumaral que limita con este municipio la capacidad se encuentra en un promedio de 20 a 50 MW. La zona con menor potencial corresponde a la vereda Santa Lucia en Restrepo y gran parte del municipio de Cumaral, encontrándose en un rango de 0 a 10 MW, ver *Figura 66*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 66. Potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera Lc-200m

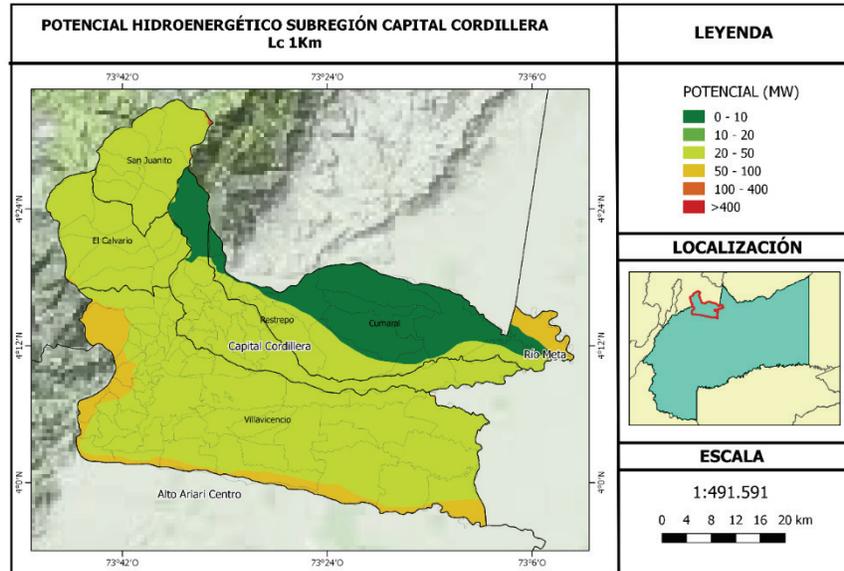


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

De acuerdo con la *Figura 67* la zona más apta para la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas a una longitud horizontal de un kilómetro corresponde a las veredas que limitan con Acacias, San Carlos de Guaroa y Cabuyaro, cuyo potencial se encuentra entre 50MW y 100MW. El menor potencial corresponde al municipio de Cumaral y algunas veredas de Restrepo que limitan con el departamento de Cundinamarca. Las capacidades en los demás municipios de la subregión oscilan entre 20MW a 50MW.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

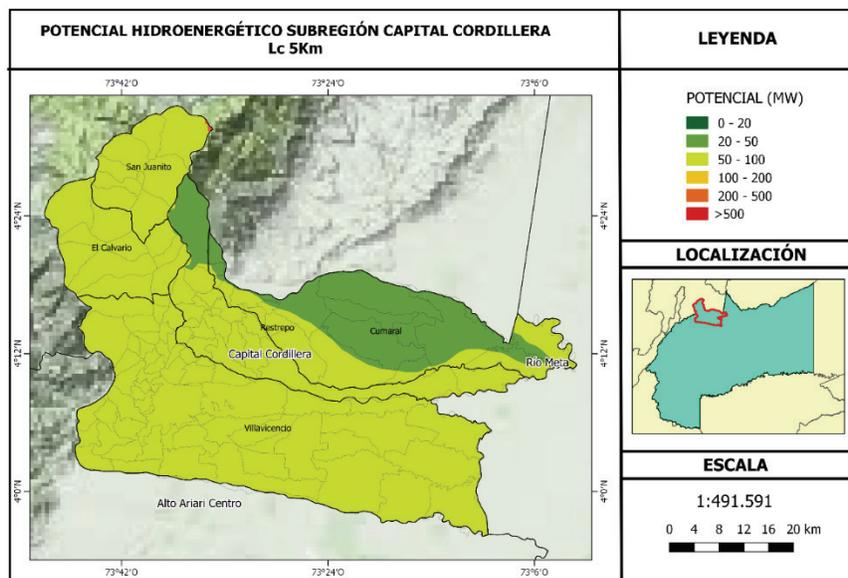
**Figura 67. Potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera Lc-
 1km**



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

En una longitud horizontal de 5km presenta una disminución en el potencial hidroenergético. En la *Figura 68* se identifica un potencial predominante de 50MW a 100MW, a excepción de la zona nororiental del municipio de Cumare y la región noroccidental de Restrepo.

Figura 68. Potencial hidroenergético en la subregión Capital Cordillera Lc-5km



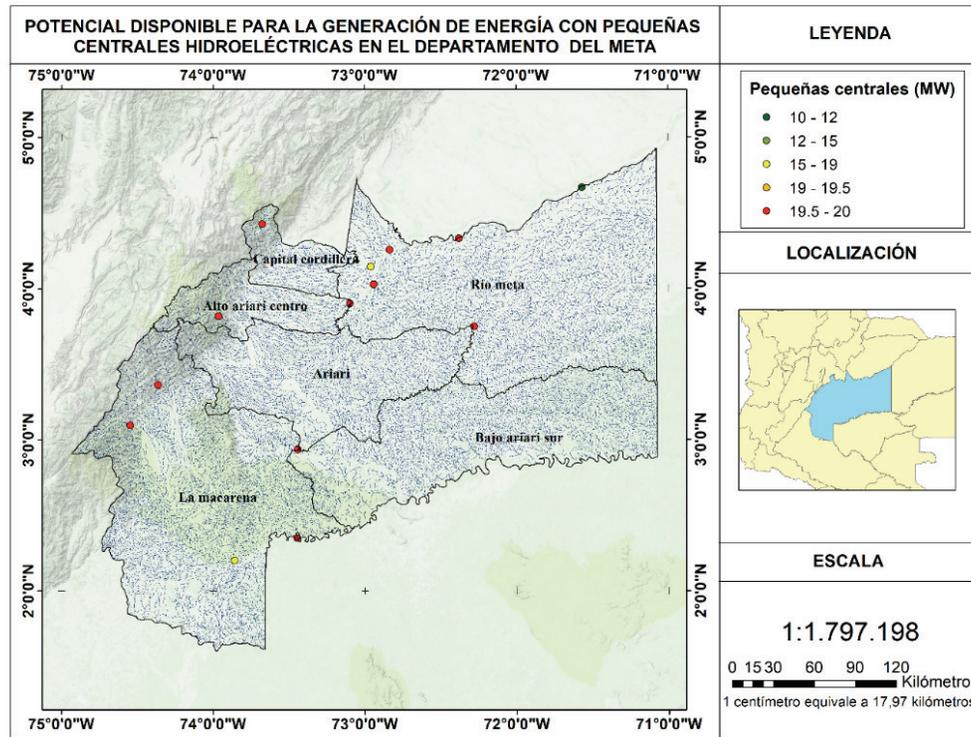
Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia.

3.6 Evaluación teórica del potencial hidroenergético en el departamento del Meta según la UPME

El atlas hidroenergético 2015, suministra información acerca de la ubicación de sitios óptimos y el tramo del río en el que se presenta mayor potencial hidroeléctrico aprovechable. En la *Figura 69*, se muestra la ubicación de los sitios factibles identificados para la generación de pequeñas centrales hidroeléctrica en el departamento del Meta.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 69. Potencial disponible para pequeñas centrales hidroeléctricas



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

Las centrales hidroeléctricas se clasifican de acuerdo a su capacidad de transformación de energía, las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) cuentan con una capacidad instalada de 500 y 20000 kW (UPME, 2015). De esta manera la UPME identificó los siguientes potenciales disponibles de fuentes hídricas que pueden ser implementados, como se observa en la *Tabla 26*.

**Tabla 26. Potencial de fuentes hídricas para Pequeñas Centrales
 Hidroeléctricas**

Fuente Hídrica	Capacidad (MW)
Río Metica (Guamal - Humadea)	19,69
Río Ariari	19,91
Río Guatiquía	19,84
Río Güejar	19,89
Río Guayabero	19,72
Río Guape	19,89
Río Losada	17,58
Alto Guaviare	19,79
Directos al Río Meta entre Ríos Humea y Upía (mi)	19,67
Directos al Meta entre Ríos Cusiana y Cravo Sur (mi)	10,73
Directos Río Metica entre Ríos Guayuriba y Yucao	19,83
Río Negro	18,63
Río Manacacías	19,99
Río Túa y otros directos al Meta	19,69

Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas Potencial Hidro energético de Colombia.

3.7 Potencial hidroenergético en el departamento del Meta

Con el fin de estimar el potencial hidroenergético para el departamento se utilizará la ecuación propuesta por la UPME en su atlas hidroenergético (ver Ec1),

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

188

empleando los datos de las estaciones de medición en tierra, descritos en las secciones anteriores.

$$P = \gamma * Q * h * \mu \quad \text{Ec1.}$$

Dónde:

P es el Potencial hidroenergético en kW (P, P1, P2, P3, P4)

γ es el peso específico del agua

Q es el caudal turbinado

μ es la eficiencia del sistema

h es el valor de la caída hidráulica usada desde 25 hasta 100m (h1, h2, h3, h4).

Una forma de obtener la estimación de potencial hidroenergético es determinando el caudal de las diferentes líneas de drenaje con la ayuda de **HEC-HMS**. Este es un software de simulación de procesos hidrológicos capaz de realizar esta tarea por medio de diferentes modelos basados en información geográfica e hídrica real de un área determinada.

Para realizar el cálculo del caudal con el software HEC-HMS se toma como fuente la información sobre precipitación proporcionada por cada una de las estaciones meteorológicas en tierra del IDEAM presentes en el departamento. Es indispensable poseer información actualizada, real y de alta calidad sobre cada una de las cuencas y subcuencas pertenecientes al área de estudio.

Por ello, para efectos del presente documento no es posible realizar esta estimación para el departamento del Meta ya que no se cuenta con información

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

189

clave para llevar a cabo la simulación. Los datos faltantes se relacionan con la pendiente del cauce, el tiempo de concentración (tiempo que tarda el agua en discurrir desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida) y la escurrentía en el área de cada subcuenca.

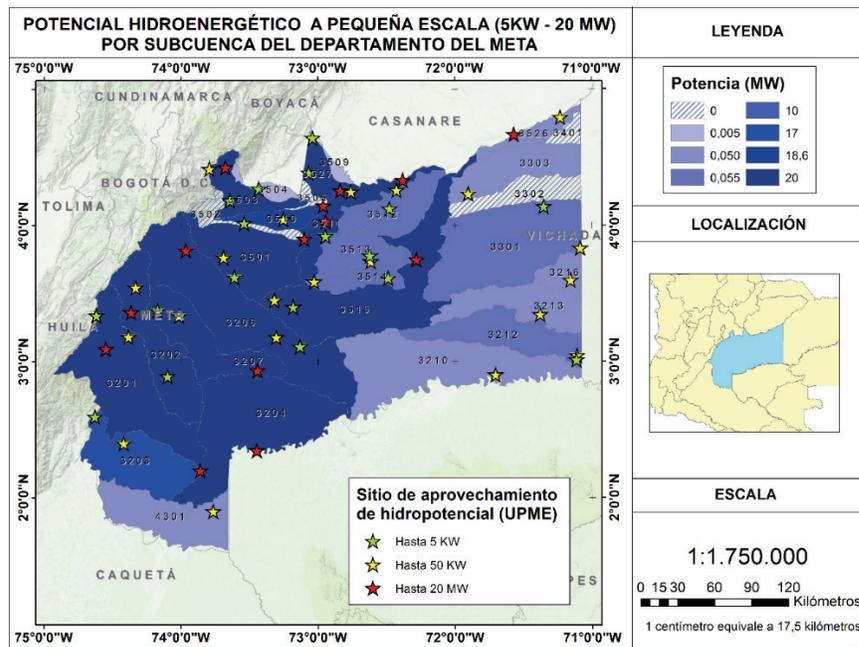
De esta manera, el PERS Orinoquía para el departamento del Meta acoge el mapa de potencial hidroenergético propuesto por la UPME en su Atlas Hidroenergético 2015, el cual expresa de forma específica la capacidad de generación de energía a pequeña y gran escala en el departamento del Meta.

A continuación, se presenta el mapa de generación a pequeña escala (*Figura 70*), donde se muestra el potencial por subcuenca, nombrada según la codificación propuesta por el IDEAM en su documento **zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia**, en el cual se toman como base los sitios idóneos para la implementación de proyectos de centrales hidroeléctricas enfocados a zonas no interconectadas.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

190

Figura 70. Potencial hidroenergético a pequeña escala por subcuenca

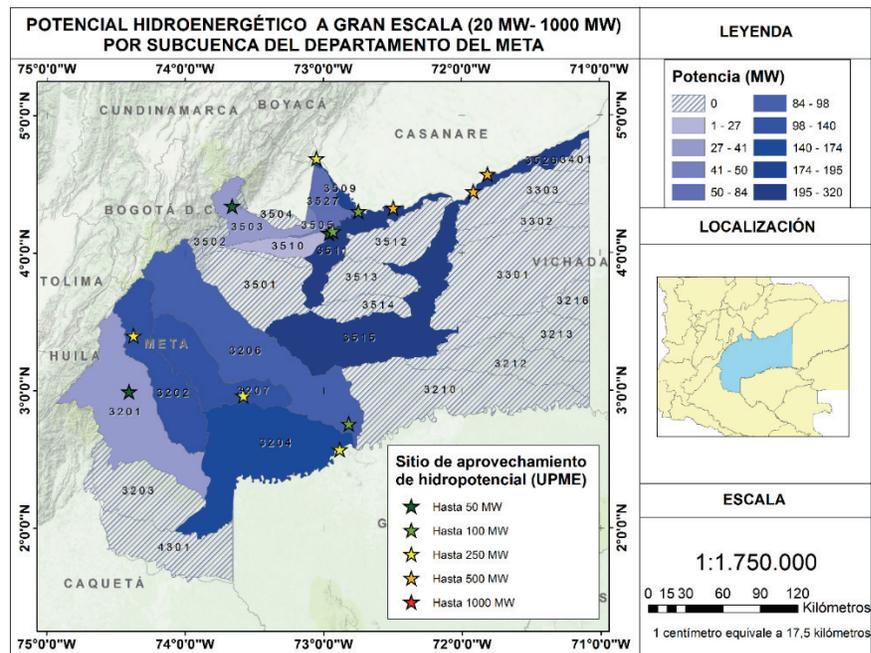


Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia y zonificación IDEAM.

A continuación, se presenta el mapa de generación a gran escala, donde los sitios identificados están orientados a identificar zonas interconectadas con participación obligada en el despacho eléctrico, ver Figura 71.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 71. Potencial hidroenergético a gran escala por subcuenca



Fuente. Elaboración propia con datos del Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia y zonificación IDEAM.

3.8 Resultados

El análisis que se llevó a cabo sobre el recurso Hidroenergético del departamento de Meta permite identificar que los municipios con mayor capacidad para generar o instalar pequeñas centrales hidroeléctricas son Castilla la Nueva, San Carlos de Guaroa, gran parte de Acacias, el oriente de Guamal y el centro de Puerto López.

Para la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas PCH, se deben realizar estudios sobre las necesidades energéticas, las cuales puedan establecer de manera adecuada la oferta energía, también se debe llevar a cabo una

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

192

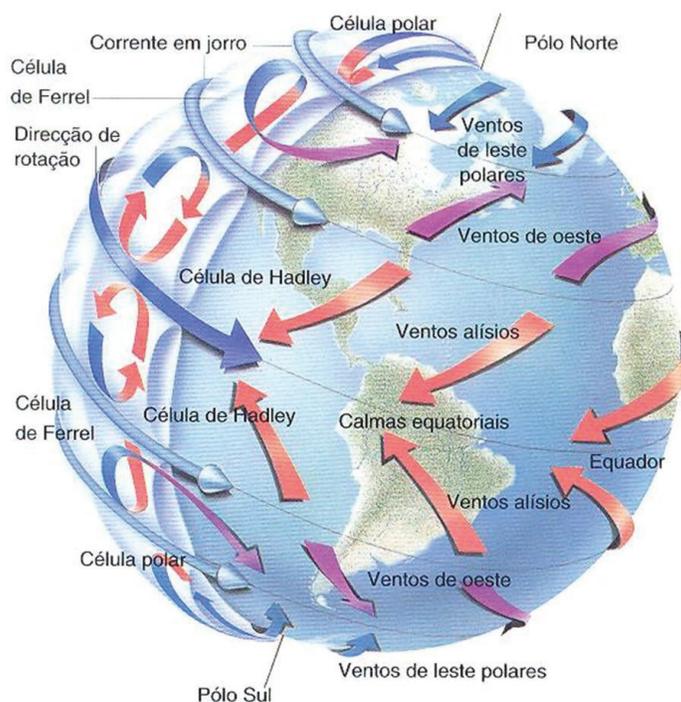
caracterización geográfica, hídrica, social y ambiental la cual permita establecer la viabilidad de estos proyectos energéticos en el departamento del Meta.

El territorio en general presenta un régimen monomodal con un promedio de precipitación de 4000mm. La subregión Alto Ariari Centro debido a la presencia de la cordillera oriental alcanza a tener una precipitación máxima de 5000mm.

4. POTENCIAL EÓLICO

Otro de los recursos disponibles en la naturaleza de forma inagotable para su aprovechamiento es el viento. Su movimiento a lo largo de la atmósfera terrestre, como se observa en la *Figura 72* es el resultado de la energía solar absorbida en la superficie, la cual provoca cambios de presión atmosférica, que junto con la rotación de la Tierra genera el movimiento de las corrientes de aire en la atmósfera mediante un fenómeno llamado efecto Coriolis (Mur Amada).

Figura 72. Tendencia de giro del viento generada por el efecto Coriolis



Fuente. Tomado de infohuracanes.wordpress.com.

Por otro lado, el aprovechamiento de la energía contenida en el viento es producto de la transformación de la energía cinética de las masas de aire en energía mecánica o eléctrica. Así se establecen las dos principales aplicaciones del viento

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

194

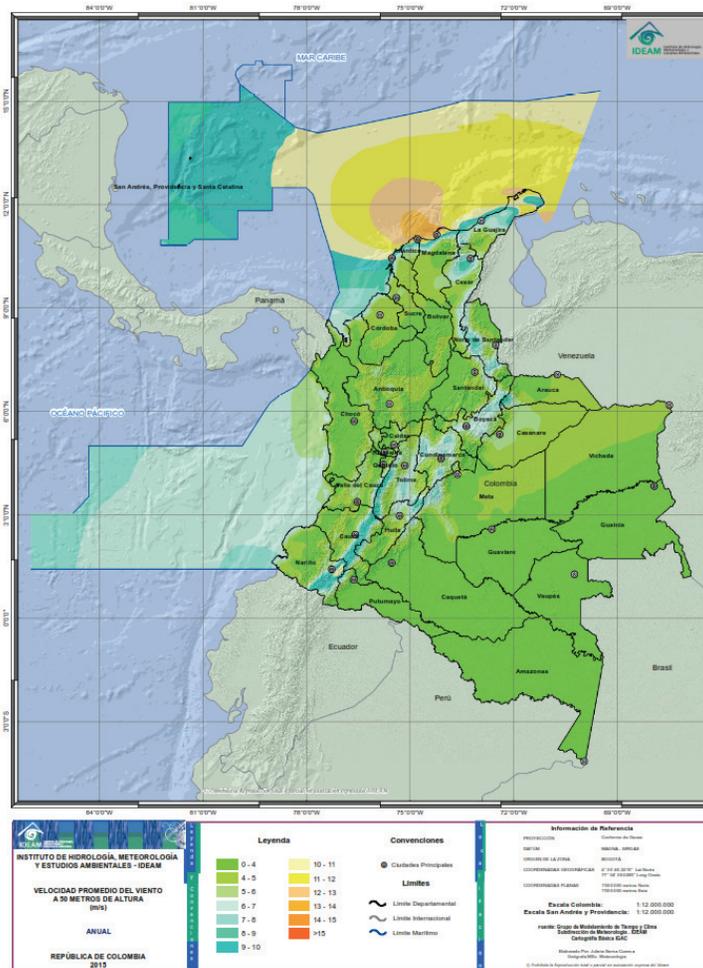
en términos energéticos, la primera, desarrollada algunos siglos atrás mediante la implementación de sistemas de bombeo de agua; y la segunda, gracias al desarrollo tecnológico, se concentra en la producción de energía eléctrica mediante sistemas eólicos (Energía, 2008).

El atlas de viento de Colombia realizado por el IDEAM en el año 2015 (ver *Figura 73*) dispone de información de la velocidad del viento en superficie, a 50 m, 80 m, 100 m, 150 m, 200 m y 250 m de altura a lo largo del territorio nacional. No obstante, para el presente estudio la resolución de los datos no nos permite realizar un análisis específico de las zonas con mayor potencial en el departamento del Meta.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

195

Figura 73. Velocidad del viento promedio anual a 50 m de altura.



Fuente: Atlas de viento de Colombia, IDEAM.

4.1 Metodología de análisis

La primera fase de la metodología consiste en la recopilación de información correspondiente a la velocidad del viento (máxima, media y mínima), la dirección y recorrido del viento (registrada mediante las rosas de los vientos) registradas en las distintas estaciones meteorológicas en tierra del IDEAM.

Adicionalmente se consideran las fuentes de información del atlas global de la IRENA en cuanto a velocidad del viento de las bases de datos DTU, CENER y 3TIER, así como información sobre la dirección del viento según el atlas global de viento del DTU, puntos de registro satelital de la NASA y el mapa de rugosidad superficial del atlas de viento del IDEAM, con el fin de lograr una caracterización completa del potencial del recurso eólico.

Luego de analizar la información por medio de mapas para cada una de las subregiones y las gráficas correspondientes a los datos de cada estación del IDEAM, se procede a aplicar el *modelo de perfil de Lysen*, donde se cruzan las variables de rugosidad superficial y las capas ráster de velocidad del viento proporcionadas por la IRENA, logrando estimar la velocidad del viento a 15 metros (altura promedio de los sistemas eólicos de baja potencia).

4.2 Estaciones meteorológicas de potencial eólico en el Meta

Según los datos suministrados por el IDEAM, cinco de las 148 estaciones meteorológicas localizadas en el departamento proveen datos de velocidad del viento, además, cuatro de ellas se encuentran activas y una está suspendida. En la *Tabla 27* se puede observar los detalles de cada una de las cinco estaciones idóneas para el análisis del potencial eólico.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

197

En cuanto a la información de la NASA, se dispone de información en siete puntos de registro satelital, de los cuales cuatro están distribuidos en las áreas de los municipios de Villavicencio, Acacias, Puerto López y Puerto Rico, y los tres puntos restantes se encuentran ubicados en San José del Guaviare, Orocué y San Vicente del Caguan. Estos últimos puntos se toman en cuenta debido a su cercanía a los límites del departamento.

Tabla 27. Ubicación de las estaciones

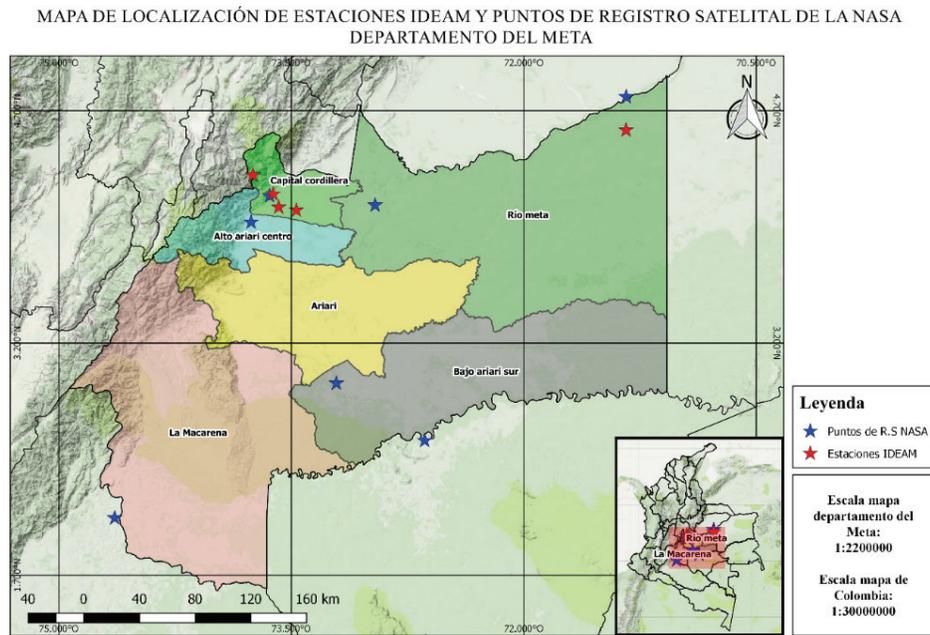
CÓDIGO	NOMBRE	CATEGORIA	MUNICIPIO	ALTITUD	INSTALACIÓN
33035010	Carimagua	Climatológica Ordinaria	Puerto Gaitán	200	15/05/1972
35025020	La Libertad	Climatológica Principal	Villavicencio	336	15/04/1968
35035020	Apto Vanguardia	Sinóptica Principal	Villavicencio	422	15/10/1924
35035090	Alto Del Tigre	Meteorológica Especial	El Calvario	3.530	15/07/1995
35035070	Unillanos	Climatológica Principal	Villavicencio	340	15/10/1983

Fuente. Datos tomados del catálogo de estaciones del IDEAM

Como lo muestra la *Figura 74*, hay mayor cobertura de estaciones del IDEAM en la subregión de Capital Cordillera, ya que cuenta con cuatro de las cinco estaciones con información de velocidad del viento, y la estación restante está ubicada en la subregión Río Meta. De esta manera, se aprecia la ausencia de estaciones del IDEAM en la subregión La Macarena y Ariari.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 74. Estaciones IDEAM y puntos de registro de la NASA



Fuente: *Elaboración propia.*

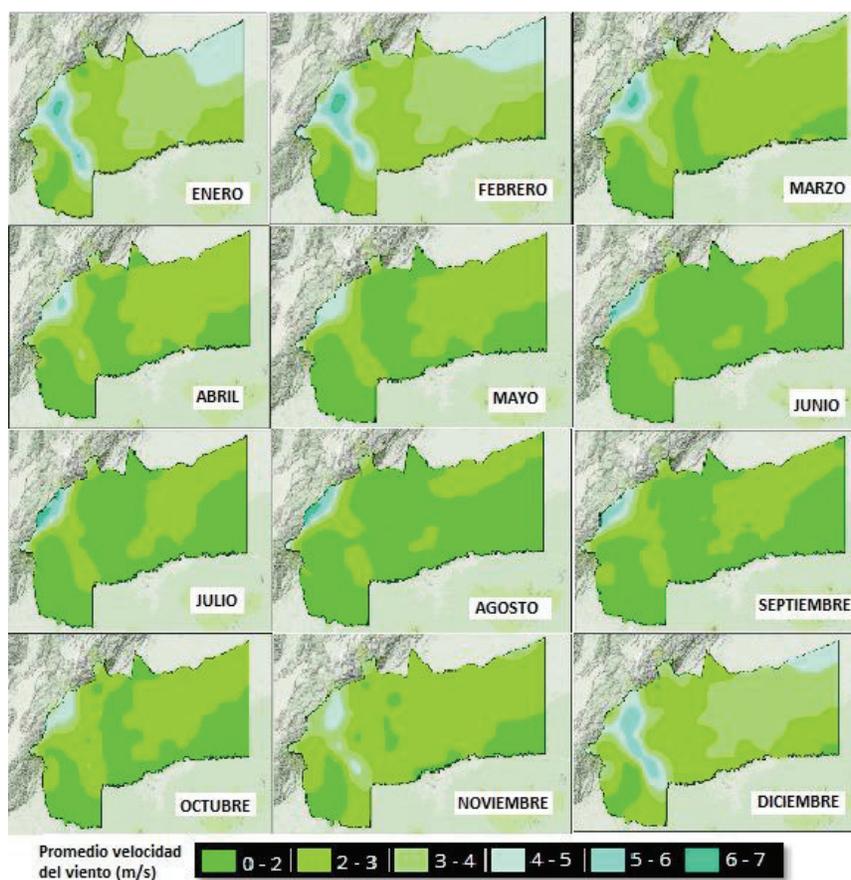
4.3 Análisis de la velocidad del viento según el Atlas Interactivo del IDEAM

En el atlas interactivo del IDEAM 2015 se encuentra el atlas de viento, el cual contiene información del comportamiento del viento sobre el territorio nacional, con valores promedio de velocidad del viento tanto mensual como anual.

Según la información del atlas de viento del IDEAM a 10 metros de altura de la *Figura 75*, los meses que evidencian menor potencial son junio y agosto, en los cuales se observa homogeneidad de potencial en la región suroccidental, centro y oriental del departamento, con valores entre 0 m/s a 2 m/s; a su vez, los meses de mayor potencial del recurso eólico son enero, febrero y diciembre, con un potencial

alto en las zonas correspondientes a las subregiones del Alto Ariari, Ariari y parte de La Macarena.

Figura 75. Velocidad promedio mensual del viento a 10 metros



Fuente: Atlas interactivo del IDEAM.

Durante el transcurso del año se puede observar una homogeneidad en la subregión de Río Meta con un promedio de 2 m/s a 3 m/s, a excepción de los tres meses con mayor potencial, en los cuales se registran valores entre 3 m/s y 5 m/s.

El análisis de la velocidad promedio anual del viento en el departamento se realiza a partir del mapa presente en el atlas interactivo del IDEAM, en la *Figura 76*

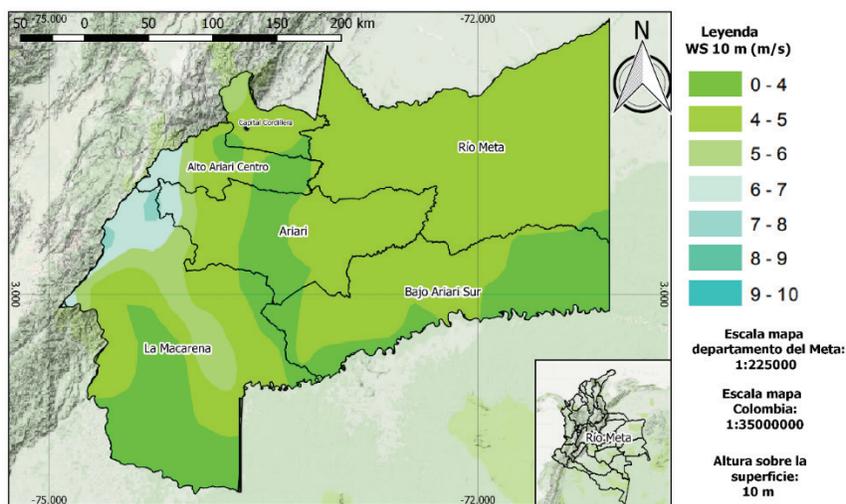
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

200

se puede apreciar la variación sobre la superficie del departamento, la zona con mayor potencial es la que corresponde parte de las Alto Ariari Centro, Ariari y La Macarena, con una rango de 3 m/s a 6 m/s, contrario a esto, se observa que la zona de menor potencial con un rango de 0 m/s a 2 m/s corresponde a parte de la subregión Bajo Ariari Sur, la parte oriente de la subregión Ariari y la mayor parte de superficie de la subregión La Macarena.

La velocidad que se presenta con mayor frecuencia en el departamento está en el rango de 2 m/s a 3 m/s ocupando gran parte de la subregión Río Meta, Capital Cordillera y otra pequeña parte de las subregiones La Macarena y Ariari.

Figura 76. Velocidad promedio anual del viento a 10 metros



Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas interactivo del IDEAM.

Por otro lado, de acuerdo con la información de velocidad promedio mensual del viento del IDEAM a 50 metros de altura de la *Figura 77*, se observa un patrón de potencial del recurso eólico similar al presentado en los vientos en superficie, es decir, en los meses de enero, febrero y diciembre se registran los valores máximos

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

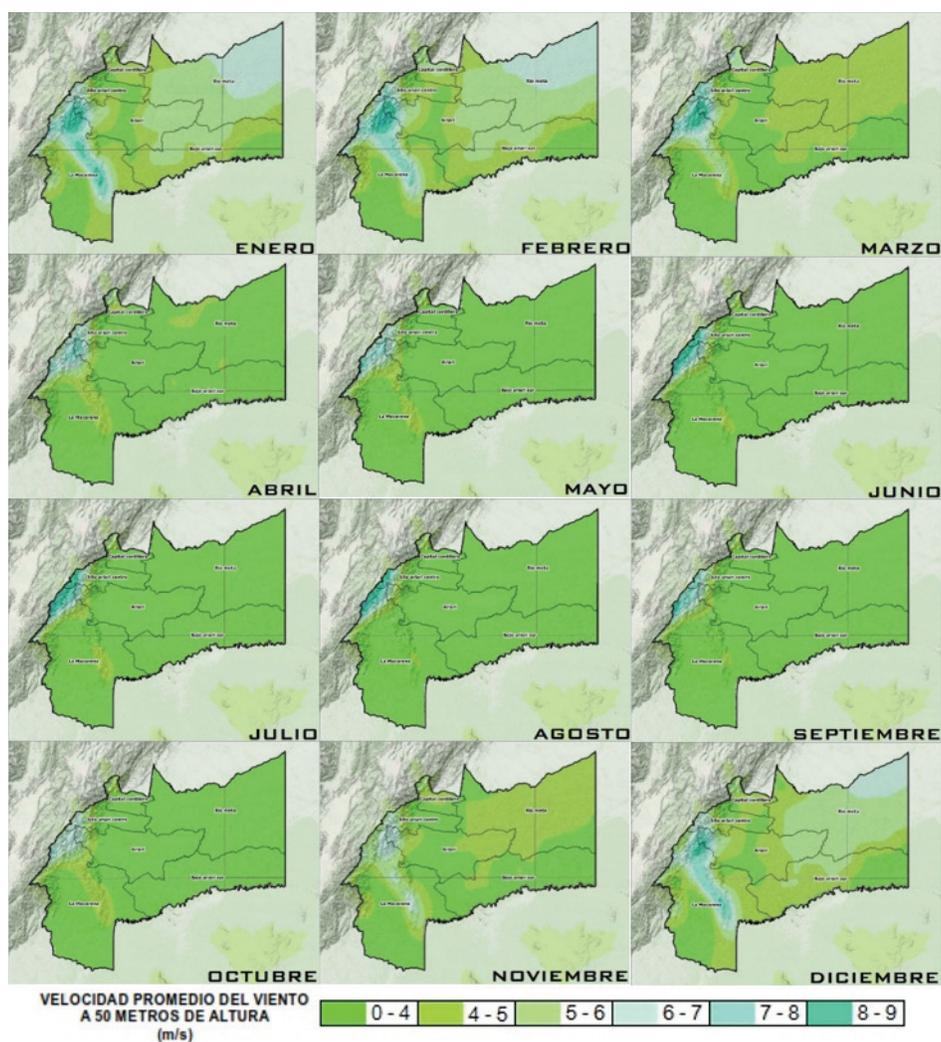
201

de velocidad del viento en el departamento, específicamente en zona nororiental de la subregión Río Meta y centro-norte de La Macarena, con valores entre 6 m/s a 9 m/s ; además, a lo largo del año se presentan velocidades por encima de 6 m/s en la zona norte de La Macarena, en cercanías al piedemonte de la cordillera oriental.

En cuanto al menor potencial eólico, se evidencia que durante los meses de abril a septiembre, la velocidad del viento es constante en gran parte del territorio, con valores que no superan los 4 m/s .

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 77. Velocidad promedio mensual del viento a 50 metros



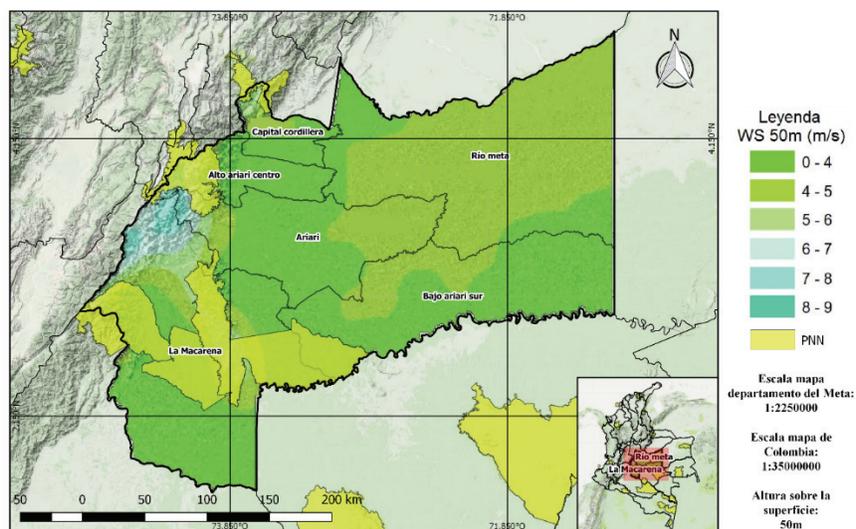
Fuente: Atlas interactivo del IDEAM.

A partir de la información de velocidad del viento promedio anual a 50 metros de altura de la *Figura 78*, se observa que la zona norte de la subregión La Macarena es la que evidencia el mayor potencial del recurso eólico a lo largo del año, con valores de hasta 8 m/s. Además, se destaca que estas zonas se encuentran por fuera de los límites de los PNN más cercanos, como la zona de reserva del Sumapaz

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

y serranía de La Macarena. Por otra parte, el resto del territorio presenta un comportamiento de la velocidad del viento homogéneo, con valores que no superan los 5 m/s.

Figura 78. Velocidad promedio anual del viento a 50 metros



Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas interactivo del IDEAM.

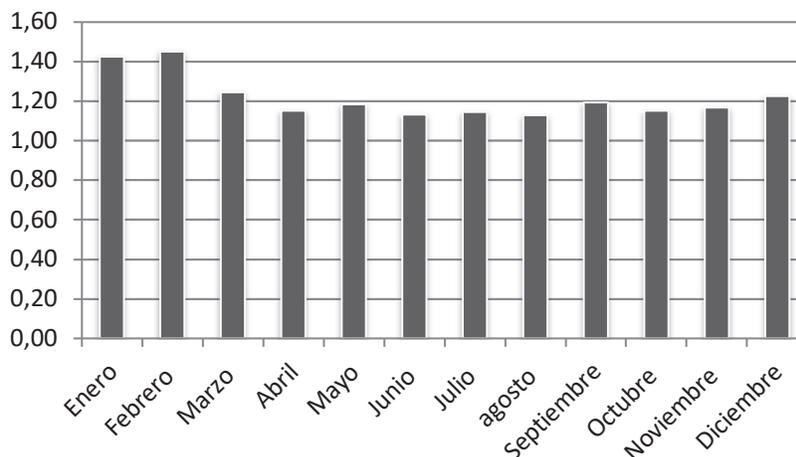
4.4 Análisis de la velocidad del viento según las estaciones del IDEAM

El análisis de los datos se desarrolla a partir de la información suministrada por el IDEAM y recopilada de los puntos de registro de la NASA a través de la herramienta RETScreen, posteriormente se realiza una comparación entre los datos de las diferentes fuentes de información: estaciones de interés del IDEAM, puntos de registro de la Nasa y fuentes de Atlas del IRENA (DTU, CENER Y 3TIER).

4.4.1 Estación La Libertad

Esta estación se encuentra en el municipio de Villavicencio, se cuenta con registro de datos de la velocidad del viento de 21 años, periodo comprendido entre el año 1990 hasta el 2003, sin registro de los años 1993 y 1994, en la *Gráfica 60* se muestra el promedio multianual del periodo de medición.

Gráfica 60. Promedio multianual velocidad del viento en la estación La Libertad



Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM.

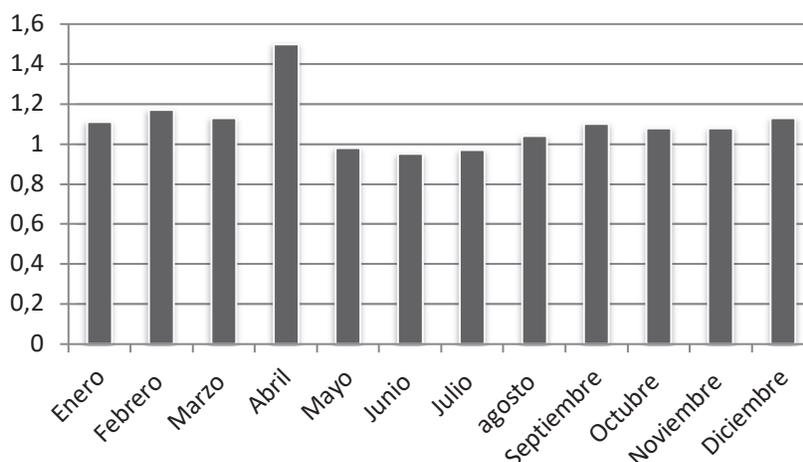
Los meses en los que se presenta mayor velocidad del viento son enero y febrero, los cuales su escala está entre 1,4 y 1,6 m/s, se aprecia que los demás meses manejan una escala de datos casi homogénea entre 1 y 1,2 m/s y que ningún dato se encuentra por debajo de 1 m/s.

4.4.2 Estación Aeropuerto Vanguardia

La estación Aeropuerto Vanguardia se encuentra en el municipio de Villavicencio, de esta estación se tiene registro de 26 años correspondientes al periodo

comprendido entre 1990 hasta el 2016. En la *Gráfica 61* se observa el promedio multianual de la velocidad del viento en dicho periodo.

Gráfica 61. Velocidad del viento en la estación Apto Vanguardia



Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM.

Según los datos suministrados de velocidad del viento el mes con mayor valor de velocidad es abril con una velocidad cercana a 1,6 m/s, se puede observar que los meses de mayo, junio y julio la velocidad es menor a 1 m/s estabilizándose de nuevo en el mes de agosto con el mismo comportamiento de los otros meses que se encuentran en el rango de 1 a 1,2 m/s.

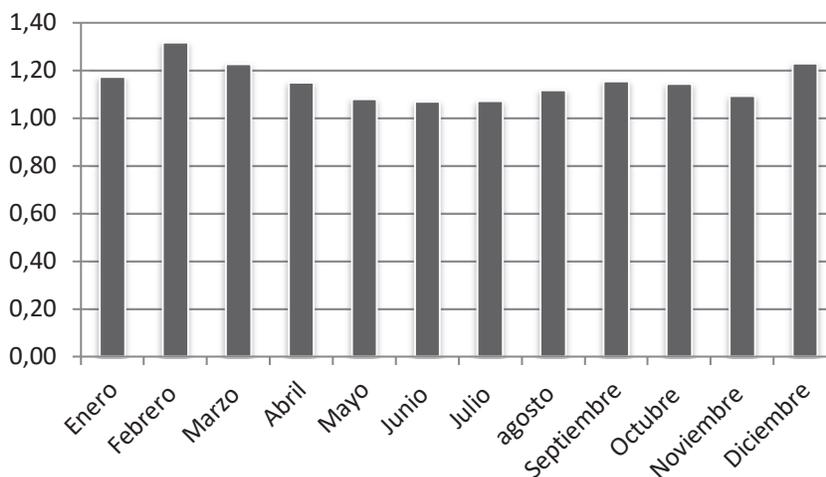
4.4.3 Estación Unillanos

Esta estación está en el municipio de Villavicencio exactamente en la vereda Barcelona, de esta estación se cuenta con información de 22 años, periodo comprendido entre los años 1991 hasta 2013, el consolidado de esta información se puede apreciar en la *Gráfica 62*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

206

Gráfica 62. Velocidad del viento en la estación Unillanos



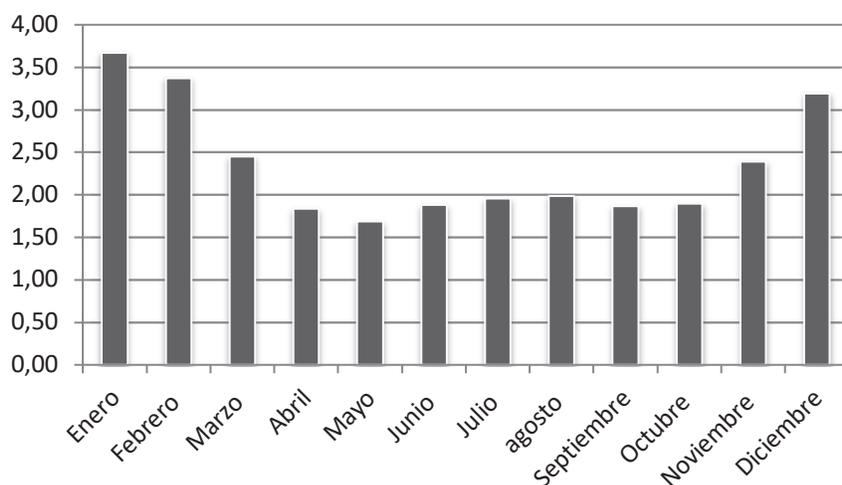
Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM.

El mes de mayor potencial en velocidad del viento registrado en el periodo de 22 años es febrero con un valor dentro del rango de 1,2 a 1,4 m/s, seguido por marzo y diciembre que alcanzan a tener un valor menor pero en el mismo rango, en particular los demás meses del año se encuentran en el mismo rango siendo el mes de junio y julio los que presentan menor valor en el rango de 1 a 1,2 m/s.

4.4.4 Estación Carimagua

Esta es una de las dos estaciones que se encuentran inactivas, situada en Puerto Gaitán se cuenta con información de 13 años periodo comprendida entre el año 1990 hasta 2003, con esta información se realizó un promedio multianual de cada mes el cual se evidencia en la *Gráfica 63*.

Gráfica 63. Velocidad del viento en la estación Carimagua



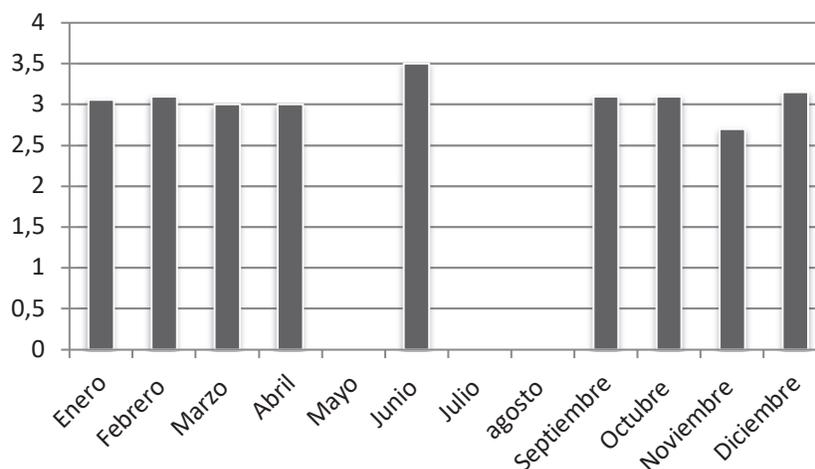
Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM.

Como se puede evidenciar el promedio por mes para esta estación es más alto que los anteriores, superando la escala de los 3 m/s en el mes de enero, febrero y diciembre, siendo el primer mes el de mejor potencial con una velocidad mayor a los 3,5 m/s, se puede resaltar de igual manera que ninguno de los otros meses es inferior a la escala de 1,5 a 2 m/s.

4.4.5 Estación Alto del Tigre

Esta estación se encuentra ubicada en el municipio de El Calvario, es otra de las estaciones inactivas en el departamento, se cuenta con poca o nula información de los meses durante 8 años, periodo comprendido entre el año 1995 hasta el 2003, la *Gráfica 64* muestra el promedio multianual realizado con la información.

Gráfica 64. Velocidad del viento en la estación Alto del Tigre



Fuente: Elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM.

Como lo muestra la gráfica anterior no se cuenta con información de los meses de mayo, julio ni agosto, se puede apreciar que junio es el de mayor potencial con una velocidad de 3,5 m/s, los otros meses son casi homogéneos entre la escala de 2,5 a un poco más de 3 m/s a excepción del mes de noviembre que el que menor potencial tiene con una velocidad cercana a 2,5 m/s.

4.4.6 Análisis y comparación de los puntos de registro de la NASA, estaciones del IDEAM y fuentes de información del IRENA

Los puntos de registro de la Nasa utilizados para la comparación con las estaciones del IDEAM son dos, los cuales se encuentran cercanos a estaciones del IDEAM, el punto de registro ubicado en el municipio de Villavicencio se compara con las estaciones Aeropuerto Vanguardia, Unillanos y La Libertad y el punto de medición ubicado en Orocué Casanare se compara con la información de la estación Carimagua, a su vez a través de la herramienta de QGIS se tiene la información para cada fuente de información del atlas de IRENA con respecto a las coordenadas

correspondientes a cada estación. En la *Tabla 28* se puede apreciar el comportamiento de la velocidad del viento registrada por cada fuente.

Tabla 28. Velocidad del viento del IDEAM, IRENA y Puntos de registro de la NASA

Nombre Estación	Estación IDEAM	Punto de registro NASA	DTU	CENER	3TIER	Promedio
La Libertad	1,22	1,97	3,79	1,87	3,20	2,41
Aeropuerto Vanguardia	1,06	1,95	2,76	1,96	3,12	2,17
Unillanos	1,15	1,96	3,49	1,76	3,25	2,32
Carimagua	2,34	1,81	4,28	3,37	3,90	3,14
Alto del Tigre	2,34	XX	6,75	2,49	4,57	4,04

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM, RETScreen e IRENA.

La estación Alto del Tigre no se encuentra cercana a ningún punto de registro de la Nasa por esta razón no se tiene registró de información, sin embargo, en este caso en particular se puede hacer una comparación a través de las fuentes del Atlas IRENA.

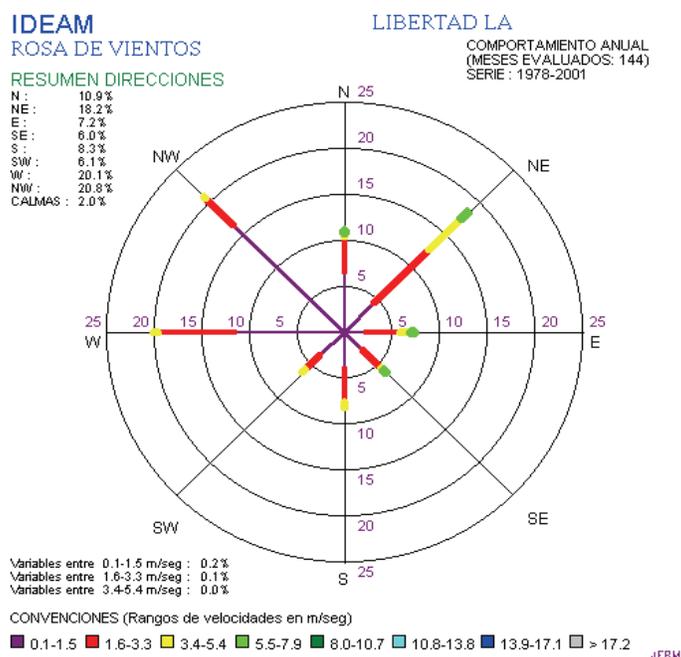
Se puede observar que los municipios con mayor potencial son El Calvario y Puerto Gaitán con un promedio de velocidad del viento de 4,04 y 3,14 m/s respectivamente, a pesar de que las otras tres estaciones se encuentran en el mismo municipio se puede observar una pequeña variación en el potencial, siendo la estación Aeropuerto Vanguardia la de menor potencial entre ellas.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

4.5 Dirección del viento según las estaciones del IDEAM

A partir de la información solicitada a las estaciones del IDEAM, se procede a hacer un análisis de la dirección del viento en el departamento, las estaciones que brindan información acerca de este indicador es la estación La Libertad, estación Unillanos y estación Aeropuerto Vanguardia ubicadas en el municipio de Villavicencio. En la *Figura 79* se presenta la dirección de los vientos en la estación La Libertad.

Figura 79. Rosa de los vientos estación La Libertad



Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

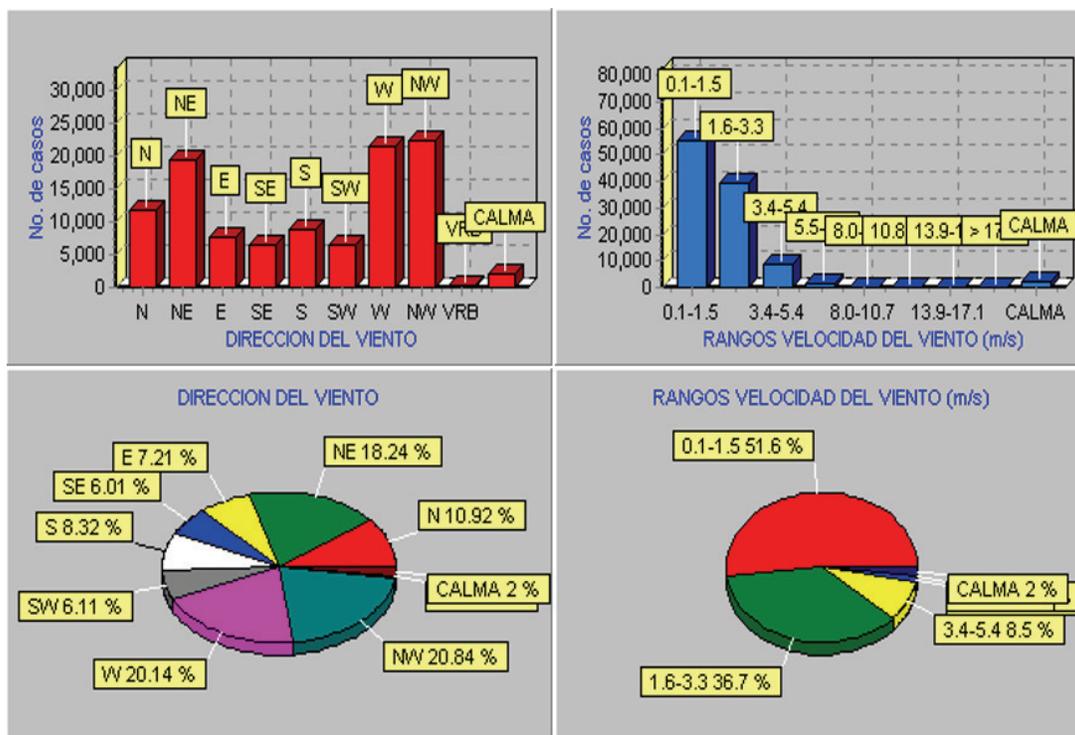
Para el municipio de Villavicencio según la información brindada por la estación Libertad la dirección que predomina es la noroeste con un porcentaje del 20,8%, con velocidad entre 0,1 a 5,4 m/s, destacando la presencia de velocidades entre 0,1 a 1,4 m/s. muy cercano al porcentaje de la dirección noroeste se encuentra

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

211

la dirección oeste con 20.1% con la misma escala de velocidades. En la *Gráfica 65* se puede apreciar con mayor precisión la clasificación en los porcentajes de la dirección y velocidad promedio del viento en la estación.

Gráfica 65. Representación gráfica de la dirección y velocidad del viento en la estación La Libertad



Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

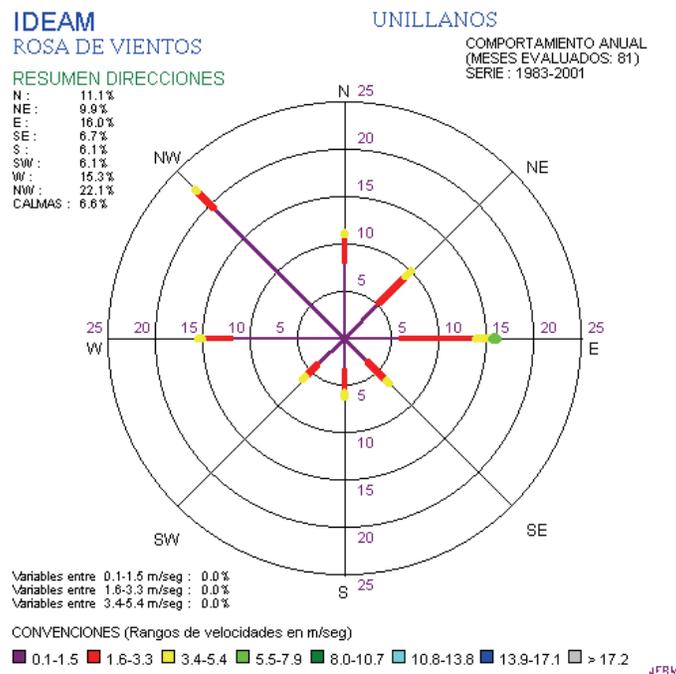
En la gráfica de la dirección del viento se puede apreciar que las direcciones con mayor porcentaje según la estación La Libertad son el noroeste, oeste noreste con porcentajes de 20.84 %, 20,14% y 18,4 % respectivamente, la dirección que menos se presenta es la sureste con un porcentaje de 6,01% seguido por la

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

dirección suroeste con un porcentaje de 6,11%. En cuanto a la velocidad del viento la que predomina está en el rango de 0,1 a 1,5 m/s con un porcentaje mayor al 50%, seguida de la velocidad entre 1,6 a 3,3 m/s con un porcentaje de 36.7 %, se puede apreciar en la gráfica que para velocidades mayores a 5,5 m/s solo corresponde al 1,2 % y que el estado de calma tiene un porcentaje de 2%.

En la *Figura 80* se aprecia la rosa de los vientos de la estación Unillanos, en esta se puede apreciar que la dirección con mayor porcentaje es noroeste con el 22.1% y con una velocidad predominante de 0.1 a 1.5 m/s, la segunda dirección con mayor porcentaje es oeste con el 15,3 % de igual manera la velocidad que más se presenta es el rango de 0.1 a 1.5 m/s.

Figura 80. Rosa de los vientos estación Unillanos



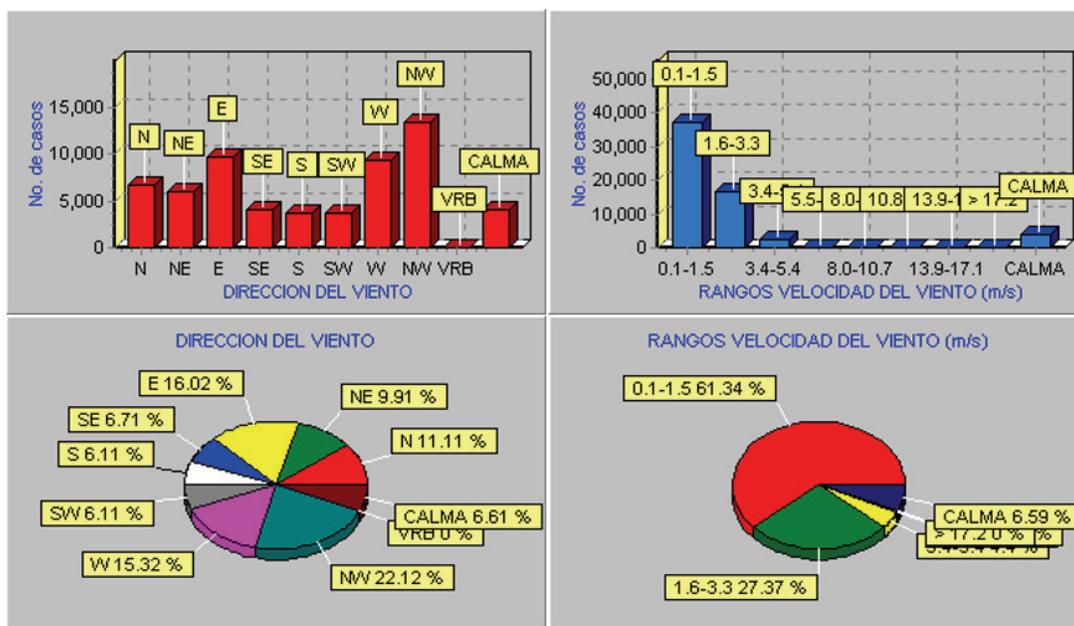
Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

213

En la *Gráfica 66* se puede observar de manera más detallada la información en cuanto a la dirección y velocidad del viento en la estación Unillanos, según los datos del gráfico la dirección del viento fluye en mayor porcentaje en sentido noroeste y este con 22.12 % y 15,32 % respectivamente, contrario a esto las direcciones sur y suroeste son las que se presenta con menor frecuencia con un porcentaje de 6,11 % para ambas.

Gráfica 66. Representación gráfica de la dirección y velocidad del viento en la estación Unillanos.



Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

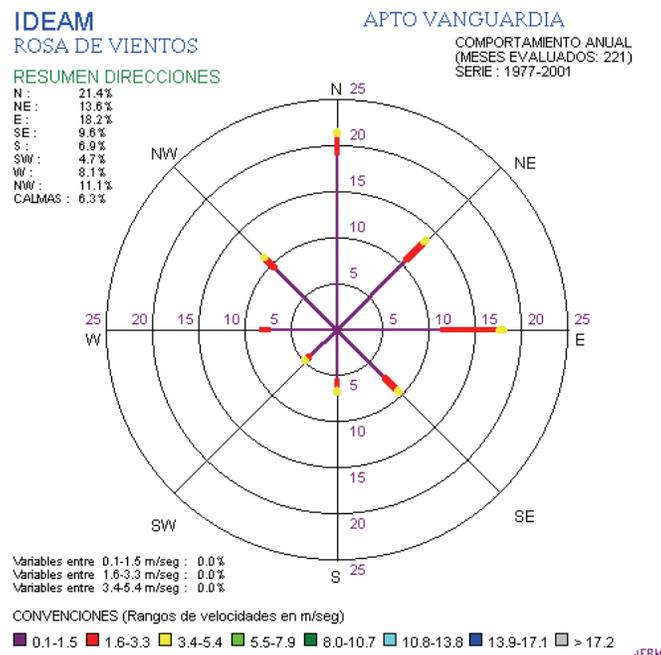
La velocidad del viento predominante en esta estación es de 0,1 a 1.5 m/s con un porcentaje 61,34% del total de información, seguida por la velocidad de 1.6 a 3.3

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

m/s con un porcentaje de 27,37%, las velocidades mayores a 3,4 m/s tienen un bajo porcentaje de 4,7% menor al porcentaje de la calma el cual es de 6,59%.

La estación Aeropuerto Vanguardia recopila la información de la dirección y velocidad del viento de 221 meses los cuales están en el periodo del año 1997 al 2001 para formar la rosa de los vientos la cual se puede apreciar en la *Figura 81*, en esta se observa que la dirección del viento fluye en mayor frecuencia al norte con un porcentaje de 21,4 %, seguida por la dirección este la cual tiene un porcentaje de 18,2%. Las direcciones con menor porcentaje son sur y suroeste con 6,9% y 4,7% respectivamente.

Figura 81. Rosa de los vientos estación Aeropuerto Vanguardia



Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

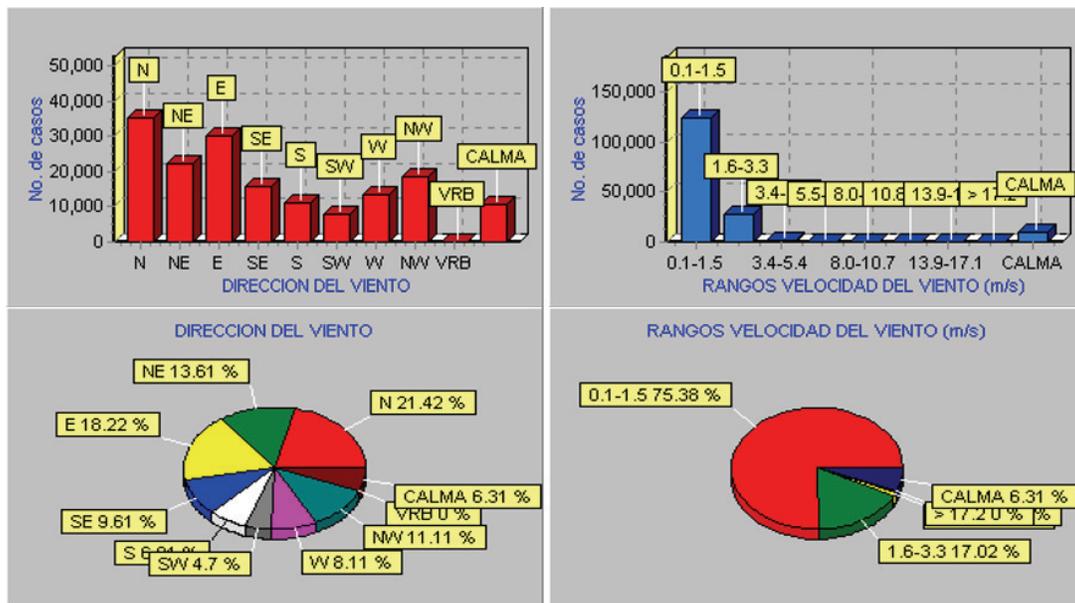
En la *Gráfica 67* se aprecia de manera más detallada la información sobre velocidad y dirección del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia, se observa

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

215

que la velocidad predominante en la estación es de 0,1 a 1,5 m/s con un porcentaje de 75,38%, el porcentaje restante se divide en 17,02 % para la velocidad de 1,6 a 3,3 m/s, velocidades mayores a 3,4 con 1,29 % y calma con 6,31%.

Gráfica 67. Representación gráfica de velocidad y dirección del viento en la estación Aeropuerto Vanguardia



Fuente. Datos suministrados por el IDEAM.

La información de la dirección del viento por parte de las estaciones del IDEAM está limitada puesto que solo se obtiene información de tres estaciones, las cuales se encuentran ubicadas en el mismo municipio.

4.6 Análisis de la velocidad del viento (WS) según el atlas global del IRENA

Gracias a la información disponible en el atlas global del IRENA, con instituciones como el DTU, CENER y 3TIER, se procede a realizar un análisis detallado del potencial del recurso eólico para cada una de las subregiones que conforman el departamento del Meta. De igual manera, se tiene en cuenta que de acuerdo a la fuente de información de los datos recopilados desde la plataforma web del IRENA, bien sea DTU, CENER o 3TIER, estos presentan ciertas características que son relevantes al momento de efectuar el análisis, especialmente la altura sobre la superficie a la que es presentada la información.

A continuación, se puede apreciar las propiedades de cada una de las capas ráster obtenidas del atlas global del IRENA:

- **South America 10km CENER 2008-2011**

Esta capa ráster corresponde a los datos de velocidad promedio anual multianual del viento (2008 – 2011) publicada por el CENER en el atlas global del IRENA. Se destaca porque representa la información a la altura más baja (10 m) sobre la superficie, no obstante, es la que cuenta con la menor resolución espacial (10 km).

- **Global Wind Atlas wind speed mean 1km at 50m height DTU 2015**

Esta capa ráster forma parte del atlas de viento realizado por el DTU que se encuentra recopilado en el atlas global del IRENA. Esta representa la velocidad

promedio anual (2015) del viento a una altura de 50 *m* sobre la superficie; además, es la que tiene la mejor resolución espacial de todas las capas obtenidas (1 *km*).

- **VAISALA Global Wind Dataset 5km onshore wind speed at 80m units in m/s**

Esta capa ráster representa la información de velocidad promedio anual multianual del viento (1999 – 2009) publicada por 3TIER en el atlas global del IRENA. Estos datos de velocidad son estimados a una altura de 80 *m* sobre la superficie, lo que la hace la capa con los datos a mayor altura respecto a las otras; y por último, cuenta con una resolución espacial de 5 *km*.

En seguida, se realiza el análisis específico para cada subregión de acuerdo a la metodología establecida.

4.6.1 Subregión Alto Ariari Centro

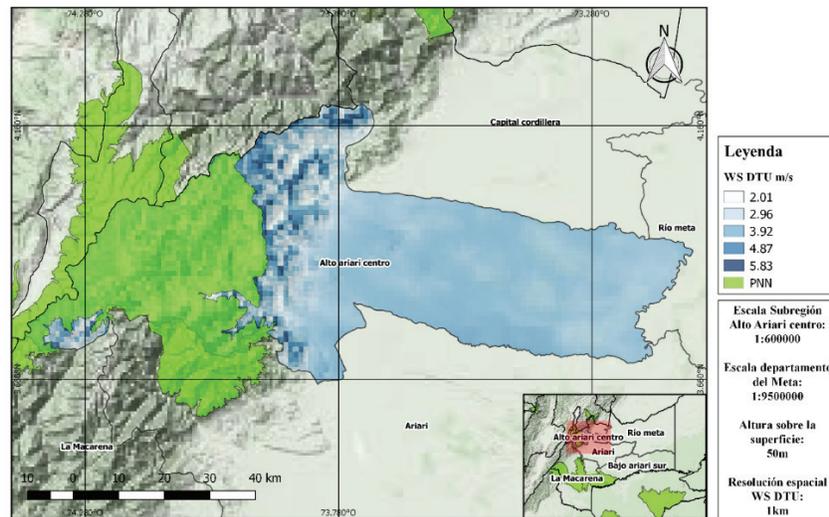
- **Universidad Técnica de Dinamarca (DTU)**

Como se puede observar en la *Figura 82*, el mapa de velocidad del viento obtenido del DTU para la subregión de Alto Ariari Centro presenta un rango de velocidad del viento entre 2 *m/s* y 6 *m/s*. Además, el mayor potencial que se registra en esta subregión se encuentra en zona de reserva del PNN Sumapaz, sin embargo, hay zonas sobre la cordillera oriental, específicamente la zona norte que abarca al municipio de Acacias, en donde se puede presentar valores sobre los 5 *m/s*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

218

Figura 82. Velocidad del viento de la subregión Alto Ariari Centro - DTU

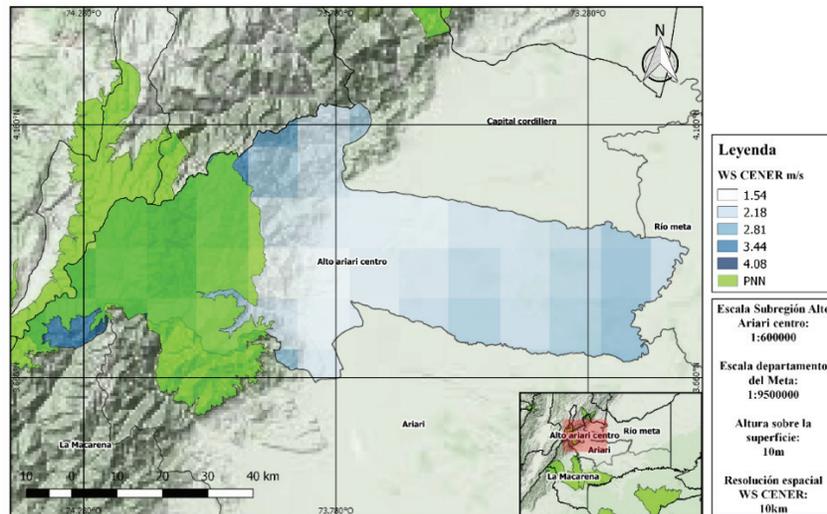


Fuente. Datos obtenidos del DTU.

- **Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)**

Según la información de velocidad del viento de la *Figura 83*, se evidencia que las zonas con mayor potencial se concentran en la cordillera oriental, especialmente en la zona de reserva del PNN Sumapaz, con valores de hasta $4,08 \text{ m/s}$. Por otro lado, la zona central de esta subregión presenta los valores mínimos de WS, los cuales no superan los $1,54 \text{ m/s}$.

Figura 83. Velocidad del viento de la subregión Alto Ariari Centro - CENER

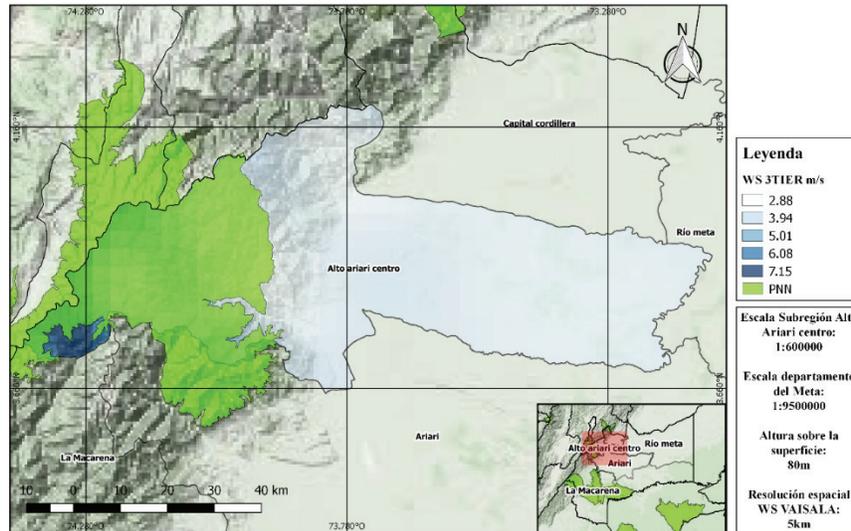


Fuente. Datos obtenidos del CENER.

- **3TIER**

A partir de los datos obtenidos de 3TIER de la *Figura 84*, la zona centro y oriental de esta subregión presenta el menor potencial del recurso eólico, con valores de velocidad que no superan los $2,88 \text{ m/s}$. En cuanto a los valores máximos de WS, estos se registran en la parte suroccidental dentro de la zona de reserva del PNN Sumapaz; no obstante, una pequeña zona con gran potencial eólico ($7,15 \text{ m/s}$) se encuentra fuera de los límites del parque, lo que hace posible el aprovechamiento del recurso eólico en esta región.

Figura 84. Velocidad del viento de la subregión Alto Ariari Centro - 3TIER



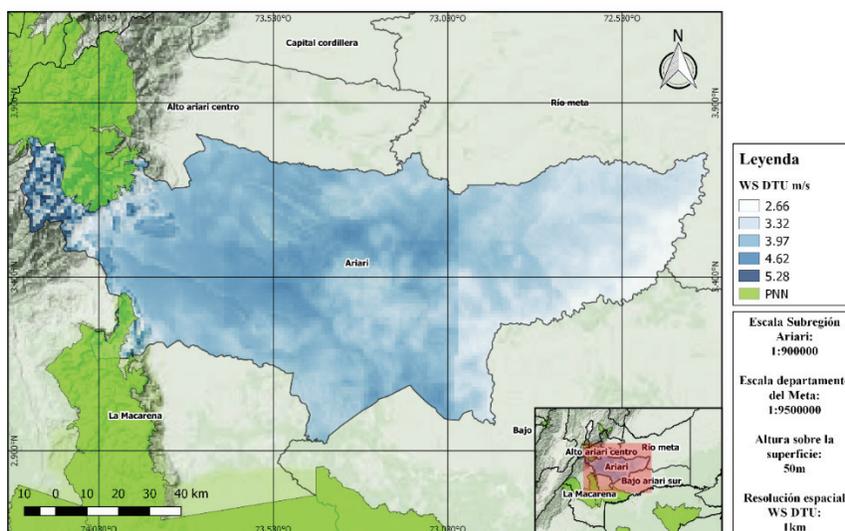
Fuente: Datos obtenidos de 3TIER.

4.6.2 Subregión Ariari

- DTU

Según el mapa de WS obtenido del DTU de la *Figura 85*, se evidencia que los valores máximos de WS se encuentran en la zona centro y occidental de la subregión, con valores desde 4 m/s hasta $5,28 \text{ m/s}$. Sin embargo, similar a la subregión Alto Ariari Centro, parte de la zona con mayor potencial del recurso eólico se encuentra dentro de los límites del PNN Sumapaz. Por otro lado, la zona oriental, principalmente en el municipio de San Martín, se registran los valores más bajos de velocidad ($2,66 \text{ m/s}$).

Figura 85. Velocidad del viento de la subregión Ariari - DTU



Fuente: Datos obtenidos de DTU.

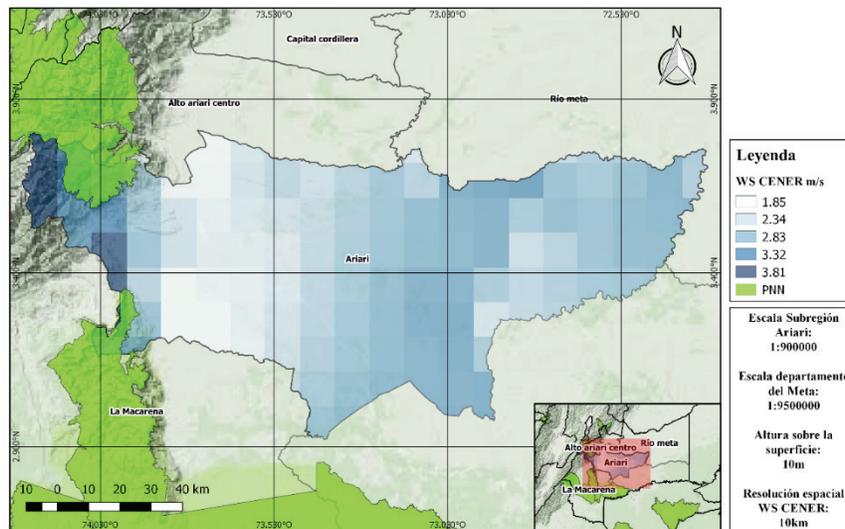
- **CENER**

De acuerdo con la información proporcionada por el CENER de la *Figura 86*, se observa un comportamiento en los datos de WS similar al presentado por los obtenidos del DTU, es decir, el mayor potencial del recurso eólico se presenta sobre la cordillera oriental, particularmente en el municipio de Lejanías y zona norte de San Juan de Arama, con valores de WS máximos de 3,81 *m/s*. No obstante, para el caso de San Juan de Arama, se debe tener en cuenta que algunas zonas se encuentran dentro de los límites del PNN Sierra de La Macarena.

Por otro lado, los valores mínimos de WS se presentan en la falda del piedemonte hacía la zona centro de la subregión, la cual abarca los municipios de Granada, Fuente de Oro y oriente de San Juan de Arama, con velocidades que no superan los 1,85 *m/s*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 86. Velocidad del viento de la subregión Ariari - CENER

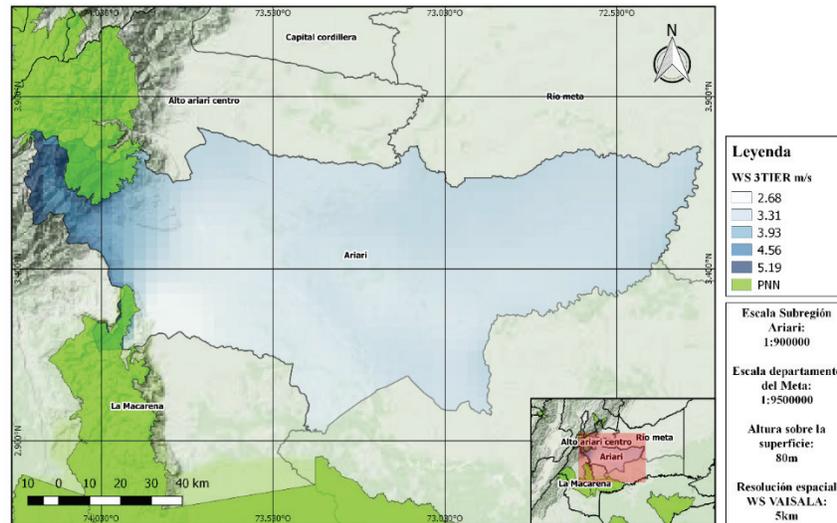


Fuente: Datos obtenidos del CENER.

• **3TIER**

A partir del mapa de WS obtenido de 3TIER de la *Figura 87*, se puede apreciar que los valores máximos de WS se presentan en la zona noroccidental de la subregión, específicamente en el municipio de Lejanías, con velocidades de hasta 5,19 m/s. Por otra parte, se observa un comportamiento homogéneo de los valores de WS en el resto del territorio, el cual evidencia el potencial del recurso eólico más bajo de la subregión con velocidades por debajo de los 3 m/s.

Figura 87. Velocidad del viento de la subregión Ariari – 3TIER



Fuente: Datos obtenidos de 3TIER.

4.6.3 Subregión Bajo Ariari Sur

- DTU

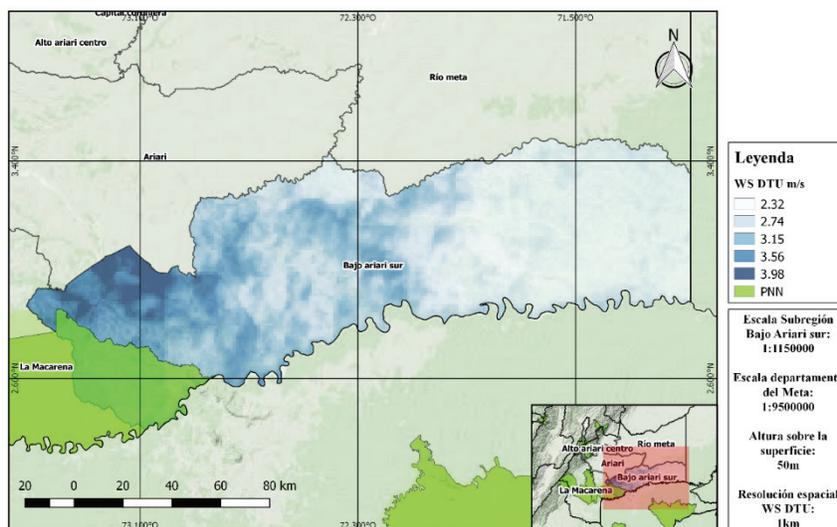
Según la información del mapa del DTU de la *Figura 88*, la zona occidental de esta subregión, particularmente el municipio de Puerto Rico, presenta los valores máximos de WS con registros entre $3,56 \text{ m/s}$ y $3,98 \text{ m/s}$; sin embargo, se debe tener en cuenta que parte del municipio pertenece a la zona de reserva del PNN Sierra de La Macarena.

En cuanto al menor potencial del recurso eólico, este se presenta en la zona oriental, es decir, gran parte del oriente del municipio de Mapiripán, con velocidades que superan los $2,32 \text{ m/s}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

224

Figura 88. Velocidad del viento de la subregión Bajo Ariari Sur - DTU



Fuente: Datos obtenidos de DTU.

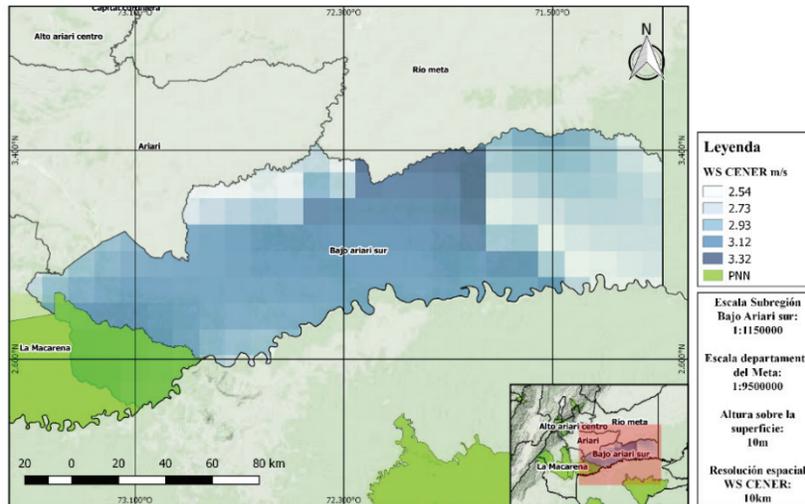
- **CENER**

De acuerdo con la *Figura 89*, la zona centro y occidente presenta los valores máximos de WS en esta subregión, en donde se localizan los municipios de Puerto Rico, Puerto Concordia y la zona occidental de Mapiripán, con velocidades entre $3,12 \text{ m/s}$ y $3,32 \text{ m/s}$. En cuanto al menor potencial del recurso eólico, este se registra en la zona oriental de la subregión, con valores de WS entre $2,54 \text{ m/s}$ y $2,73 \text{ m/s}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

225

Figura 89. Velocidad del viento de la subregión Bajo Ariari Sur - CENER

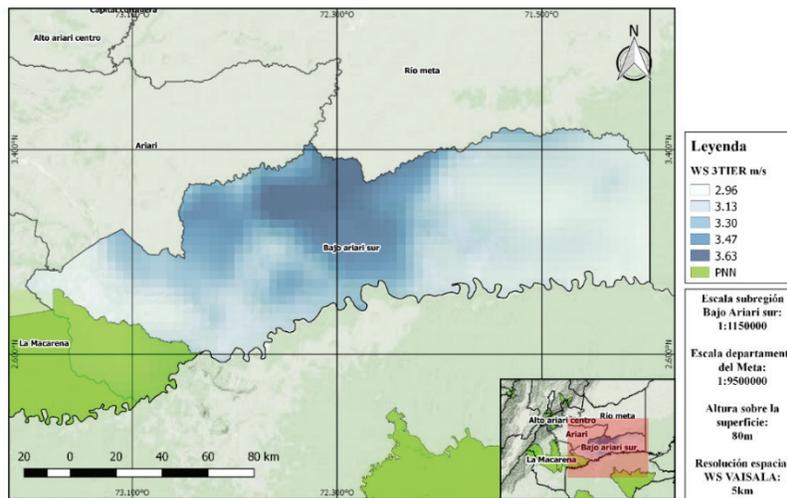


Fuente: Datos obtenidos de CENER.

- **3TIER**

Según el mapa de la *Figura 90*, a diferencia de las otras fuentes de información, el mayor potencial del recurso eólico se concentra en la zona centro de esta subregión, al occidente del municipio de Mapiripán, en donde los valores de WS alcanzan los $3,63 \text{ m/s}$. Por otro lado, el resto del territorio presenta el menor potencial eólico tanto en la zona del PNN Sierra de La Macarena como en el oriente de la subregión, con velocidades cercanas a los 3 m/s .

Figura 90. Velocidad del viento de la subregión Bajo Ariari Sur - 3TIER



Fuente: Datos obtenidos de 3TIER.

4.6.4 Subregión Capital Cordillera

- DTU

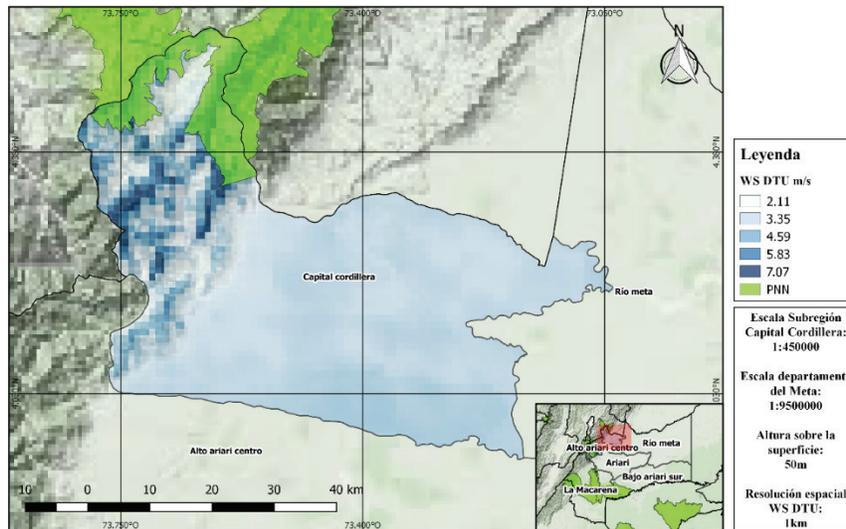
En la *Figura 91* se puede apreciar el mapa realizado a partir de la información obtenida del DTU, en donde se evidencia que la zona con el mayor potencial del recurso eólico se encuentra en el noroccidente de esta subregión, sobre el piedemonte de la cordillera oriental, con valores máximos de hasta $7,07 \text{ m/s}$. No obstante, algunas zonas se encuentran dentro de la zona de reserva del PNN Chingaza, condición que limita la implementación de proyectos energéticos en esta región.

Por otro lado, la zona baja de la subregión, que abarca los municipios de Villavicencio, Cumaral y Restrepo, registra los valores mínimos de WS con velocidades cercanas a los 2 m/s .

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

227

Figura 91. Velocidad del viento de la subregión Capital Cordillera - DTU



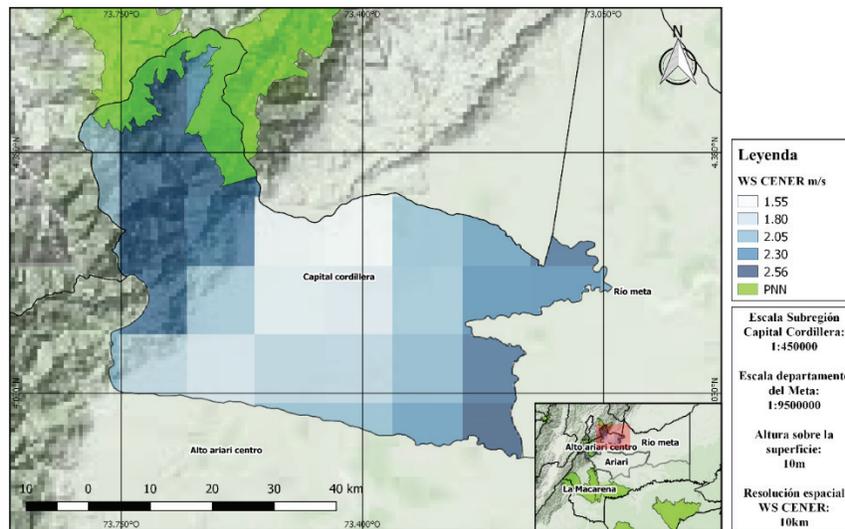
Fuente: Datos obtenidos del DTU.

- **CENER**

A partir de la información recopilada del CENER de la *Figura 92*, se observa un comportamiento similar de WS al presentado en los datos obtenidos del DTU, esto es, en la zona noroccidental se presentan los valores máximos de velocidad, los cuales alcanzan los $2,56 \text{ m/s}$; además, en algunas zonas del oriente de la subregión se registran valores sobresalientes de WS cercanos a los $2,30 \text{ m/s}$. En cuanto al resto del territorio, la zona central evidencia el menor potencial del recurso eólico con velocidades mínimas de $1,55 \text{ m/s}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 92. Velocidad del viento de la subregión Capital Cordillera - CENER

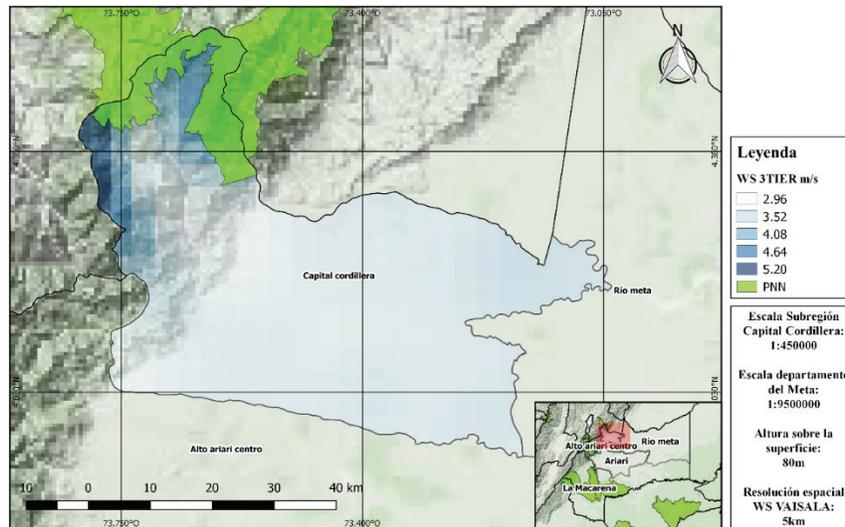


Fuente: Datos obtenidos de CENER.

- **3TIER**

De acuerdo con la información proporcionada por 3TIER de la *Figura 93*, los valores máximos de WS en esta subregión alcanzan los 5,20 *m/s*, localizados en la zona noroccidental en donde se encuentran los municipios de El Calvario y San Juanito. En cuanto al menor potencial del recurso eólico, en el resto del territorio se registra velocidades por debajo de los 3 *m/s*.

Figura 93. Velocidad del viento de la subregión Capital Cordillera - 3TIER



Fuente: Datos obtenidos de 3TIER.

4.6.5 Subregión Río Meta

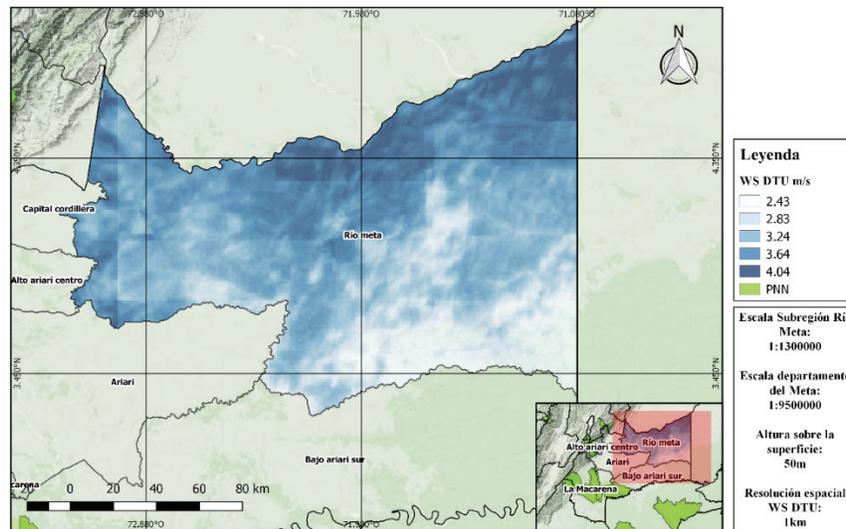
- DTU

Según la información presentada en la *Figura 94*, la zona norte de esta subregión, correspondiente a los municipios de Barranca de Upía, Cabuyaro, Puerto López y norte de Puerto Gaitán, presenta los valores máximos de WS, con un rango entre $3,24 \text{ m/s}$ y $4,04 \text{ m/s}$. Por otro lado, se evidencia que la zona sur de esta subregión (sur del municipio de Puerto Gaitán) registra los valores mínimos de velocidad, los cuales no superan los $2,43 \text{ m/s}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

230

Figura 94. Velocidad del viento de la subregión Río Meta - DTU



Fuente: Datos obtenidos de DTU.

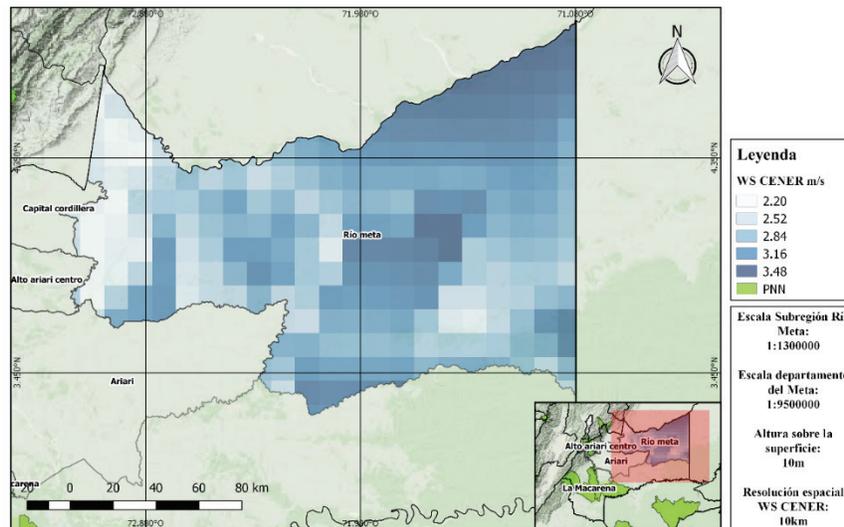
- **CENER**

Según la *Figura 95*, correspondiente a la información obtenida del CENER, se puede observar que el mayor potencial del recurso eólico se concentra en la zona oriental de esta subregión, principalmente en el centro y norte del municipio de Puerto Gaitán, con valores de WS de hasta 3,48 m/s. En cuanto a los valores mínimos de WS en esta subregión, la zona occidental, en donde se encuentran los municipios de Barranca de Upía, Cabuyaro y occidente de Puerto Gaitán, se registran velocidades que alcanzan los 2,20 m/s.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

231

Figura 95. Velocidad del viento de la subregión Río Meta - CENER

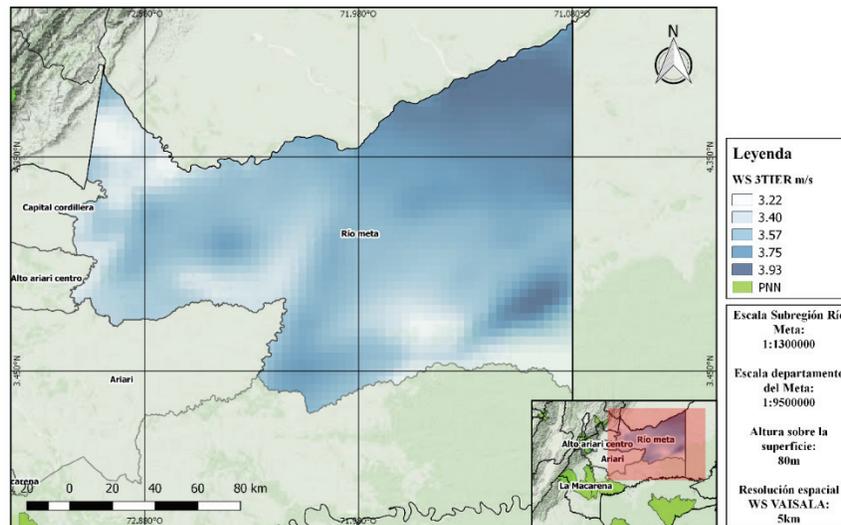


Fuente: Datos obtenidos de CENER.

• **3TIER**

De acuerdo con los datos obtenidos a partir del mapa del 3TIER de la *Figura 96*, se evidencia un comportamiento de WS similar al observado en los datos obtenidos del CENER, en donde la zona con mayor potencial se encuentra en el oriente de esta subregión (municipio de Puerto Gaitán) con valores máximos de $3,93 \text{ m/s}$; no obstante, algunas zonas localizadas en el suroriente registran las velocidades más bajas de la subregión ($3,22 \text{ m/s}$). Por otra parte, la zona noroccidental también presenta valores mínimos de WS, particularmente en los municipios de Barranca de Upiá y Cabuyaro, con velocidades de $3,22 \text{ m/s}$.

Figura 96. Velocidad del viento de la subregión Río Meta - 3TIER



Fuente: Datos obtenidos de 3TIER.

4.6.6 Subregión La Macarena

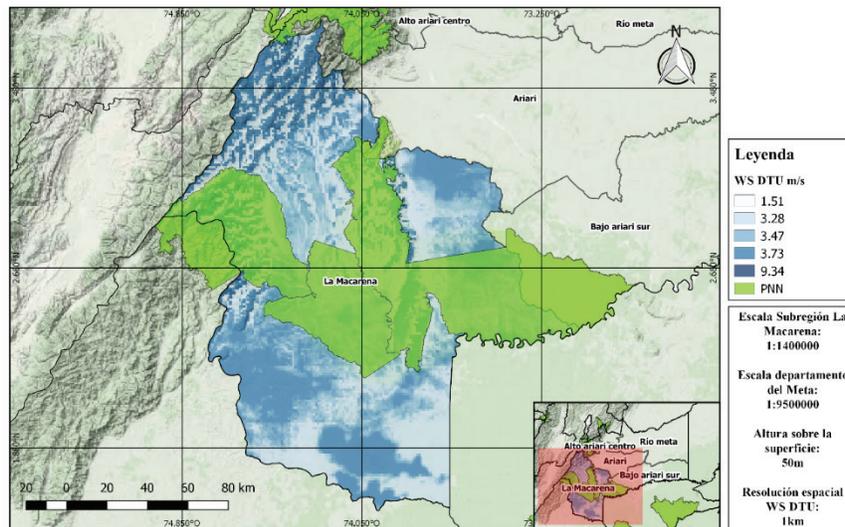
- DTU

A partir de la información de WS suministrada por el DTU de la *Figura 97*, se puede observar que los valores máximos de velocidad se encuentran dispersos a lo largo del territorio, tanto en cercanías al PNN Sierra de La Macarena (municipios de La Macarena y Vistahermosa) como sobre el piedemonte de la cordillera oriental (municipios de Uribe y Mesetas), con valores entre $3,57 \text{ m/s}$ y $9,34 \text{ m/s}$.

Por otro lado, algunos sectores de la zona central y sur de la subregión presentan los valores mínimos de WS, particularmente la zona sur del municipio de Uribe y La Macarena, con velocidades de hasta $1,51 \text{ m/s}$.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 97. Velocidad del viento de la subregión La Macarena - DTU



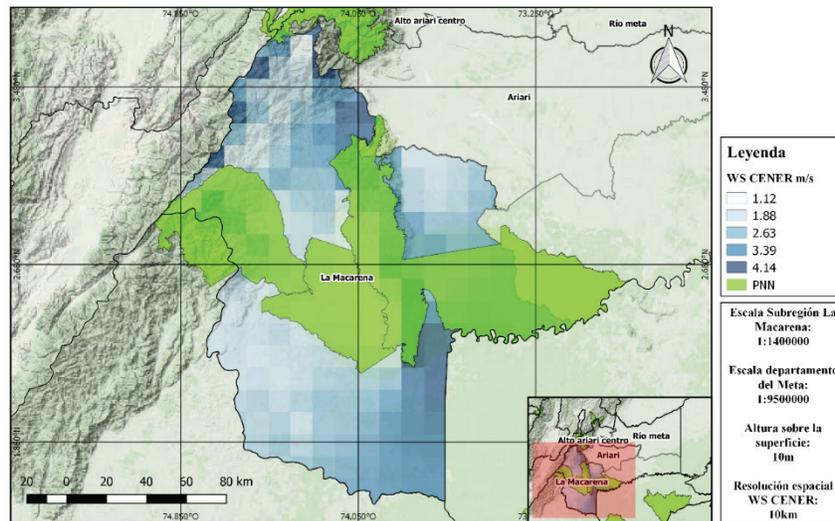
Fuente: Datos obtenidos de DTU.

- **CENER**

De acuerdo con el mapa de WS obtenido del CENER de la *Figura 98*, los valores máximos de velocidad se concentran a lo largo de la Sierra de la Macarena, extendiéndose desde el suroriente del municipio de La Macarena hasta el piedemonte de la cordillera oriental, en el municipio de Mesetas, con valores entre $3,39 \text{ m/s}$ y $4,14 \text{ m/s}$. Sin embargo, el potencial del recurso eólico presente sobre la Sierra de La Macarena no es aprovechable debido a que pertenece a la zona de reserva natural de La Macarena.

En cuanto a los valores mínimos de WS, estos se registran en la zona centro de la subregión, es decir, sur del municipio de Uribe y norte de La Macarena, y nororiente de la misma, correspondiente al norte de Vistahermosa. En estas zonas las velocidades no superan los 2 m/s .

Figura 98. Velocidad del viento de la subregión La Macarena - CENER



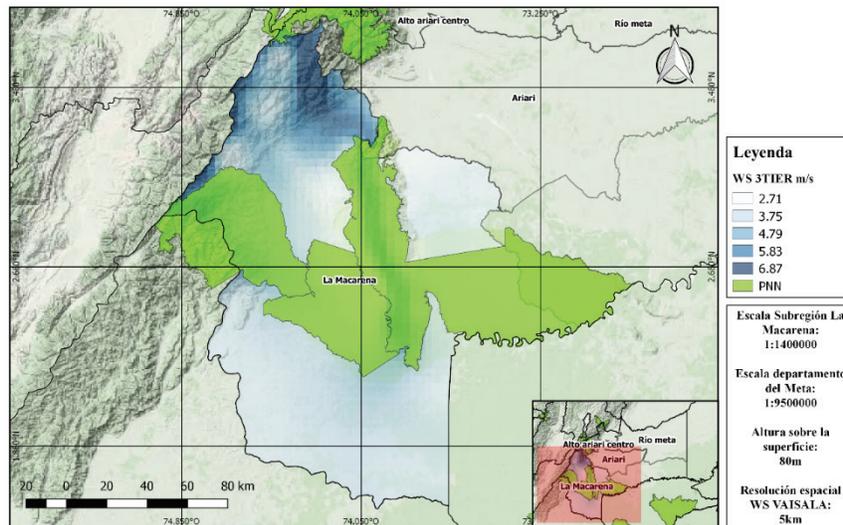
Fuente: Datos obtenidos de CENER.

- **3TIER**

Según el mapa obtenido del 3TIER de la *Figura 99*, el mayor potencial del recurso eólico se presenta sobre la cordillera oriental, al norte de los municipios de Uribe y Mesetas, con velocidades que alcanzan los $6,87 \text{ m/s}$. Además, se registran valores sobresalientes de WS sobre la Sierra de la Macarena, no obstante, estas zonas corresponden al PNN.

Por otra parte, el resto del territorio (municipio de La Macarena, Vistahermosa y sur de Mesetas) registra los valores mínimos de WS, con velocidades de hasta $2,71 \text{ m/s}$.

Figura 99. Velocidad del viento de la subregión La Macarena - 3TIER



Fuente: Datos obtenidos de 3TIER.

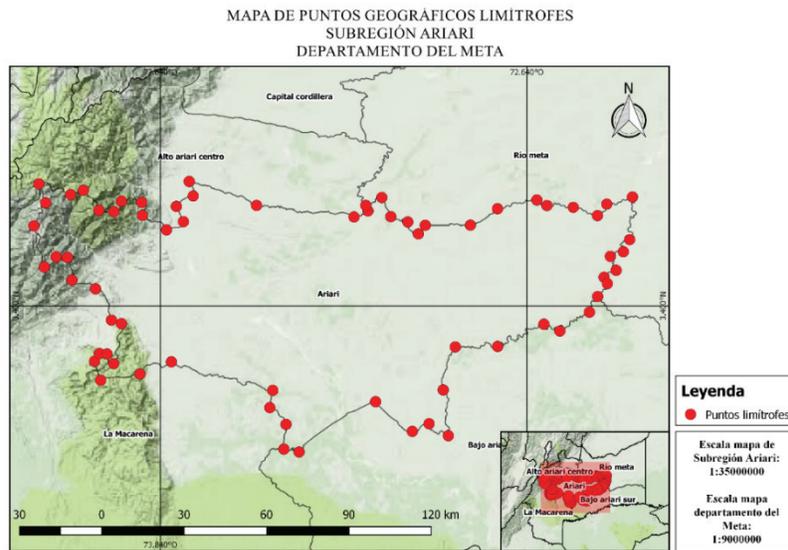
4.7 Análisis de la dirección del viento (WD) para cada subregión según información obtenida del DTU

La Universidad Técnica de Dinamarca (DTU) dispone de un atlas global de viento, el cual proporciona información tanto de la velocidad del viento como la dirección del mismo. En este caso, es de principal interés la obtención de los datos correspondientes a la dirección del viento para cada una de las subregiones que conforman el departamento del Meta.

Para llevar a cabo el proceso de selección de las áreas de interés (subregiones), primero se crea una capa vectorial con los puntos geográficos limítrofes de cada una de las subregiones a través de un Sistema de Información Geográfica (QGIS). Un ejemplo de este proceso realizado para la subregión Ariari se puede observar en la *Figura 100*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Figura 100. Puntos geográficos limítrofes de la subregión Ariari



Fuente. Elaboración propia.

Luego de establecidos estos puntos, se procede a ingresar cada uno de ellos en la plataforma web del DTU para crear un polígono que represente la extensión geográfica de cada subregión (ver *Figura 101*). Así, se realiza el mismo procedimiento para cada una de ellas, y posteriormente se realiza la descarga de los datos de WD.

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

237

Figura 101. Selección de área correspondiente a la subregión Ariari a partir de los puntos geográficos limítrofes definidos



Fuente. Elaboración propia.

Respecto a los datos de WD descargados, estos representan el porcentaje de la dirección predominante en el movimiento de las masas de aire. Por otro lado, este indicador consta de una rosa de los vientos de 12 direcciones, desde 0° hasta 330°. En la *Tabla 29* se puede observar el número de direcciones o sectores, su equivalencia en grados (°) y la dirección correspondiente.

Tabla 29. Direcciones del viento establecidas por el DTU

SECTOR	DIRECCIÓN	GRADOS(°)
1	Norte (N)	0
2	Norte Noreste (NNE)	30
3	Este Noreste (NEE)	60
4	Este (E)	90
5	Este Sudeste (SEE)	120

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

238

6	Sur Sudeste (SSE)	150
7	Sur (S)	180
8	Sur Sudoeste (SSW)	210
9	Oeste Sudoeste (SWW)	240
10	Oeste (W)	270
11	Oeste Noroeste (WNW)	300
12	Norte Noroeste (NNW)	330

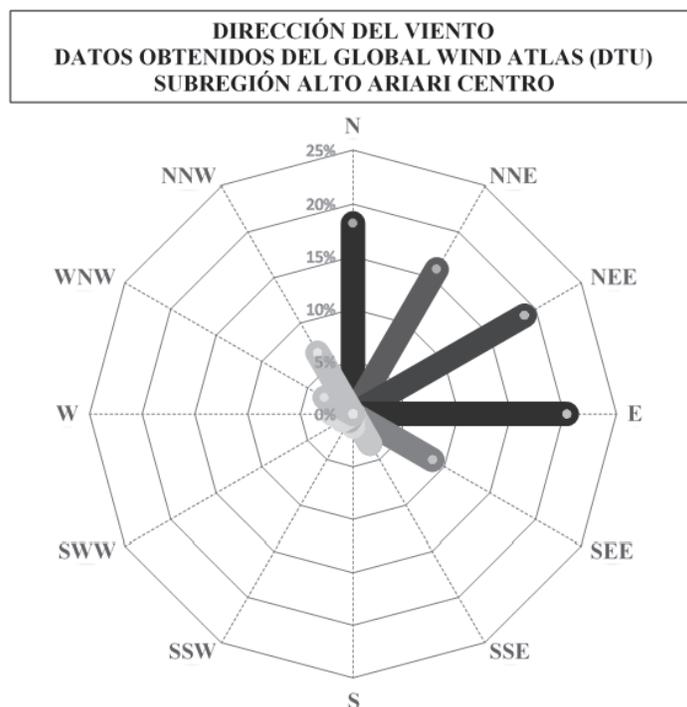
Fuente. Elaboración propia con datos del DTU.

Así, enseguida se efectúa el análisis de los datos de WD obtenidos del DTU para cada subregión del departamento del Meta.

4.7.1 Análisis de WD para la subregión Alto Ariari Centro

De acuerdo con la rosa de los vientos de la *Figura 102*, en esta subregión más del 70% de los vientos se dirigen en dirección Este o Norte, incluyendo el Norte Noreste y Este Noreste, hacia el municipio de Villavicencio a lo largo del piedemonte de la cordillera oriental.

Figura 102. Datos de WD de la subregión Alto Ariari Centro

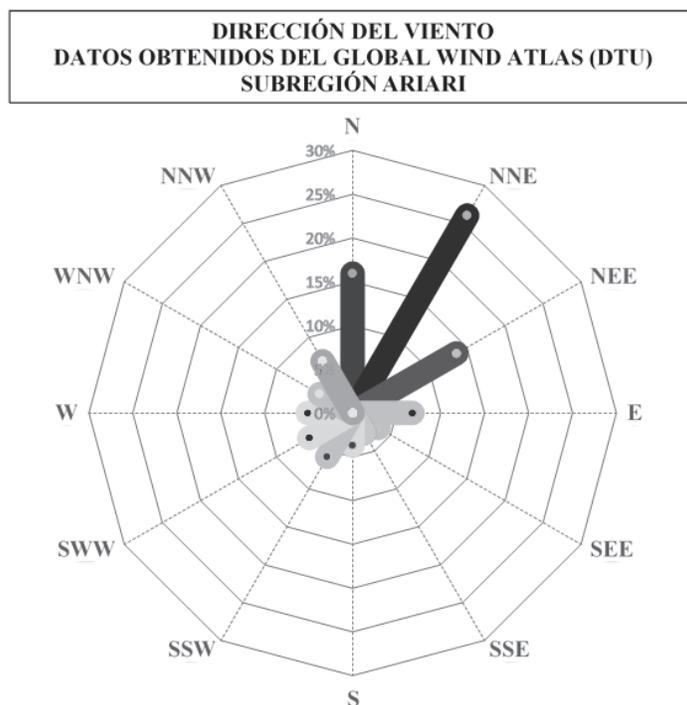


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de DTU

4.7.2 Análisis de WD para la subregión Ariari

Según la información de la *Figura 103*, la dirección predominante es la Norte Noroeste con el 26% de los vientos que se presentan en esta subregión. No obstante, se destaca la dirección Norte y Este Noroeste con el 15% y 13%, respectivamente.

Figura 103. Datos de WD de la subregión Ariari

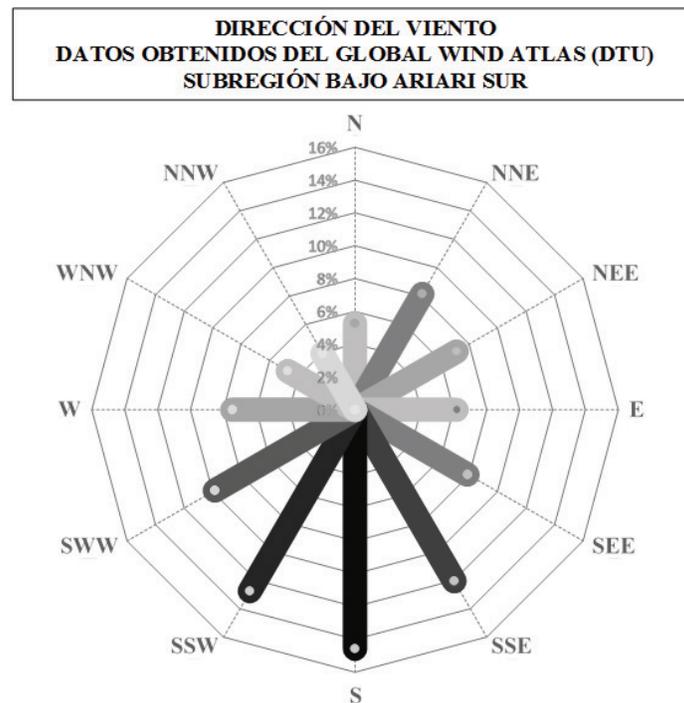


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de DTU.

4.7.3 Análisis de WD para la subregión Bajo Ariari Sur

A partir de la información de la rosa de los vientos de la *Figura 104*, en esta subregión predomina la dirección Sur (14,5%), Sur Sudoeste (12,7%), Sur Sudeste (12%) y Oeste Sudoeste (9,8%); es decir, cerca de la mitad de los vientos se dirigen hacia la Sierra de La Macarena y hacia la zona de reserva natural Nukak, ubicada en el departamento de Guaviare.

Figura 104. Datos de WD de la subregión Bajo Ariari Sur

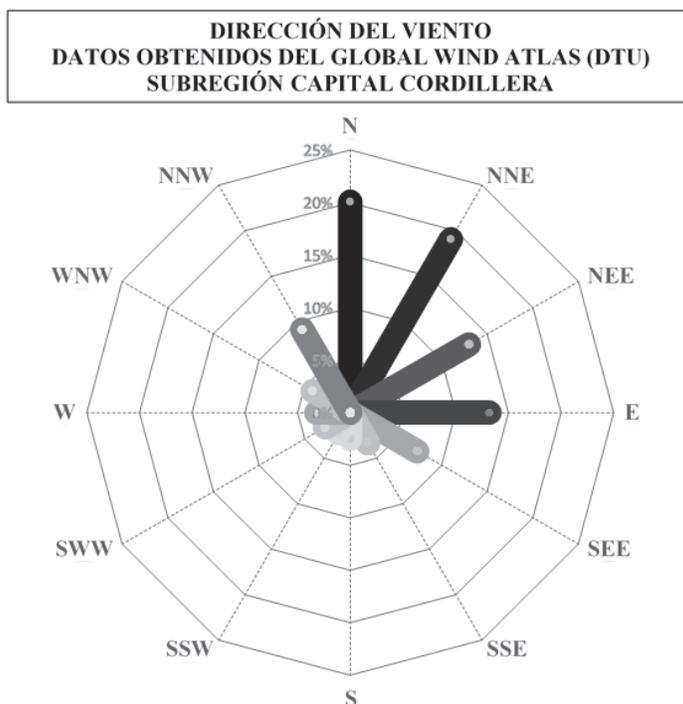


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de DTU.

4.7.4 Análisis de WD para la subregión Capital Cordillera

De acuerdo con la *Figura 105*, en esta subregión se evidencia que más de la mitad de los vientos se mueven en dirección al piedemonte de la cordillera oriental, es decir, al Norte en un 20%, Norte Noreste en un 19% y Este Noreste en un 13%. Además, también cabe resaltar que un 13,2% de los vientos se dirigen al Este, en dirección a la cuenca del Río Meta.

Figura 105. Datos de WD de la subregión Capital Cordillera

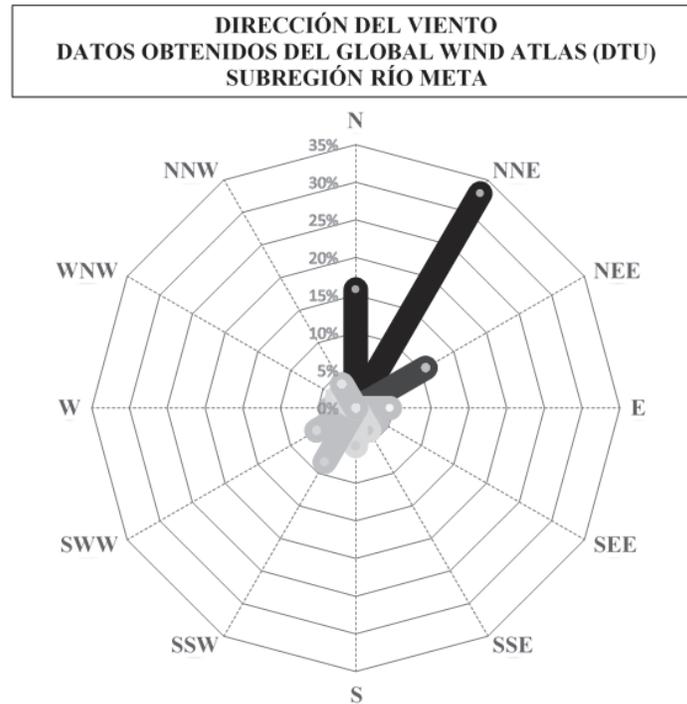


Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de DTU.

4.7.5 Análisis de WD para la subregión Río Meta

Según la información de la *Figura 106*, en esta subregión la dirección predominante del viento presenta un comportamiento similar al presentado en la subregión Ariari, esto es, el 33% de los vientos se dirige en la dirección Norte Noreste, el 16% al Norte y el 11% al Este Noreste. Además, parte de estos vientos provienen la subregión Capital cordillera que van hacia el Este a lo largo de la cuenca del Río Meta.

Figura 106. Datos de WD de la subregión Río Meta



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de DTU.

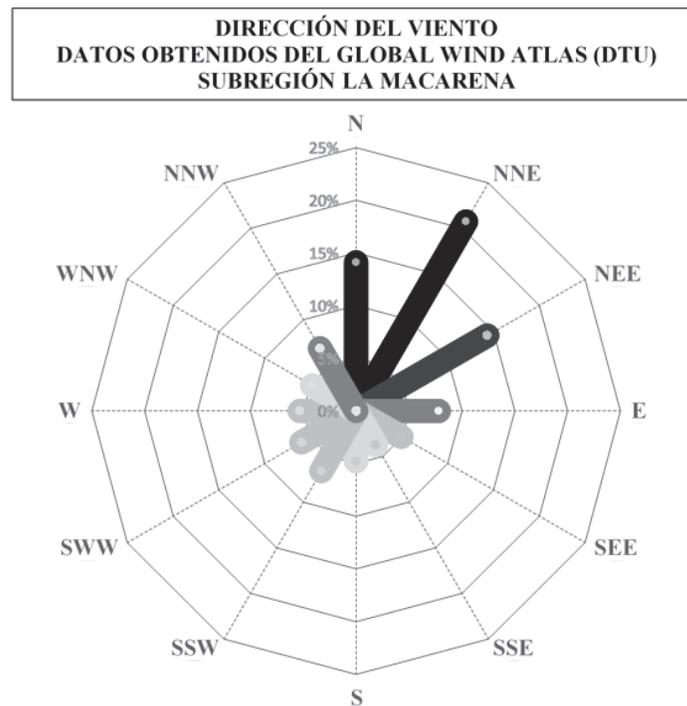
4.7.6 Análisis de WD para la subregión La Macarena

A partir de la rosa de los vientos de la *Figura 107*, se evidencia que la dirección del viento tiene un patrón similar al presentado en la subregión Capital Cordillera, en donde predomina la dirección Norte (14%), especialmente la Norte Noreste, con un 20,7% de los vientos y la Este Noreste con un 14,3%. Esto indica que los vientos

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

catabáticos, producidos por el descenso del aire desde regiones elevadas a regiones bajas, y el efecto colina, producido por la orografía de la Serranía de La Macarena, dirige las masas de aire hacia el piedemonte de la cordillera oriental.

Figura 107. Datos de WD de la subregión La Macarena



Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de DTU.

4.8 Mapa de velocidad del viento a 15 metros sobre la superficie propuesto para el departamento del Meta

En este apartado del estudio de la oferta del recurso eólico en el departamento del Meta, se plantea realizar una estimación de WS a una altura de 15 metros sobre la superficie, valor que es resultado del promedio de la altura del buje calculado para sistemas eólicos de baja potencia (desde los 0,3 kW hasta los 30 kW) consultados de fabricantes como SWG [1], Windon AB [2] y GE [3]. En la *Tabla 30*, se puede apreciar las características de los sistemas, como la potencia y la altura de cada uno, y el valor de altura promedio (14,62 metros) aproximado a los 15 metros sobre la superficie.

Tabla 30. Alturas del buje de sistemas eólicos de baja potencia fabricados por SWG, Windon AB y GE

Fabricante	Potencia (kW)	Altura (m)
SWG	0,3	6
	0,5	6
	1	6
	2	9
	3	12
	5	12
	10	12
	20	18
	30	18

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

246

	10	12
	10	16
	20	18
Windaon AB	20	24
	20	30
	30	24
	30	30
	0,6	8
	0,9	7,6
	0,9	14,3
GE	1	8
	5	12
	10	12
	20	18
	30	18
PROMEDIO ALTURA (m)		14,62

Fuente. Elaboración propia con datos de Nohanna3000, energreencol y Alfasolar.

Después de establecida la altura promedio de los sistemas eólicos de baja potencia, se realiza la estimación de WS a esta altura mediante la aplicación del modelo del perfil de Lysen [4] [5], la cual consiste en una expresión logarítmica (1) que, a partir de un valor de velocidad del viento a una altura referencia y la rugosidad superficial del terreno, calcula la velocidad del viento a una altura deseada.

$$\frac{V(z)}{V(Z_r)} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_r}{z_0}\right)} \quad (1)$$

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

247

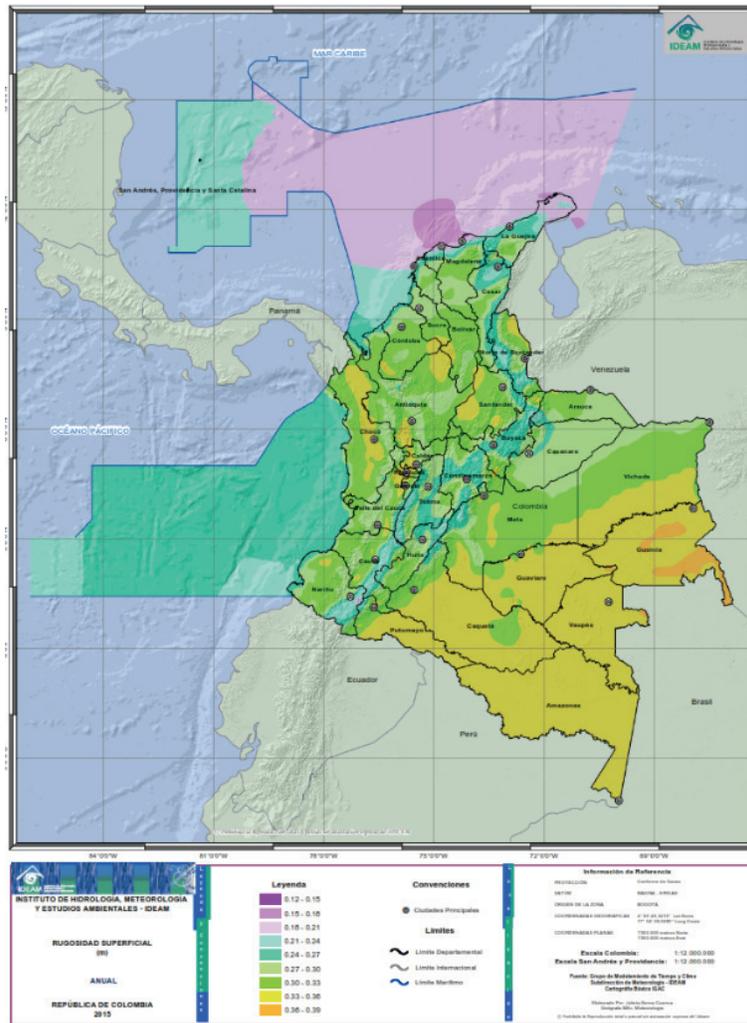
De acuerdo con (1), $V(z)$ expresa la velocidad del viento a estimar a una altura deseada (Z), en este caso, 15 metros sobre la superficie. $V(Z_r)$, llamada velocidad de referencia, es la velocidad del viento conocida a una altura de referencia sobre la superficie (Z_r). Esta altura de referencia (Z_r) corresponde a la altura sobre la superficie de los datos de WS de las distintas fuentes de información, los cuales son: 80 metros para los obtenidos del 3TIER, 50 metros para los del DTU y 10 metros para los del CENER.

Por otro lado, la rugosidad superficial (Z_0) se considera como la altura desde la superficie en la que la velocidad del viento es nula, y expresa la influencia de los obstáculos del terreno en el movimiento de la masa de aire. Este valor es obtenido gracias al Atlas de viento del IDEAM, que se puede observar en la *Figura 108*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

248

Figura 108. Mapa de rugosidad superficial anual (2015) de Colombia



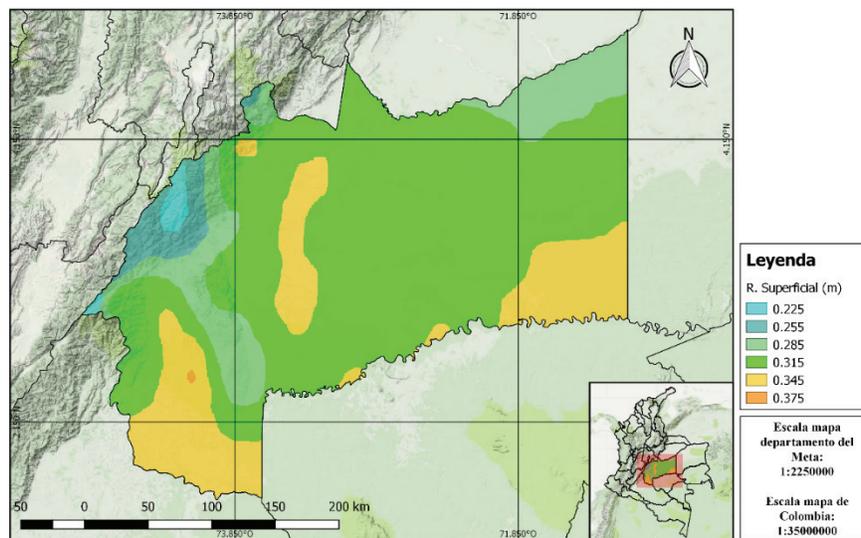
Fuente. Atlas de viento del IDEAM.

Seguidamente, los datos correspondientes a la rugosidad superficial en el departamento del Meta se importan al Sistema de Información Geográfica (SIG), como se observa en la *Figura 109*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

249

Figura 109. Rugosidad superficial



Fuente. Atlas de viento del IDEAM.

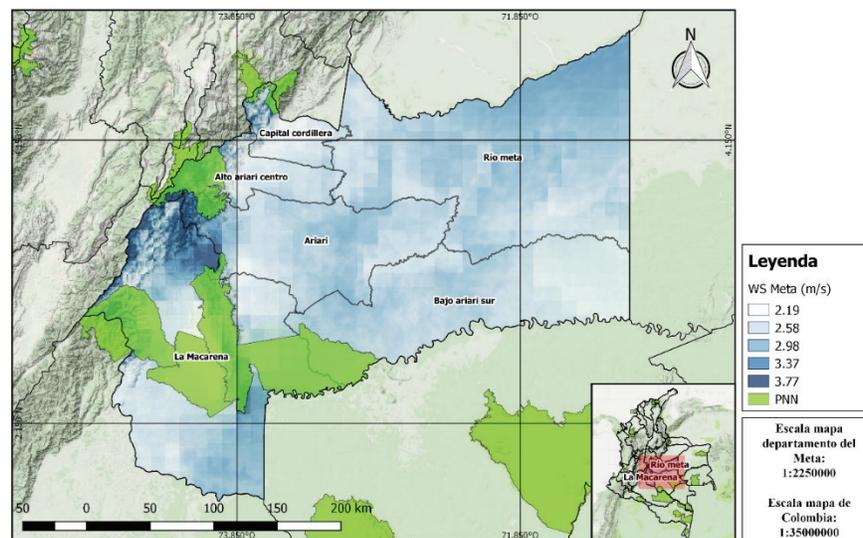
Posteriormente, a partir del modelo del perfil de Lysen, se realiza el cálculo para obtener las capas ráster de los valores de WS a 15 metros de altura para cada fuente satelital (DTU, 3TIER y CENER), y por último, mediante la calculadora ráster incorporada en el SIG, se calcula el promedio de los valores de WS de las tres fuentes satelitales para crear un mapa definitivo de WS a 15 metros de altura (ver *Figura 110*).

El mayor potencial del recurso eólico se concentra sobre la cordillera oriental, específicamente en la zona norte de la subregión La Macarena, noroccidente de la subregión Ariari y occidente de la subregión Alto Ariari Centro (municipio de Cubarral), con valores entre los $3,37 \text{ m/s}$ y $3,77 \text{ m/s}$. No obstante, algunas zonas

se encuentran dentro del PNN Sumapaz y Sierra de la Macarena. Además, se presentan valores de velocidad del viento sobresalientes en la zona nororiental de la subregión Río Meta (municipio de Puerto Gaitán), al ser estos de hasta 3 m/s.

Por otro lado, las subregiones Capital cordillera, Alto Ariari Centro y Bajo Ariari Sur son las que evidencia el menor potencial del recurso eólico del departamento, con velocidades mínimas de 2,19 m/s, mientras a nivel departamental se presenta un promedio de velocidad de 2,73 m/s.

Figura 110. Mapa de WS a 15 metros de altura para el departamento del Meta



Fuente. Elaboración propia con datos del DTU, 3TIER y CENER.

4.9 Resultados

De acuerdo con la información recopilada y el análisis efectuado al potencial del recurso eólico en el departamento del Meta para cada una de sus subregiones, se obtuvo las siguientes conclusiones:

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

251

Las zonas que presentan el mayor potencial del recurso eólico es la zona norte de la subregión La Macarena (municipios de Lejanías y Uribe), Noroccidente de la subregión Ariari (municipio de Mesetas) y occidente de subregión Alto Ariari Centro (municipio de Cubarral), sobre la cordillera oriental, con valores de velocidad del viento de hasta $3,77 \text{ m/s}$, y donde la dirección predominante es la Norte Noreste, con más del 26% de los vientos, que recorren el piedemonte llanero hacia la subregión Capital cordillera.

Los valores máximos de velocidad de viento registrados en la zona oriental de la subregión Río Meta, específicamente en el municipio de Puerto Gaitán, se encuentran por encima del umbral de la velocidad de conexión promedio (velocidad del viento en la cual el aerogenerador comienza a generar energía) de los sistemas eólicos de baja potencia ($0,3 \text{ kW}$ a 30 kW) consultados, la cual es de $2,56 \text{ m/s}$; sin embargo, es recomendable realizar pruebas preliminares para evaluar la viabilidad en la implementación de sistemas eólicos a pequeña escala en estas subregiones. Además, se destaca que es la única subregión que no cuenta con territorio dentro de zonas de reserva natural.

Las subregiones Capital cordillera, Alto Ariari Centro y Bajo Ariari Sur presentan los valores más bajos de WS en el departamento, con una velocidad de hasta $2,19 \text{ m/s}$, por debajo del promedio departamental ($2,73 \text{ m/s}$). Por lo tanto, en caso de identificar algún proyecto de energización en estas subregiones, se recomienda emplear otros tipos de energías alternativas, ya sea energía solar o hídrica.

A causa de la baja cobertura de las estaciones meteorológicas del IDEAM en el departamento, se obtuvo información de tan sólo tres estaciones localizadas en una sola subregión (Capital cordillera). Por lo tanto, se sugiere una mayor presencia de estaciones a lo largo del territorio para que, en caso de realizarse futuros estudios



**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

252

del recurso eólico, estos puedan disponer de datos de WS registrados en la superficie y complementar el análisis con información disponible en bases de datos satelitales, como el Atlas global del IRENA.

5. POTENCIAL DE LA BIOMASA

Se considera la biomasa como aquel material orgánico derivado de distintas actividades productivas, tales como la producción agrícola (desechos y subproductos agrícolas) y la producción pecuaria (estiércol de aves, porcinos y bovinos). Su composición química lo posiciona como una opción viable para el aprovechamiento de la energía que contiene, al ser útil en procesos energético como la cocción, calefacción o generación de electricidad (Marco, Goldstein, & Griffa).

Por otro lado, este tipo de fuente de energía renovable no convencional cuenta con algunas ventajas como la reducción y aprovechamiento de la cantidad de residuos orgánicos y la reducción en la probabilidad de riesgo de incendios (en el caso de la biomasa agrícola y forestal). No obstante, en términos económicos esta opción de generación se debe desarrollar cerca a la fuente de generación de biomasa con el fin de disminuir costos adicionales de transporte y mano de obra.

A continuación, se presenta un análisis del potencial de la biomasa disponible a partir de las producciones agrícolas y pecuarias en el departamento del Meta y cada una de sus subregiones.

5.1 Potencial energético de la biomasa agrícola

Con el objetivo de establecer un análisis completo del potencial energético de biomasa en el Meta, se tomó como base los datos de producción agrícola nacional registrada en las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVAS) realizadas por el Ministerio de Agricultura, esta información comprende la producción del territorio nacional desde el 2007 al año 2016. Los datos que se emplean en el presente documento corresponden al año 2016 debido a que es la información más actualizada de los últimos años.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

254

La producción agrícola está conformada por cultivos permanentes y cultivos transitorios, los cuales aportaron un total de 408.463 Hectáreas de área cosechada en el año 2016. Lo anterior indica que las cosechas agrícolas en el departamento del Meta en el año 2016, estuvo conformada en un 52,33% (213.761 Ha) por los cultivos permanentes y en un 47,67% (194.762 Ha) por los cultivos transitorios.

En la *Tabla 31* se puede observar el registro del área cosechada que ha tenido el departamento del Meta desde el año 2007 hasta el año 2016 tanto de cultivos permanentes, transitorios y su valor total por año.

Tabla 31. Área cosechada por tipo de cultivo (2007-2016)

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
2016	213.761	194.702	408.463

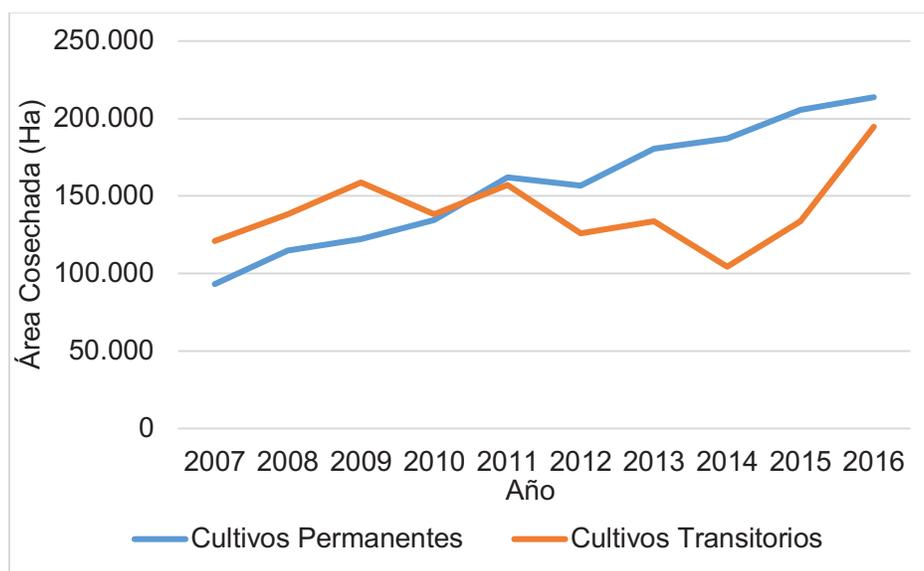
Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

255

En la *Gráfica 68* se observa el descenso que presentó los cultivos transitorios entre los años 2011 al 2014 siendo en este último año la menor cantidad de área cosechada registrada en el tiempo, a partir de allí ha iniciado un incremento considerable. Por otro lado, los cultivos permanentes a lo largo del tiempo han conservado una tendencia creciente desde el 2007 hasta el año 2016.

Gráfica 68. Registro del área cosechada por tipo de cultivo (2007-2016)



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

Así mismo, en la *Tabla 32* se indica la variación del área cosechada desde el año 2007 al 2016, es decir, el porcentaje de hectáreas cosechadas que ha aumentado o ha disminuido cada tipo de cultivo y su totalidad de área cosechada respecto al año anterior, donde los cultivos permanentes presentan mayor participación en el departamento puesto que año tras año han incrementado, presentando un pequeño descenso de 3,4% en el período 2011-2012. En el caso de los cultivos transitorios se ha tenido un incremento significativo en el año 2015-2016 de 45,6%.

Tabla 32. Variación del área cosechada por tipos de cultivo (2007-2015)

Variación (%)	Cultivos permanentes (%)	Cultivos transitorios (%)	Total (%)
2007-2008	23,39	14,52	37,92
2008-2009	6,35	14,79	21,15
2009-2010	10,16	-12,89	-2,73
2010-2011	20,32	13,64	33,97
2011-2012	-3,4	-20,02	-23,43
2012-2013	15,34	6,20	21,54
2013-2014	3,5	-21,87	-18,37
2014-2015	10,03	28,12	38,16
2015-2016	3,93	45,6	49,52

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

5.1.1 Cultivos permanentes en el departamento del Meta

Los cultivos permanentes son los cultivos que al ser plantados tienen un largo periodo de producción (superior a 6 meses) permitiendo obtener cosechas durante varios años sin la necesidad de volver a ser sembrados después de cada cosecha (DANE, 2015). Para el año 2016 el departamento del Meta registra 22 cultivos permanentes con una producción de 2'365.242 toneladas.

La *Tabla 33*, contiene información acerca del área sembrada, área cosechada y producción de los cultivos permanentes establecidos en el departamento durante los años 2015 y 2016 a partir de las EVAS 2017.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

257

Tabla 33. Cultivos permanentes en el departamento del Meta (2015 y 2016)

Cultivo	Área sembrada		Área cosechada		Producción (Ton)	
	(Ha)		(Ha)			
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Aguacate	780	2400	527	598	5306	5951
Arazá	10,5	2	8,5	2	67	1
Banano	30	60,5	28	38	185	283
Cacao	7339,5	10.359	5415,5	5076	3201	3358,4
Café	3534,3	3611	2922,2	2924,9	3206,3	3322,4
Caña de azúcar	10.529	18.825	8469	15.796,8	602114,5	1'247.010
Caucho	19.858,9	21.846,4	1783	2433	3509,1	3496,1
Cítricos	6522	4266,6	5888	3200	109175	48.869
Guanábana	155	133	142	120	1034,5	290,5
Guayaba	4393	4647	2851	2224,5	43987,5	22.211,5
Lulo	106	69,5	99	58	1287	568
Mangostino	393	84	66	59	336	388
Maracuyá	925	2489	852	1513	15472	28.095
Mora	105	54	89	41	1146	550
Palma de aceite	221.266	221.090	153.054	153.246	509.047,8	478.790
Papaya	662	1199	565	491	19027	19.478
Piña	2684	3832	2386	1824	120390	90.198,5
Plátano	16.944	24.412	15.009	15.059,5	256.197	274.197
Rambután	39	44,5	2	2,5	8	8,5
Tomate de árbol	29	5	18	5	396	50

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

258

Yuca	5419	6969	5409	6544	88.577	103.174
Zapote	10	11	8	11	144	198

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

Como se observa en la tabla anterior, los cultivos permanentes que lideran la producción en el departamento del Meta en el 2016 son: caña de azúcar, palma de aceite, plátano y yuca. Estos cultivos son objeto de estudio en el presente documento ya que aportan el 88,9% de la producción total de cultivos permanentes del departamento con 2'103.171 toneladas.

- **Producción de caña de azúcar**

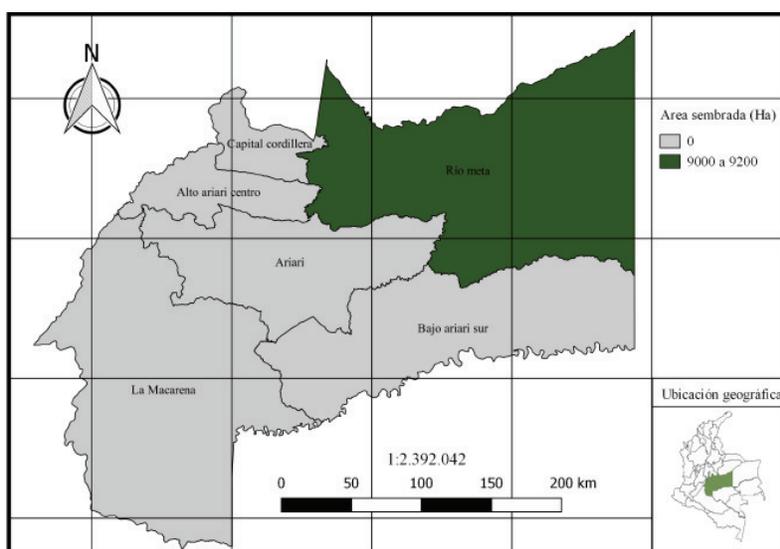
El cultivo de caña de azúcar aporta en un 52,72% es decir 1'247.010 toneladas de las 2'365.242 toneladas de cultivos permanentes que se produjeron en el departamento del Meta en el año 2016. Para el mismo año cuenta con 18.825 Ha de área sembrada y se cosecharon 15.797 Ha, es decir el 83,9%.

En la *Figura 111* se muestra cada una de las subregiones del departamento del Meta con su respectiva área sembrada de caña de azúcar en el 2016.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

259

Figura 111. Área sembrada del cultivo de caña de azúcar en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Tabla 34* se muestra el área sembrada, área cosechada y la producción de caña de azúcar para el año 2016 en el departamento del Meta. La subregión Río Meta es quien lidera las tres variables anteriormente mencionadas, presentado una producción de 1'243.043,2 ton del cultivo de caña de azúcar.

Tabla 34. Cultivo de caña de azúcar por subregiones

Subregión	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
Ariari	415	367	1753,4
Bajo Ariari Sur	300	289	736,5
Alto Ariari Centro	24	23	161
Río Meta	17.485	14.848,8	1'243.043,2
La Macarena	443	156	657

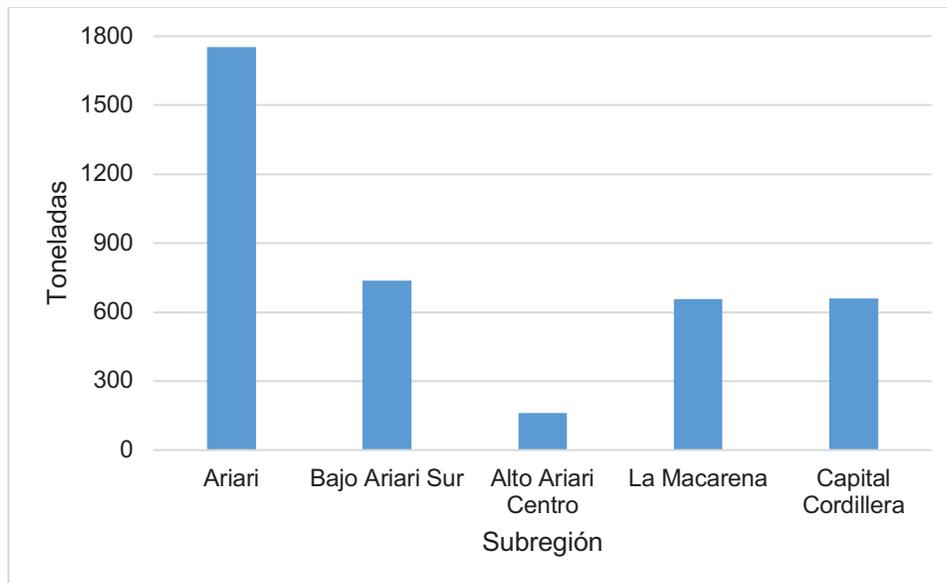
ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Capital Cordillera	158	113	659
-----------------------	-----	-----	-----

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Gráfica 69* se muestra la producción en las subregiones del departamento del Meta a excepción de la subregión Río Meta puesto que es la que mayor producción presenta en el departamento siendo esta de 1'243.043,2 toneladas para el año 2016. Posteriormente se encuentra la subregión Ariari con 1753,4 toneladas y La Macarena y Capital Cordillera tienen valores muy cercanos siendo estos de 657 y 659 toneladas respectivamente.

Gráfica 69. Producción de caña de azúcar por subregiones en el 2016

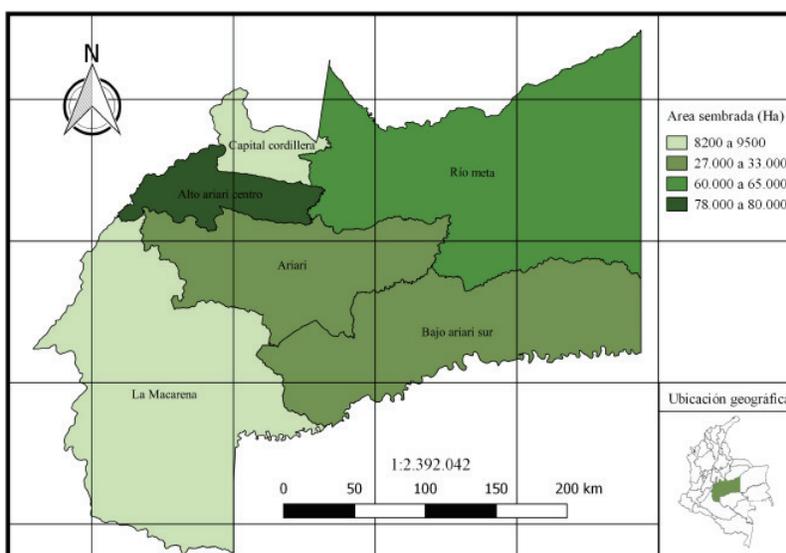


Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

- **Producción de palma de aceite**

El cultivo de palma de aceite aporta en un 20,24% es decir 478.790 ton de las 2'365.242 ton de cultivos permanentes que se produjeron en el departamento del Meta en el año 2016. Para el mismo año cuenta con 221.090 Ha de área sembrada y se cosecharon 153.246 Ha es decir el 69,3%. En la *Figura 112* se muestran las subregiones del departamento del Meta con su respectiva área sembrada de palma de aceite para el año 2016.

Figura 112. Área sembrada del cultivo de palma de aceite en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Tabla 35* se muestra el área sembrada, área cosechada y la producción de palma de aceite para el año 2016 en el departamento del Meta. La subregión con mayor área sembrada es Alto Ariari Centro seguida por Rio Meta con 80.068 y 69.336 Ha respectivamente; Rio Meta y Alto Ariari Centro son las subregiones con mayor área cosechada siendo esta de 57.431 y 52.384 Ha respectivamente, así

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

262

mismo estas dos subregiones son las de mayor producción en el departamento con 179.759 y 163.961,9 ton respectivamente.

Tabla 35. Cultivo de palma de aceite por subregiones

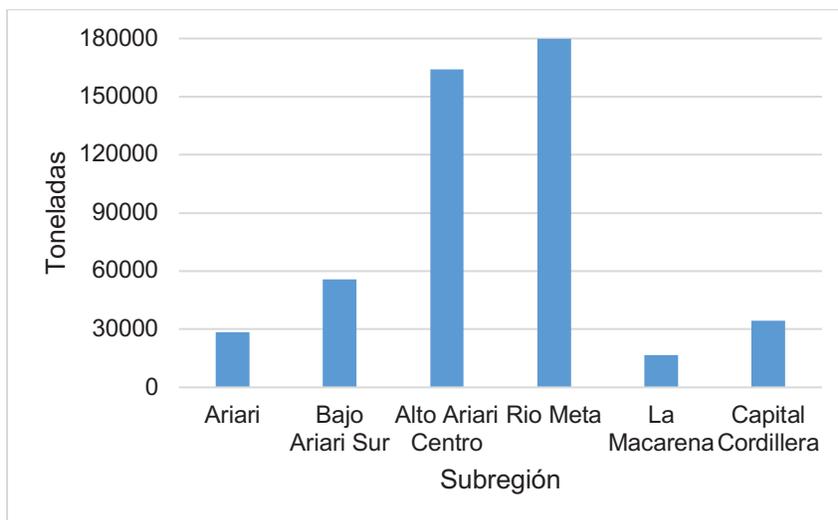
Subregión	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
Ariari	21.325	9417	28.605,2
Bajo Ariari Sur	28.709	17.759	55.585,7
Alto Ariari Centro	80.068	52.384	163.961,9
Rio Meta	69.336	57.431	179.759
La Macarena	9437	5300	16.589
Capital Cordillera	12.215	10.955	34.289,2

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Gráfica 70* se muestra la producción en las subregiones del departamento del Meta donde se evidencia que la subregión Rio Meta y Alto Ariari Centro son las mayores productoras de palma de aceite siendo el 71,8% de la producción departamental es decir 343.720,9 de las 478.790 toneladas. La Macarena es la subregión con menos producción en el departamento del cultivo de palma de aceite con 16.589 toneladas.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

Gráfica 70. Producción de palma de aceite en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

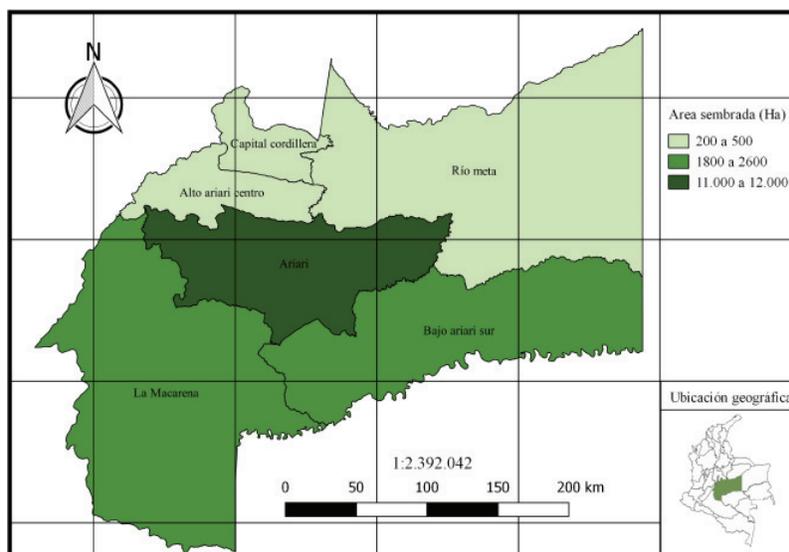
- **Producción de plátano**

El plátano es el tercer cultivo permanente con mayor producción, aportando un 11,59% es decir 274.197 de las 2'365.242 toneladas de cultivos permanentes que se produjeron en el departamento del Meta en el año 2016. Para el mismo año cuenta con 15.059,5 Ha de área sembrada y se cosecharon 24.412 Ha es decir el 61,7%. En la *Figura 113* se muestran las subregiones del departamento de Casanare con su respectiva área sembrada de caña de azúcar para el año 2016.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

264

Figura 113. Área sembrada del cultivo de plátano en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Tabla 36* se muestra el área sembrada, área cosechada y la producción de plátano para el año 2016 en el departamento del Meta. La subregión Ariari es quien lidera las tres variables anteriormente mencionadas, presentado una producción de 157.395 ton del cultivo de plátano.

Tabla 36. Cultivo de plátano por subregiones

Subregión	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
Ariari	14.587,5	8835	157.395
Bajo Ariari Sur	3825	2650	50.000
Alto Ariari Centro	556	411	7009
Rio Meta	970,5	560,5	12.330

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

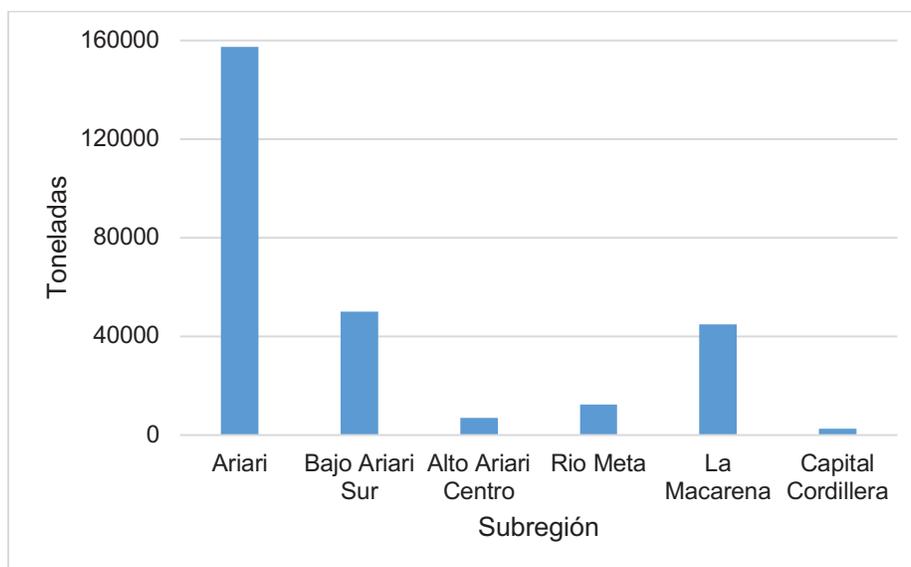
265

La Macarena	4245	2445	44.825
Capital Cordillera	228	158	2638

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Gráfica 71* se muestra la producción en las subregiones del departamento del Meta donde se evidencia que Ariari es la que mayor producción presenta en el departamento siendo está de 157.395 ton para el año 2016. Posteriormente se encuentra la subregión Bajo Ariari Sur y La Macarena con valores cercanos de producción siendo de 50.000 y 44.825 ton respectivamente.

Gráfica 71. Producción de plátano en el 2016



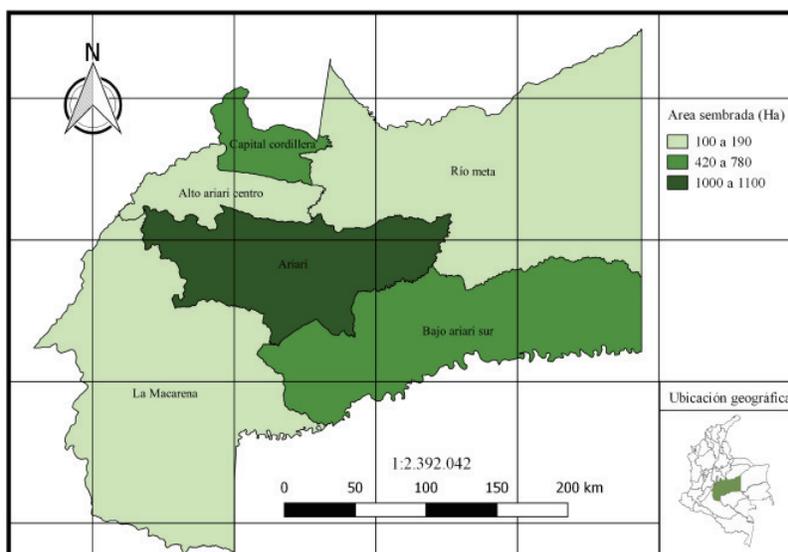
Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

- **Producción de yuca**

El cultivo de yuca aporta en un 4,36% es decir 103.174 de las 2'365.242 toneladas de cultivos permanentes que se produjeron en el departamento del Meta en el año 2016. Para el mismo año cuenta con 6544 Ha de área sembrada y se cosecharon 6969 Ha es decir el 93,9%.

En la *Figura 114* se muestran las subregiones del departamento del Meta con su respectiva área sembrada de caña de azúcar para el año 2016.

Figura 114. Área sembrada del cultivo de yuca en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Tabla 37* se muestra el área sembrada, área cosechada y la producción de yuca para el año 2016. La subregión Ariari lidera las tres variables anteriormente mencionadas, presentado una producción de 63.544 ton del cultivo de plátano. La subregión Alto Ariari Centro es la menor en cuanto área sembrada, área cosechada y producción siendo de 174 Ha, 172 Ha y 2560 toneladas respectivamente.

Tabla 37. Cultivo de yuca por subregiones

Subregión	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
Ariari	4343	4082	63.544
Bajo Ariari Sur	910	810	13.260
Alto Ariari Centro	174	172	2560
Rio Meta	400	378	5964
La Macarena	795	795	14.130
Capital Cordillera	347	307	3716

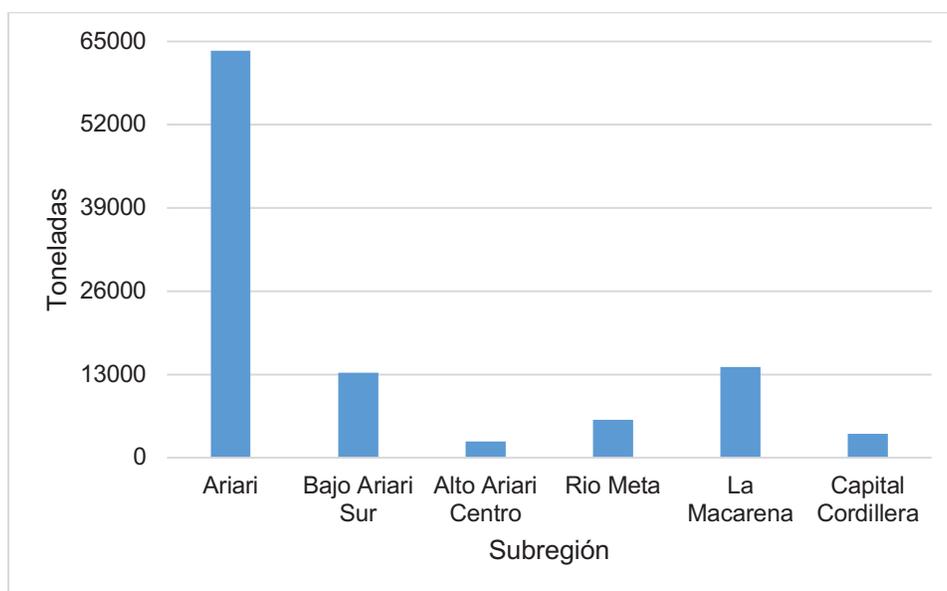
Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Gráfica 72* se muestra la producción en las subregiones del departamento del Meta donde presenta las subregiones Alto Ariari Centro y Capital Cordillera con la menor producción departamental siendo esta de 2560 y 3716 toneladas respectivamente mientras que la subregión Ariari presenta la mayor producción en el departamento con 63.544 toneladas para el año 2016.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

268

Gráfica 72. Producción de yuca en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

5.1.2 Cultivos transitorios en el departamento del Meta

Los cultivos transitorios son aquellos cultivos cuyo ciclo vegetativo suele ser menor a un año (DANE, 2015), máximo de 6 meses sembrados. Su característica fundamental es que después de cada cosecha, tienen la necesidad de volver a ser sembrados. A continuación en la *Tabla 38* se presentan los 11 cultivos transitorios presentes en el departamento del Meta para el año 2016.

Tabla 38. Cultivos transitorios en el año 2016

Cultivo	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
---------	--------------------	---------------------	------------------

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

269

	Periodo		Periodo		Periodo	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Ahuyama	54	974	54	891.5	873	11.346,9
Arroz	63.540,7	77.720	63191,7	77.416,5	318.483,5	404.262,3
Arveja	35	33	35	18	29,4	38.325
Cebolla de rama	2	1	2	1	40	15
Frijol	2667	1075	2667	1074	2547,5	1543,8
Habichuela	10	7	10	7	40	14,8
Maíz	43.971	83.670	43.810	83.409	247.742,1	522.788,4
Patilla	3086	4072	2886	3576	92.731	106.079,6
Pepino	11	3	10	3	43	15.5
Soya	18.810	28.237	18.810	28.217	50.005	73.562,5
Tomate	7	89	7	89	108	1988

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

Como se observa en la tabla anterior, los cultivos transitorios con mayor producción son maíz y arroz con una producción de 927.050,7 toneladas, es decir el 82,7% de la producción total de cultivos transitorios del departamento del Meta.

- **Producción de maíz**

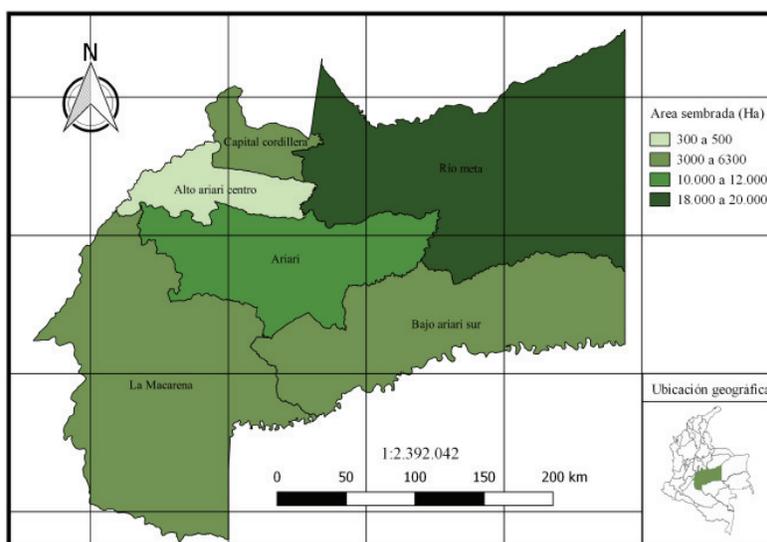
El cultivo de maíz aporta 522.788,4 ton de las 1'121.655,2 ton de la producción departamental de los cultivos transitorios para el año 2016. Para ese año su área sembrada es de 83.670 Ha, de las cuales se cosecharon 83.409 Ha de estas, es decir el 99,7% en el año 2016.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

270

En la *Figura 115* se muestra las subregiones del departamento del Meta con su respectiva área sembrada de maíz para el año 2016..

Figura 115. Área sembrada del cultivo de maíz en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Tabla 39* se muestra el área sembrada, área cosechada y la producción de maíz para el año 2016 en el departamento del Meta. La subregión Rio Meta cosechó el 100% del área sembrada y a su vez es la de mayor productora de este cultivo con 426.061,6 toneladas.

Tabla 39. Cultivo de maíz por subregiones

Subregión	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
Ariari	14.849	14.779	79.095
Bajo Ariari Sur	973	941	2846,5

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

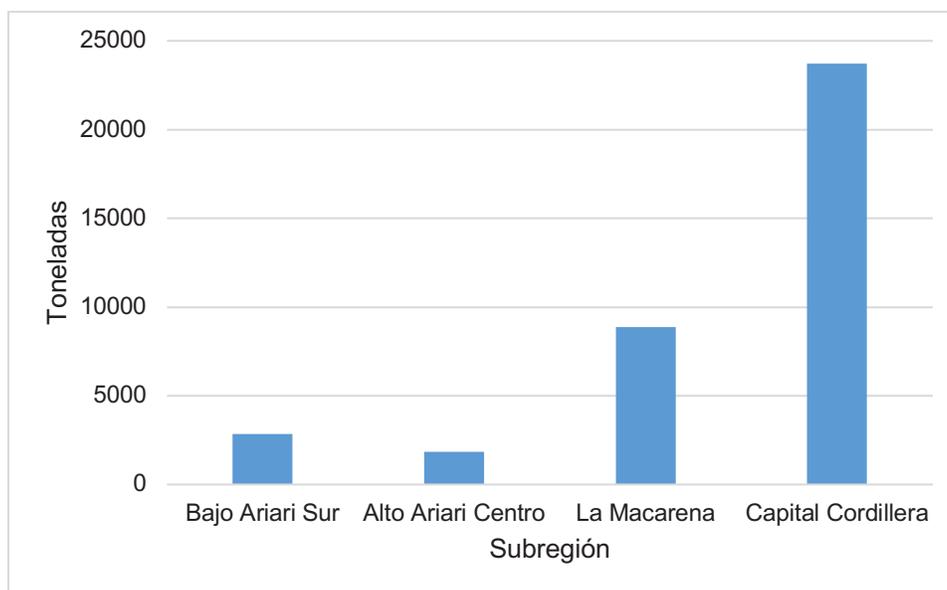
271

Alto Ariari Centro	399	398	1850,3
Rio Meta	63.069	63.069	426.061,6
La Macarena	2870	2770	8878
Capital Cordillera	4757	4699	23.699,1

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Gráfica 73* se muestra la participación en la producción del cultivo de maíz en las subregiones del departamento del Meta para el año 2016 a excepción de la subregión Rio Meta ya que presenta la mayor producción en el departamento siendo está de 426.061,6 toneladas, posteriormente se encuentra la subregión Capital Cordillera con 23.699,1 toneladas y Alto Ariari Centro en la subregión con menos participación en la producción de este cultivo siendo de 1850,3 toneladas.

Gráfica 73. Producción de maíz en el 2016



ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

272

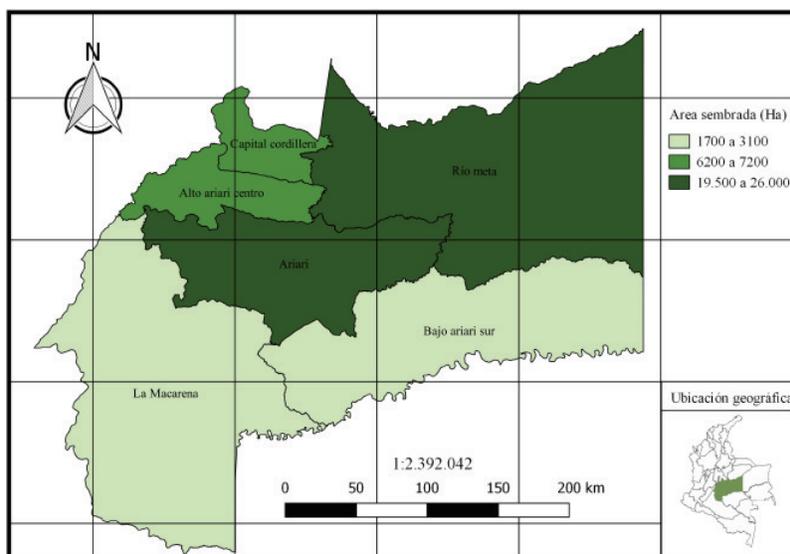
Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

- **Producción de arroz**

El cultivo de arroz aporta 404.262,3 de las 1'121.655,2 toneladas de la producción departamental de los cultivos transitorios para el año 2016. Para ese año su área sembrada es de 77.720 Ha, de las cuales se cosecharon 77.416,5 Ha de estas, es decir el 99,6% en el año 2016.

En la *Figura 116* se muestra las subregiones del departamento del Meta con su respectiva área sembrada de arroz para el año 2016.

Figura 116. Área sembrada del cultivo de arroz en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Tabla 40* se muestra el área sembrada, área cosechada y la producción de arroz para el año 2016 en el departamento del Meta. La subregión Bajo Ariari

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

273

Sur cosechó el 100% del área sembrada, aunque la mayor producción se encuentra en la subregión Rio Meta y Ariari con 172.946,9 y 113.600,5 ton respectivamente.

Tabla 40. Cultivo de arroz por subregiones

Subregión	Área sembrada (Ha)	Área Cosechada (Ha)	Producción (ton)
Ariari	19.592,5	19.572,5	113.600,5
Bajo Ariari Sur	1349	1349	6882,2
Alto Ariari Centro	7579	7577	39.284,4
Rio Meta	34.959,5	34824	172.946,9
La Macarena	3415	3336	17.292,7
Capital Cordillera	12.890	12.823	66.395,8

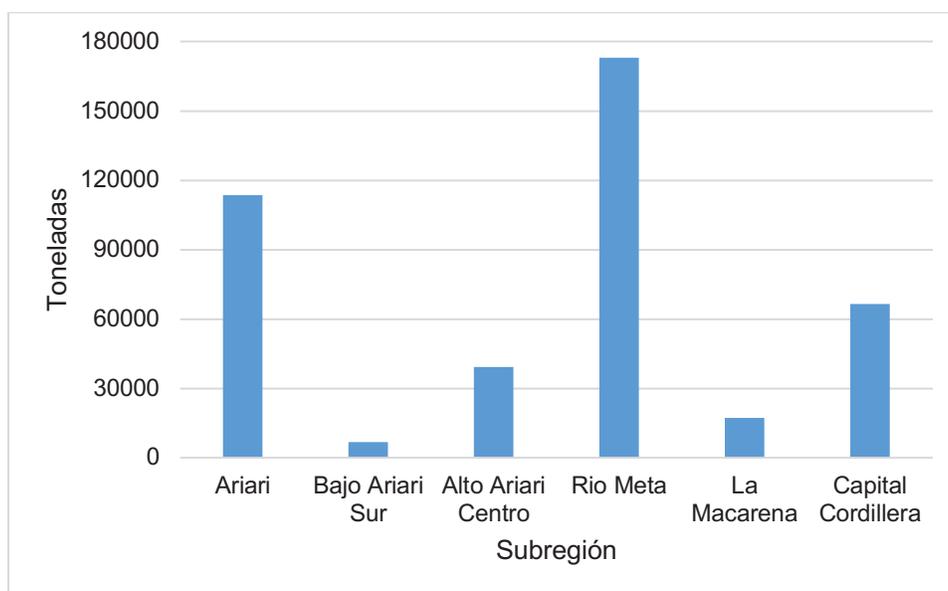
Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

En la *Gráfica 74* se muestra la participación en la producción del cultivo de arroz en las subregiones del departamento del Meta para el año 2016. La subregión Bajo Ariari Sur y La Macarena son las que menor producción de este cultivo presentan en el departamento con 6882,2 y 17.292,7 toneladas respectivamente mientras que la subregión Rio Meta y Ariari tienen la mayor producción de arroz departamental con 172.946,9 y 113.500,5 toneladas respectivamente.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

274

Gráfica 74. Producción de arroz en el 2016



Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de las EVAS 2007-2017.

5.1.3 Potencial energético de la biomasa residual agrícola

Cuando se cosecha un cultivo permanente o transitorio, esta actividad deja diferentes tipos de residuos orgánicos diferentes al producto agrícola principal que usualmente son desechados en lugar de ser aprovechados. Es por esta razón que se eligieron los cultivos agrícolas de mayor producción en el departamento para calcular la cantidad de desechos que estos generan y poder convertir estos residuos en recursos para ser fuentes de energía.

Cada cultivo tiene uno o más tipos de residuos que a su vez tienen un factor de residuo. Este factor de residuo (RPR) está dado por el peso del residuo dividido por el peso del producto principal. Al multiplicar el RPR de los diferentes tipos de residuos que se generan al cosechar por la producción de este cultivo en el departamento, se puede estimar la cantidad de residuos que presenta dicho cultivo.

Cuando se determina la cantidad de residuos, mediante modelos matemáticos se puede estimar el potencial energético bruto de los mismos, teniendo en cuenta el poder calorífico inferior que posee cada residuo.

Para el cálculo del potencial energético en procesos termoquímicos se utiliza el modelo matemático presentado en el atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia, los cuales se fundamentan en que la energía contenida en su materia es proporcional a su masa seca y por consiguiente se puede expresar en forma general como (Escalante, Orduz, Zapata, Cardona, & Duarte, 2015):

$$\text{Potencial energético (MJ)} = \text{Biomasa}_{\text{agrícola}}(\text{ton}) * \text{PCI} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{ton}} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

Para obtener la Biomasa agrícola se calcula por medio de la ecuación:

$$\text{Biomasa}_{\text{agrícola}}(\text{ton}) = \text{Producción}(\text{ton}) * \text{Factor de residuo} \quad \text{Ec. 3}$$

Para llevar a cabo procesos termoquímicos los residuos deben contener bajo contenido de humedad es decir 50% o menos. Para residuos con una humedad superior al 50% es recomendable realizar procesos de transformación bioquímicos o biológicos ya que son más óptimos, esto debido a que los cultivos con gran contenido de humedad se les debe realizar unos pretratamientos antes de un proceso termoquímico pero esto incrementaría los gastos económicos y energéticos.

5.1.4 Potencial energético de los residuos de cultivos permanentes y transitorios

En el departamento del Meta los cultivos permanentes son los que tienen un mayor volumen de producción siendo los cultivos de caña de azúcar, palma de aceite, plátano y yuca los más representativos; en cambio los cultivos transitorios con

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

276

volumen de producción inferior al de los cultivos permanentes, el maíz y el arroz son los cultivos con mayor producción en esta clasificación.

En la *Tabla 41* se presentan los datos utilizados para los cultivos con mayor producción del departamento del Meta y su potencial energético bruto.

Tabla 41. Potencial energético de los cultivos permanentes (2015)

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	RPR	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	1'247.009,9	Hojas y cogollo	3,26	4'065.252	15.413,9	62.661'229.416	34.712,6
		Bagazo	2,68	3'341.986	18.643,9	62.307'662.704	
Palma de aceite	478.789,9	Cuesco	0,22	105.333	16.685,8	1.757'577.593	4358,2
		Fibra	0,63	301.637	17.882,4	5.394'011.814	
		Raquis	1,06	507.517	16.823,9	8.538'401.328	
Plátano	90.198,5	Raquis	1	90.198	7568,9	682'699.818,7	1254,7
		Vástago	5	450.992	8501,9	3.834'288.626	
Yuca	103.174	Tallos	0,13	13.412	9001	120'726.992,6	417,8
		Rastrojo	0,93	96.364	14.356	1.383'408.992	
Maíz	522.788,4	Tusa	0,27	141.152	14.183,8	2.002'078.546,6	1042,9
		Capacho	0,21	109.785	15.962	1.752'392.906,8	
		Tamo	2,35	950.016	13.024,8	12.373'764.481	
Arroz	404.262,3	Cascarilla	0,21	84.895	15.074,9	1.279'789.163	5290,8
		Rastrojo	0,93	375.963	14.346,9	5.393'932.210	
Total							47.077

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

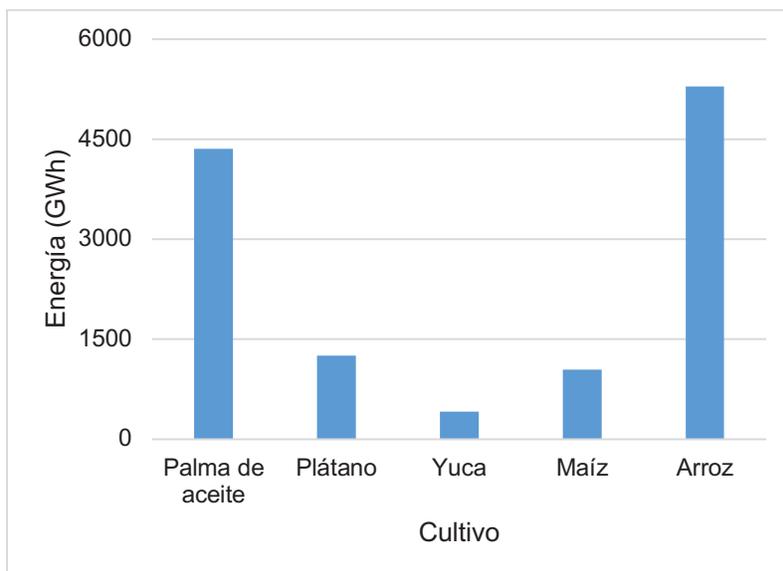
277

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

De acuerdo a la tabla anterior el mayor potencial energético del departamento corresponde al cultivo de caña de azúcar siendo este de 34.712,6 GWh, debido a que presenta los mayores RPR y a su vez el mayor volumen de producción departamental razón por la cual el volumen de residuos generados de dicho cultivo; el segundo potencial energético corresponde al cultivo de arroz, con 5290,8 GWh aunque el cultivo de maíz tiene mayor producción, el arroz posee mayores valores de RPR, por lo tanto mayor volumen de residuos y así mayor oferta energética.

En la *Gráfica 75* se presenta el potencial energético ruto de los cultivos del departamento del Meta para el año 2016 a excepción del cultivo de caña de azúcar por el valor que registra, seguido se encuentra el cultivo de arroz y palma de aceite con potenciales energéticos de 5290,8 y 4358,2 GWh respectivamente, por otro lado el cultivo de yuca presenta la menor oferta energética departamental con 417,8 GWh.

Gráfica 75. Potencial energético de los cultivos permanentes y transitorios



Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

5.1.5 Potencial energético en las subregiones

A continuación, se presenta el potencial energético bruto de cada subregión a partir de la oferta de cultivos permanentes y transitorios presentes en cada uno de sus territorios.

- **Subregión Ariari**

En la *Tabla 42* se muestra la producción de cada cultivo y sus subproductos determinada mediante el factor de residuo correspondiente, a su vez el potencial energético bruto en la subregión dado en GWh. Los cultivos con mayor producción y generación de residuos son plátano y arroz.

Tabla 42. Potencial energético de la biomasa en la subregión Ariari

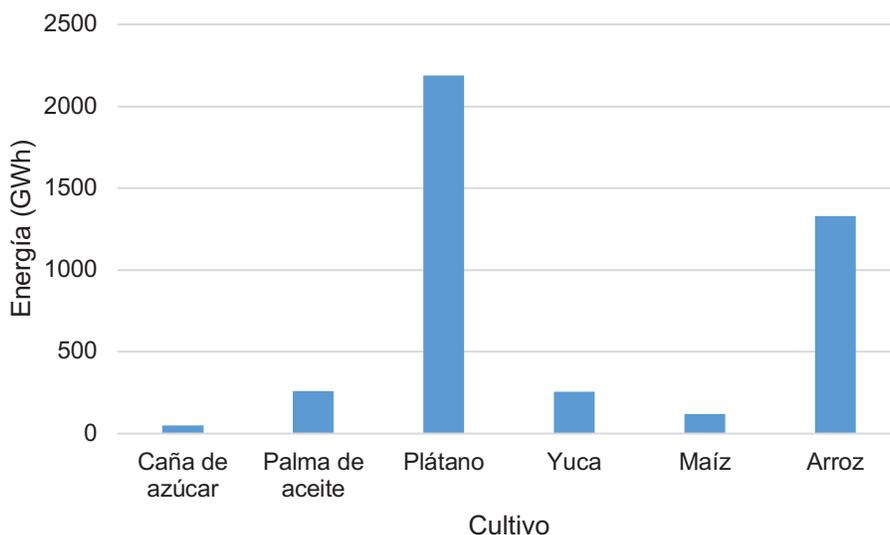
Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	1753,4	Hojas y cogollo	3,26	5716,1	15.413,9	88'106.918,5	48,8
		Bagazo	2,68	4699,1	18.643,9	87'609.774,2	
Palma de aceite	28.605,21	Cuesco	0,22	6293,1	16.685,8	105'006.115,9	260,4
		Fibra	0,63	18.021,3	17.882,4	322'264.139	
		Raquis	1,06	30.321,5	16.823,9	510'125.051,2	
Plátano	157.395	Raquis	1	157.395	7568,9	1.191'300.720	2189,4
		Vástago	5	786.975	8501,9	6.690'774.883	
Yuca	63.544	Tallos	0,13	8260,7	9001	74'354.740,7	257,3
		Rastrojo	0,93	59.350,1	14.356	852'029.978,2	
Maíz	59.453	Tusa	0,27	16.052,3	14.183,8	227'682.112,5	118,6
		Capacho	0,21	12.485,1	15.962	199'287.145,7	
		Tamo	2,35	238.431,9	13.024,8	3.105'525.793	
Arroz	101.460,4	Cascarilla	0,21	21.306,7	15.074,9	321'197.180	1327,9
		Rastrojo	0,93	94.358,2	14.346,9	1.353'750.965	
Total							4202,4

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el "Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia" (UPME).

La *Gráfica 76* presenta la oferta energética generada por los residuos de cultivos agrícolas de la subregión Ariari. El cultivo de plátano presenta la mayor oferta energética frente a los demás cultivos siendo esta de 2189,4 GWh seguida

por 1327,9 GWh de oferta energética del cultivo de arroz, la menor oferta energética del municipio es a partir del cultivo de caña de azúcar siendo esta de 48,8 GWh.

Gráfica 76. Potencial energético de la biomasa en la subregión Ariari



Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

- **Subregión Bajo Ariari Sur**

En la Tabla 12 se muestra la producción de cada cultivo y sus subproductos determinada mediante el factor de residuo correspondiente, a su vez el potencial energético bruto en la subregión dado en GWh. Los cultivos con mayor producción son palma de aceite y plátano, pero, debido al RPR de los subproductos del plátano este cultivo presenta mayor volumen de residuos y ya que el poder calorífico de los mismos es superior a los residuos del cultivo de palma de aceite, es el cultivo de plátano el que presenta la mayor oferta energética en la subregión.

Tabla 43. Potencial energético de la biomasa en la subregión Bajo Ariari Sur

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	736,5	Hojas y cogollo	3,26	2400,9	15.413,9	37'008.523,7	20,5
		Bagazo	2,68	1973,8	18.643,9	36'799.702,7	
Palma de aceite	55.585,7	Cuesco	0,22	12.228,8	16.685,8	204'047.979,7	506
		Fibra	0,63	35.018,9	17.882,4	626'223.967,1	
		Raquis	1,06	5892,2	16.823,9	991'275.461,9	
Plátano	50.000	Raquis	1	50.000	7568,9	378'443.000	695,5
		Vástago	5	250.000	8501,9	2.125'472.500	
Yuca	13.260	Tallos	0,13	1723,8	9001	15'515.923,8	53,7
		Rastrojo	0,93	12.384,8	14.356	177'796.763	
Maíz	2846,5	Tusa	0,27	768,6	14.183,8	10'900.999,7	5,7
		Capacho	0,21	597,8	15.962	9'541.501	
		Tamo	2,35	16.173,1	13.024,8	210'651.509,1	
Arroz	6882,2	Cascarilla	0,21	1445,3	15.074,9	21'787.186,8	90,1
		Rastrojo	0,93	6400,4	14.346,9	91'826.538,5	
Total							1371,4

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el "Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia" (UPME).

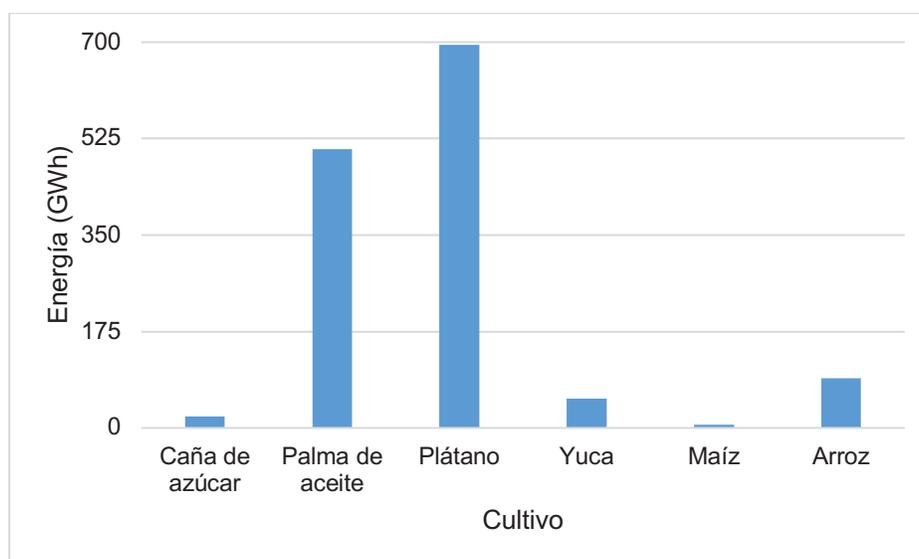
La *Gráfica 77* presenta la oferta energética generada por los residuos de cultivos agrícolas de la subregión Bajo Ariari Sur. El cultivo de plátano presenta la

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

282

mayor oferta energética frente a los demás cultivos siendo esta de 695,5 GWh seguida por 506 GWh de oferta energética del cultivo de palma de aceite, la menor oferta energética de la subregión es a partir del cultivo de maíz siendo esta de 5,7 GWh a pesar de que tiene mayor producción frente al cultivo de caña de azúcar, pero los residuos de esta tienen un mayor poder calorífico y así una oferta energética de 20,5 GWh.

Gráfica 77. Potencial energético de la biomasa en la subregión Bajo Ariari Sur



Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

- **Subregión Alto Ariari Centro**

En la *Tabla 44* se muestra la producción de cada cultivo y sus subproductos determinada mediante el factor de residuo correspondiente, a su vez el potencial

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

283

energético bruto en la subregión dado en GWh. Los cultivos con mayor producción y generación de residuos son palma de aceite y arroz.

Tabla 44. Potencial energético de la biomasa en la subregión Alto Ariari Centro

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	161	Hojas y cogollo	3,26	524,9	15.413,9	8'090.118,6	4,5
		Bagazo	2,68	431,5	18.643,9	8'044.469,9	
		Cuesco	0,22	36.071,6	16.685,8	601'883.516,3	
Palma de aceite	163.961,9	Fibra	0,63	103.296	17.882,4	1.847'182.628	1492,5
		Raquis	1,06	173.799,6	16.823,9	2.923'980.731	
		Raquis	1	7009	7568,9	53'050.139,7	
Plátano	7009	Vástago	5	35.045	8501,9	297'948.735,1	97,5
		Tallos	0,13	332,8	9001	2'995.532,8	
Yuca	2560	Rastrojo	0,93	2391	14.356	34'325.770,2	10,4
		Tusa	0,27	499,6	14.183,8	7'085.745,5	
Maíz	1850,3	Capacho	0,21	388,6	15.962	6'202.059,5	3,7
		Tamo	2,35	92.318,4	13.024,8	1.202'427.322	
Arroz	39.284,4	Tamo	2,35	92.318,4	13.024,8	1.202'427.322	514,1

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

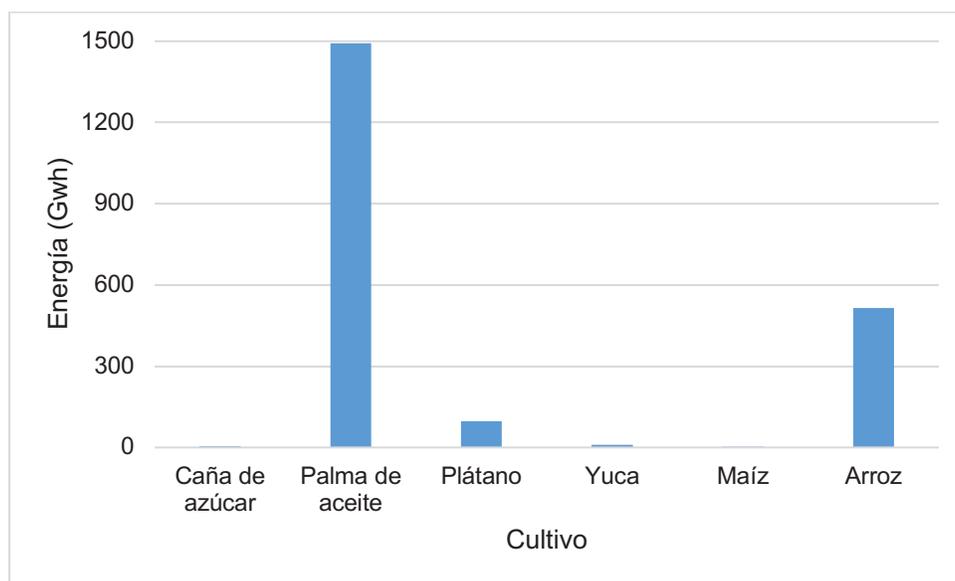
284

Cascarilla	0,21	8249,7	15.074,9	124'364.210, 9
Rastrojo	0,93	36.534,5	14.346,9	524'158.308, 5
Total				2122,6

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el "Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia" (UPME).

La *Gráfica 78* presenta la oferta energética generada por los residuos de cultivos agrícolas de la subregión Alto Ariari Centro. El cultivo de palma de aceite presenta la mayor oferta energética frente a los demás cultivos siendo esta de 1492,5 GWh seguida por 514,1 GWh de oferta energética del cultivo de arroz, la menor oferta energética del municipio es a partir de los cultivos de caña de azúcar y maíz siendo esta de 4,5 y 3,7 GWh respectivamente.

Gráfica 78. Potencial energético de la biomasa en la subregión Alto Ariari Centro



Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

- **Subregión Río Meta**

En la *Tabla 45* se muestra la producción de cada cultivo y sus subproductos determinada mediante el factor de residuo correspondiente, a su vez el potencial energético bruto en la subregión dado en GWh. En esta subregión se concentra el 84% de la oferta energética departamental debido a que presenta alta producción de caña de azúcar principalmente seguida de maíz, palma de aceite y arroz.

Tabla 45. Potencial energético de la biomasa en la subregión Río Meta

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	1'243.043,2	Hojas y cogollo	3,26	4052320,8	15.413,9	62461905980	34.602,2
		Bagazo	2,68	3'331.355,8	18.643,9	62.109'463.952	
Palma de aceite	179.759	Cuesco	0,22	39.546,9	16.685,8	659'872.713,5	1636,3
		Fibra	0,63	113.248,2	17.882,4	2.025'151.678	
Plátano	12.330	Raquis	1,06	190.544,6	16.823,9	3.205'695.200	171,5
		Vástago	5	12.330	7568,9	93'324.043,8	
Yuca	5964	Tallos	0,13	775,3	9001	6'978.655,3	24,2
		Rastrojo	0,93	5570,4	14.356	79'968.317,9	

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

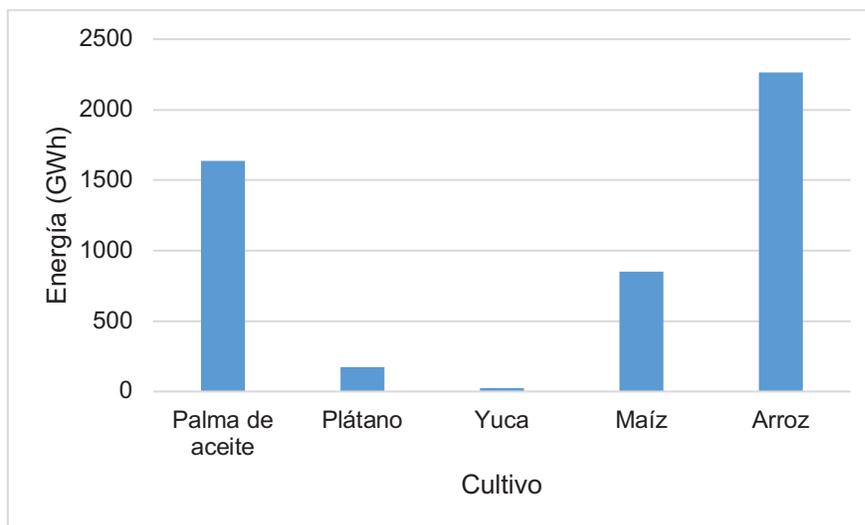
286

Maíz	426.061,6	Tusa	0,27	115.036,6	14.183,8	1.631'651.979,5	849,9
		Capacho	0,21	89.472,9	15.962	1.428'163.425,5	
		Tamo	2,35	406.425,3	13.024,8	5.293'604.525	
Arroz	172.946,9	Cascarilla	0,21	36.318,9	15.074,9	547'04.982,6	2263,5
		Rastrojo	0,93	160.840,7	14.346,9	2.307'571.313	
						Total	39.547,5

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el "Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia" (UPME).

La Gráfica 79 presenta la oferta energética generada por los residuos de cultivos agrícolas de la subregión Rio Meta a excepción del cultivo de caña de azúcar por su imponente valor, seguido se encuentran los cultivos arroz y palma de aceite con 2263,5 y 1636,5 GWh respectivamente, la menor oferta energética de la subregión es a partir del cultivo de yuca siendo esta de 24,2 GWh.

Gráfica 79. Potencial energético de la biomasa en la subregión Río Meta



Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

- **Subregión La Macarena**

En la *Tabla 46* se muestra la producción de cada cultivo y sus subproductos determinada mediante el factor de residuo correspondiente, a su vez el potencial energético bruto en la subregión dado en GWh. Los cultivos con mayor producción y generación de residuos son plátano y arroz.

Tabla 46. Potencial energético de la biomasa en la subregión La Macarena

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	657	Hojas y cogollo	3,26	2141,8	15.413,9	33'013.713,6	18,3
		Bagazo	2,68	1760,8	18.643,9	32'827.433,4	

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

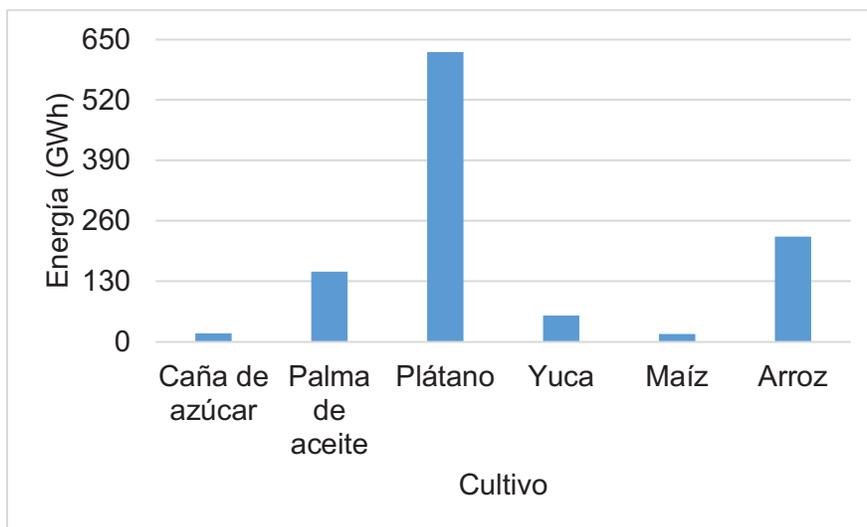
288

Palma de aceite	16.589	Cuesco	0,22	3649,6	16.685,8	60'896.125,5	151
		Fibra	0,63	10.451	17.882,4	186'890.423,2	
		Raquis	1,06	17.584,3	16.823,9	295'836.474,4	
Plátano	44.825	Raquis	1	44.825	7568,9	339'274.149,5	623,5
		Vástago	5	224.125	8501,9	1.905'486.096	
Yuca	14.130	Tallos	0,13	1836,9	9001	16'533.936,9	57,2
		Rastrojo	0,93	13.197,4	14.356	189'462.161,5	
Maíz	8878	Tusa	0,27	2397,1	14.183,8	33'999.323,7	17,7
		Capacho	0,21	1864,4	15.962	29'759.159	
		Tamo	2,35	40.637,8	13.024,8	529'298.170,3	
Arroz	17.292,7	Cascarilla	0,21	3631,5	15.074,9	54'744.056,6	226,3
		Rastrojo	0,93	16.082,2	14.346,9	230'729.981,5	
Total						1094,1	

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el "Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia" (UPME).

La *Gráfica 80* presenta la oferta energética generada por los residuos de cultivos agrícolas de la subregión La Macarena. El cultivo de plátano presenta la mayor oferta energética frente a los demás cultivos siendo esta de 623,5 GWh seguida por 226,3 GWh de oferta energética del cultivo de arroz, la menor oferta energética del municipio es a partir del cultivo de caña de azúcar y maíz siendo esta de 18,3 y 17,7 GWh respectivamente.

Gráfica 80. Potencial energético de la biomasa en la subregión La Macarena



Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

- **Subregión Capital Cordillera**

En la *Tabla 47* se muestra la producción de cada cultivo y sus subproductos determinada mediante el factor de residuo correspondiente, a su vez el potencial energético bruto en la subregión dado en GWh. Los cultivos con mayor producción y generación de residuos son arroz y palma de aceite.

Tabla 47. Potencial energético de la biomasa en la subregión Capital Cordillera

Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo	Masa del residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	PE (MJ)	Energía Total (GWh)
Caña de azúcar	659	Hojas y cogollo	3,26	2148,3	15.413,9	33'114.211,9	18,3
		Bagazo	2,68	1766,1	18.643,9	32'927.364,7	

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

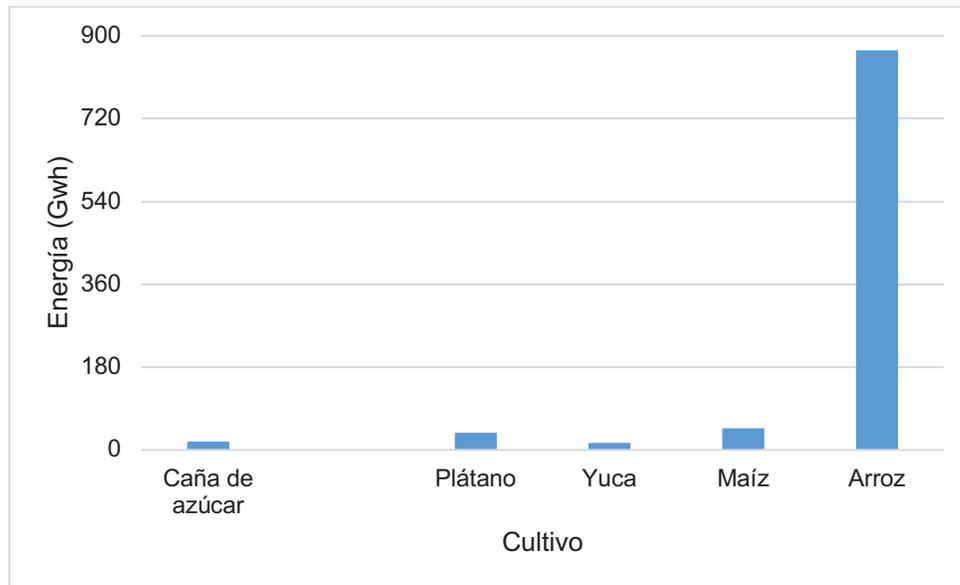
290

Palma de aceite	34.289,2	Cuesco	0,22	7543,6	16.685,8	125'871.142,4	312,1
		Fibra	0,63	21.602,2	17.882,4	386'298.978,5	
		Raquis	1,06	36.346,5	16.823,9	611'488.410,7	
Plátano	2638	Raquis	1	2638	7568,9	19'966.652,7	36,7
		Vástago	5	13.190	8501,9	112'139.929,1	
Yuca	3716	Tallos	0,13	483,1	9001	4'348.203,1	15
		Rastrojo	0,93	3470,7	14.356	49'826.000,9	
Maíz	23.699,1	Tusa	0,27	6398,8	14.183,8	90'758.385,7	47,3
		Capacho	0,21	4976,8	15.962	79'439.616,2	
		Tamo	2,35	156.030	13.024,8	2.032'258.631	
Arroz	66.395,8	Cascarilla	0,21	13.943,1	15.074,9	210'191.698,5	869
		Rastrojo	0,93	61.748,1	14.346,9	885'895.743,7	
Total						1298,4	

Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el "Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia" (UPME).

La *Gráfica 81* presenta la oferta energética generada por los residuos de cultivos agrícolas de la subregión Capital Cordillera. El cultivo de arroz presenta la mayor oferta energética frente a los demás cultivos siendo esta de 869 GWh seguida por 312,1 GWh de oferta energética del cultivo de palma de aceite, la menor oferta energética del municipio es a partir del cultivo de yuca y caña de azúcar siendo esta de 15 y 18,3 GWh respectivamente.

Gráfica 81. Potencial energético de la biomasa en la subregión Capital Cordillera

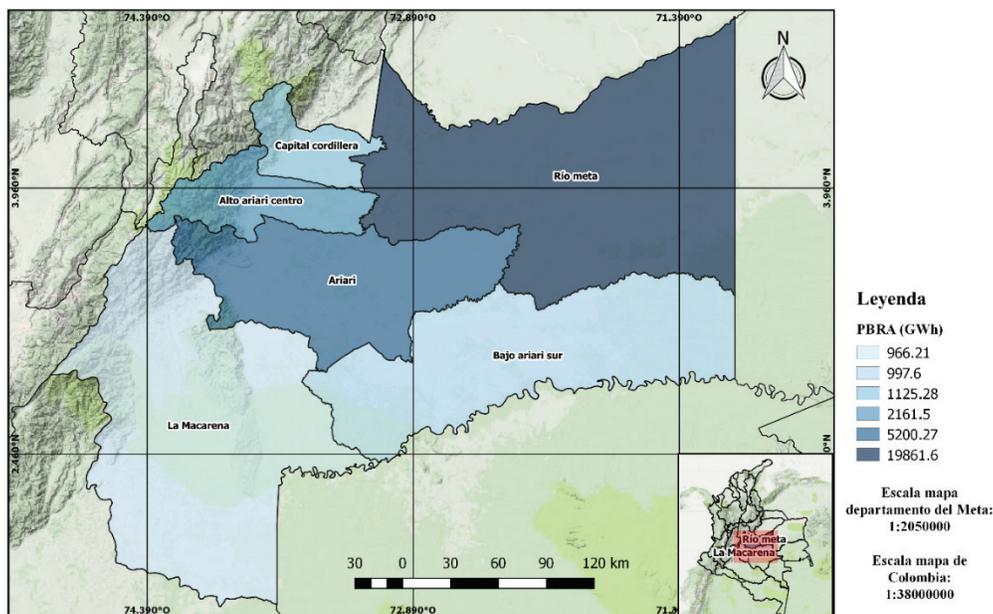


Fuente. Elaboración propia, datos obtenidos al aplicar la Ec. 2 establecida en el “Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia” (UPME).

5.1.6 Mapa propuesto de potencial energético de biomasa agrícola

De acuerdo con el análisis del potencial energético de la biomasa residual agrícola realizado para cada una de las subregiones del departamento del Meta, se expone a continuación en la *Figura 117*, el mapa propuesto para el potencial disponible según este tipo de biomasa a lo largo del territorio.

Figura 117. Mapa de potencial energético de biomasa agrícola



Fuente. Elaboración propia.

5.2 Potencial energético de la biomasa pecuaria

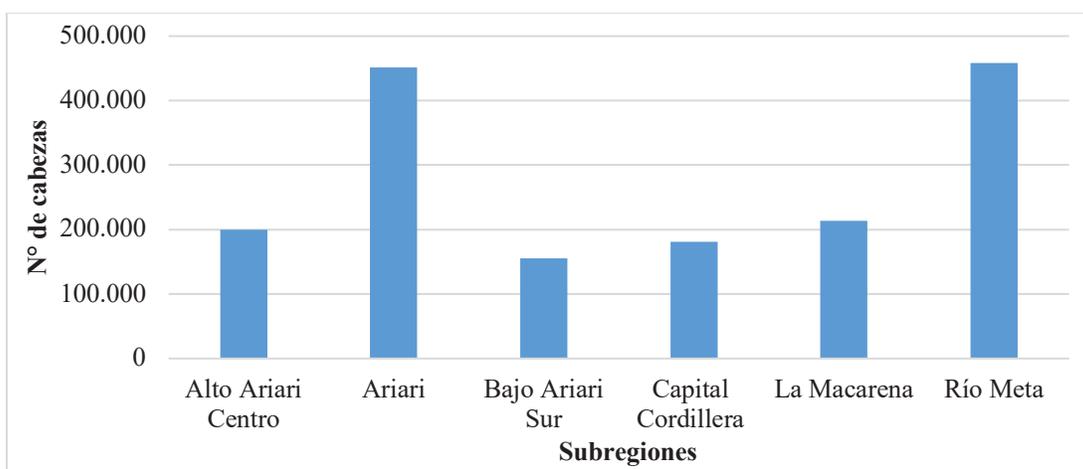
La biomasa residual pecuaria hace referencia al subproducto o residuo generado por actividades ganaderas. La utilización de la biomasa residual pecuaria se realiza mediante la recolección y tratamiento del estiércol proveniente de las especies representativas del sector pecuario de la región como bovina, porcina y avícola, aprovechándose el potencial energético que esta contiene, para obtener productos a través de los métodos y/o tecnologías de conversión de biomasa en energía.

A continuación, se presenta la cantidad de cabezas de los subsectores pecuarios y las clasificaciones según el grupo etario o etapa productiva para posteriormente determinar la tasa de producción de estiércol según la clasificación que pertenezca y finalmente determinar el potencial energético de este residuo.

5.2.1 Biomasa pecuaria del sector bovino

Según el informe del censo pecuario del ICA 2016 el departamento del Meta cuenta con 1'660.147 bovinos correspondientes al 7,3% de la totalidad nacional. La información obtenida se presenta a nivel municipal o departamental, sin embargo, para el actual estudio el análisis se hace por subregiones gracias a la división política presente en el departamento. En la *Gráfica 82* se puede visualizar la cantidad de bovinos en cada subregión del departamento.

Gráfica 82. Distribución de cabezas de ganado bovino por subregiones



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

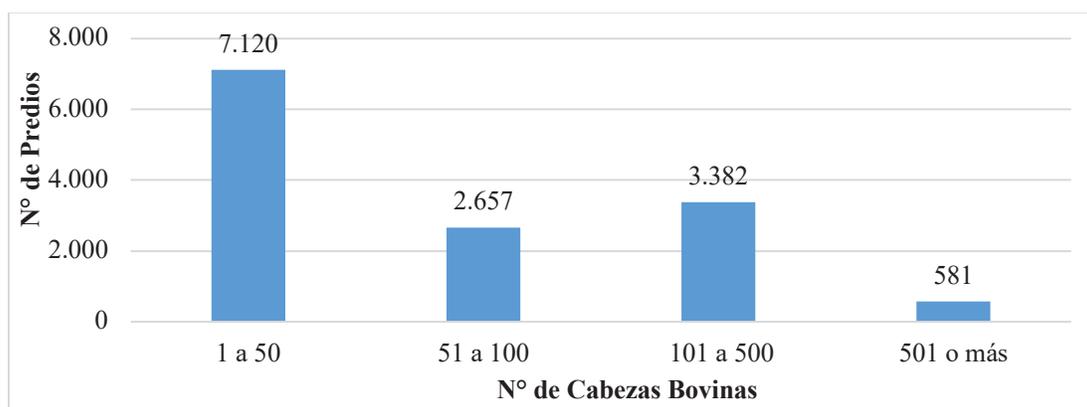
La gráfica anterior muestra que la subregión con mayor cantidad de bovinos es la subregión Río Meta la cual cuenta con 458.000 cabezas en total que equivalen al 27,6% del ganado bovino departamental. Seguido por la subregión Ariari con 451.760 semejantes al 27,2%. En comparación de porcentajes la diferencia entre estas subregiones es poco, pero se debe tener en cuenta que la subregión del Río Meta solo cuenta con 4 municipios mientras que la subregión Ariari tiene 6 municipios.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

294

El censo nacional pecuario también suministra el número de predios que cuentan con bovinos en el departamento y a su vez la cantidad de bovinos que posee. En la *Gráfica 83* se muestra la clasificación de predios según el número de cabezas.

Gráfica 83. Clasificación de las fincas según el número de cabezas bovinas (2016)



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

La clasificación que cuenta con la mayor cantidad de predios es la que poseen entre 1 a 50 cabezas de bovinos con 7120 fincas equivalentes al 51,9% de los predios departamentales. A continuación, se presenta la cantidad de bovinos en las subregiones del departamento clasificada por grupo etario.

- **Subregión Alto Ariari Centro**

Esta subregión cuenta con 200.000 cabezas de ganado para el año 2016 que corresponden al 12,04% de la producción departamental, gracias a las estadísticas del ICA las subregiones cuentan con un desglose bovino por grupo etario. En la *Tabla 48* se observa la cantidad de bovinos que hay en los municipios de la subregión.

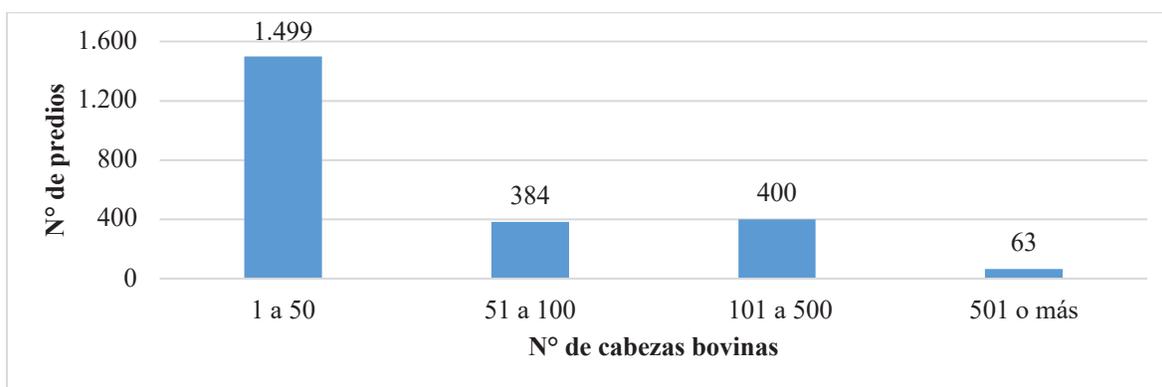
**Tabla 48. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión del alto Ariari Centro
(2016)**

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	12.130	16.900
Cubarral	2830	2695	4997	4602
El Dorado	1600	2380	3520	3000
Guamal	2869	3372	4996	5763
San Carlos de Guaroa	6005	9982	10845	13.544
TOTAL	32.204	42.199	59.288	66.309

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

A nivel municipal, Acacias cuenta con la mayor cantidad de cabezas de ganado con 69.000 ejemplares, representado el 34,5% de las cabezas de ganado de la subregión, seguido por Castilla la nueva con 48.000 bovinos que representan el 24%, en Acacias el grupo etario con mayor número de bovinos es el de menor a 36 meses y en Castilla la Nueva el grupo etario con mayor número de bovinos es mayor a 36 meses. En la *Gráfica 84* muestra la cantidad de predios según su agrupación.

Gráfica 84. Predios según cabezas bovinas en la subregión Alto Ariari Centro



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Ariari**

La subregión Ariari es la segunda más representativa del departamento en cantidad de bovinos con 451.760 cabezas de ganado equivalentes al 27,2% del ganado bovino departamental para el año 2016. En la *Tabla 49* se puede observar el número de bovinos por municipio de la subregión agrupado por grupo etario.

Tabla 49. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión 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	12112	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

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

297

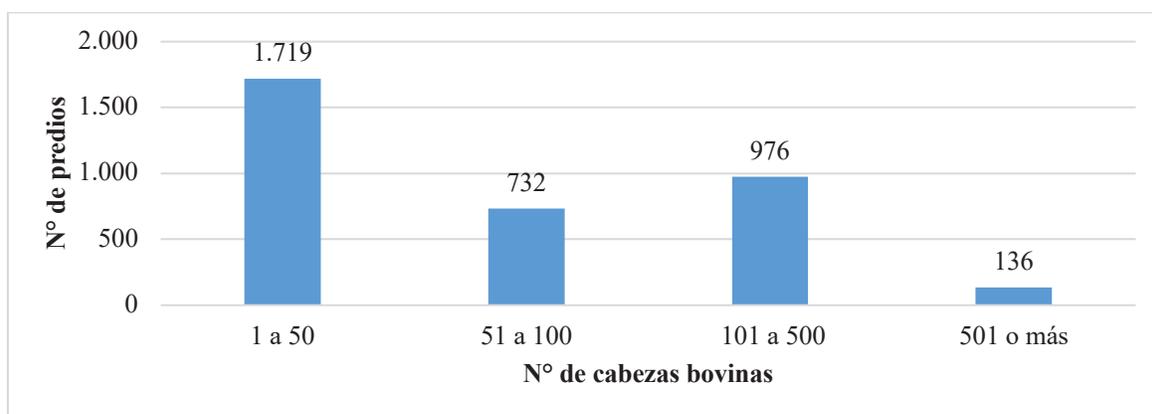
San Juan de Arama	11.630	15.070	19.550	23.750
San Martin	26.500	34.000	47.000	56.500
TOTAL	73.778	96.231	128.972	152.779

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El municipio de San Martin posee la mayor cantidad de bovinos con 164.000 cabezas representando el 36% de las cabezas de ganado de la subregión Ariari, seguido por el municipio de Puerto Lleras que posee 111.000 bovinos y representa 24%. En los dos municipios el grupo etario con mayor cantidad de bovinos es el de mayores a 36 meses.

La agrupación por cantidad de bovinos de predios en la subregión Aria presenta la misma tendencia que el departamento, siendo las fincas de 1 a 50 bovinos las más numerosas con 1719. A continuación en la *Gráfica 85*, se muestra la clasificación de las fincas en la presente subregión.

Gráfica 85. Predios según cabezas bovinas en la subregión Ariari



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Bajo Ariari Sur**

Según las estadísticas del ICA la subregión Bajo Ariari Sur posee 155.762 bovinos que corresponden al 9,4% del departamento para el año 2016. En la *Tabla 50* se observa el número de cabezas de ganado por municipio y grupo etario de la subregión.

Tabla 50. Cantidad de cabezas bovinas 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

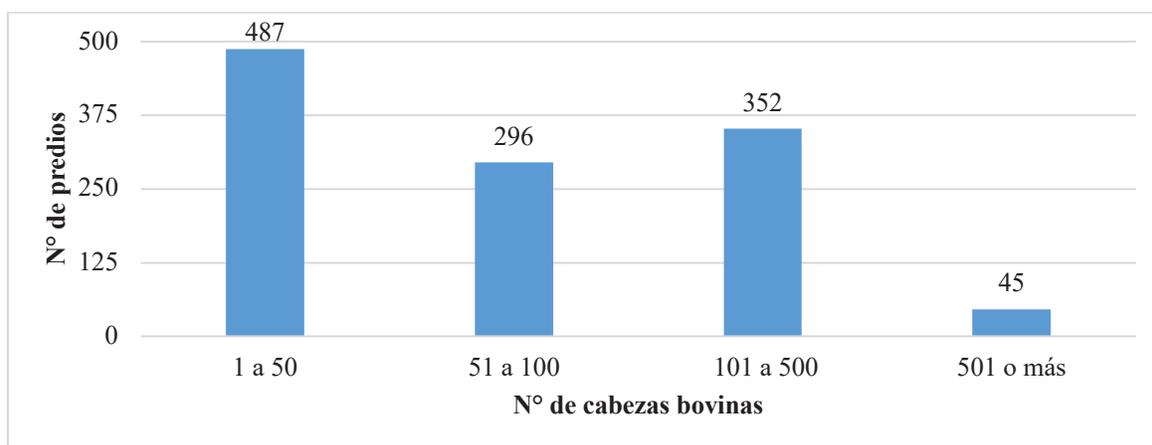
Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

A nivel municipal, Mapiripán es el municipio que registra mayor cantidad de bovinos con 65.262 animales que corresponden al 41,8%, seguido por Puerto Rico con 53.000 es decir el 34%. En esta subregión se presenta el mismo comportamiento que en el departamento, el grupo etario con mayor número de bovinos es el de mayor a 36 meses.

En la *Gráfica 86* se presenta los predios dedicados a la ganadería agrupados por la cantidad de cabezas de bovinas que poseen, en donde se observa que los predios de 1 a 50 bovinos son los más representativos con 487 predios

correspondiente al 41,2% de los predios de la subregión, sin embargo hay presencia de 352 predios que tienen de 101 a 500 cabezas bovinas. En tercer lugar se encuentran los predios con 51 a 100 cabezas donde hay un total de 256, mientras que solo se registran 45 predios con más de 501 cabezas bovinas.

Gráfica 86. Predios según cabezas bovinas en la subregión Bajo Ariari Sur



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Capital Cordillera**

La subregión cuenta con 180.937 cabezas de bovinos correspondientes 10,9% departamental según el ICA, en la cantidad de bovinos están incluidos toda la clasificación de grupos etarios. En la *Tabla 51* se presenta la información del ganado bovino en la subregión.

Tabla 51. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión Capital Cordillera (2016)

MUNICIPIOS	CANTIDAD DE BOVINOS POR GRUPO ETARIO
------------	--------------------------------------

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

300

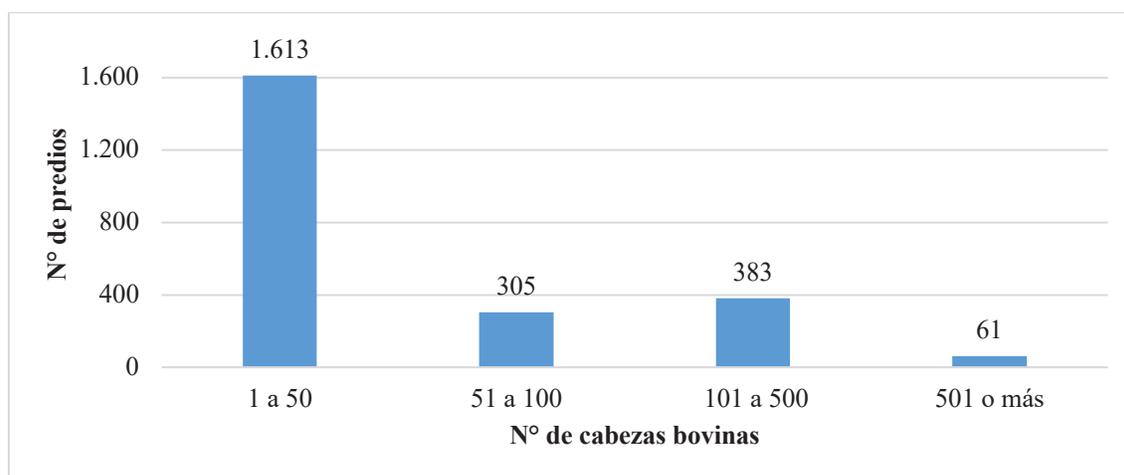
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
Cumaral	7100	10.600	15.800	21.500
El Calvario	400	535	545	720
Restrepo	4382	6984	9992	11.741
San Juanito	90	290	290	230
Villavicencio	12.257	20.598	28.987	27.896
TOTAL	24.229	39.007	55.614	62.087

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

Villavicencio además de ser la capital del departamento del Meta, es el municipio que posee la mayor cantidad de bovinos en la subregión Capital Cordillera gracias a que posee 89.738 bovinos según el ICA para el año 2016, por otra parte, el municipio de Cumaral cuenta con unas 55.000 cabezas correspondientes al 30%. En relación a los grupos etarios Villavicencio registra una mayor cantidad de bovinos en el grupo etario menor a 36 meses a diferencia de Cumaral el cual registra mayor cantidad de cabezas de ganado en el grupo etario mayor a 36 meses.

En la *Gráfica 87* se observa la clasificación según las estadísticas del ICA, donde es notoria la mayor representación de las fincas que poseen de 1 a 50 bovinos ya que cuenta con 1613 predios que corresponden al 68,2% de los predios de la subregión.

Gráfica 87. Predios según cabezas bovinas en la subregión Capital Cordillera



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión La Macarena**

Para el año 2016 la subregión de la Macarena registra poseer 213.688 bovinos donde se incluyen todos los grupos etarios, la región tiene un 12,9 % del ganado bovino departamental según el ICA. A continuación en la *Tabla 52* se presenta los municipios de la subregión con la clasificación del ganado bovino según el grupo etario.

Tabla 52. Cantidad de cabezas bovinas 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

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

302

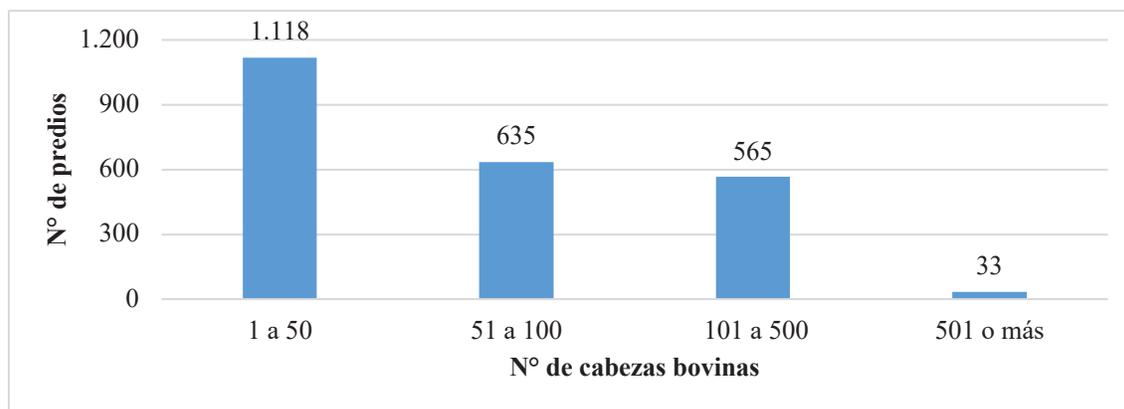
Vistahermosa	12.550	16.550	24.700	25.200
TOTAL	34.057	42.623	66.274	70.734

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El municipio de Vistahermosa es el más representativo de la subregión La Macarena ya que tiene 79.000 reses equivalentes al 36,9% de los bovinos de la subregión, seguido por el municipio de Mesetas con 63.817. Si se analiza según el grupo etario, el municipio de Vistahermosa presenta un mayor número en el grupo etario de mayor a 36 meses mientras que Mesetas en el grupo etario menor a 36 meses.

En la *Gráfica 88* se presenta la clasificación según el ICA de los predios de la subregión. Se muestra que la mayor participación son las fincas que poseen entre 1 a 50 bovinos con 1118 predios.

Gráfica 88. Predios según cabezas bovinas en la subregión La Macarena



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Río Meta**

La subregión Río Meta es la más representativa del departamento ya que posee 458.000 ejemplares que corresponde al 27,6 % de los bovinos departamentales. En la *Tabla 53* se observa los municipios de la subregión Río Meta con la clasificación según el grupo etario del ganado bovino.

Tabla 53. Cantidad de cabezas bovinas en la subregión Río Meta (2016)

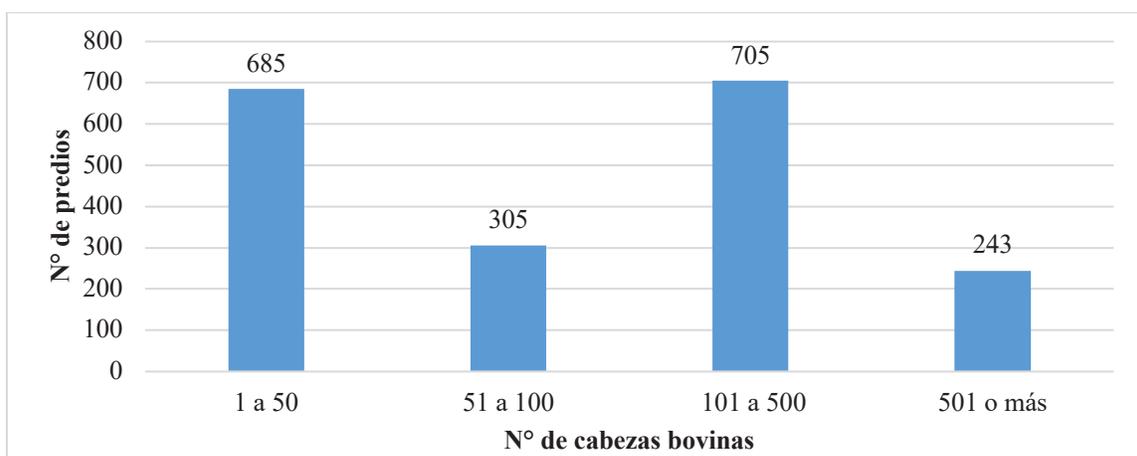
MUNICIPIOS	CANTIDAD DE BOVINOS POR GRUPO ETARIO			
	Menor a 12 meses	Menor a 24 meses	Menor a 36 meses	Mayor a 36 meses
Barranca de Upía	3400	3600	6000	9000
Cabuyaro	10.016	10.909	11.198	22.877
Puerto Gaitán	27.330	35.889	29.453	68.328
Puerto López	38.758	49.381	41.618	90.243
TOTAL	79.504	99.779	88.269	190.448

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

A nivel municipal Puerto López tiene la mayor cantidad de reses de la subregión siendo esta de 220.000 bovinos equivalentes al 48% de la subregión, seguido por el municipio de Puerto Gaitán, el cual cuenta con 161.000 ejemplares. El grupo etario con mayor participación es el de mayor a 36 meses.

En la *Gráfica 89* se observa la clasificación según las estadísticas del ICA, donde es notoria la mayor representación de las fincas que poseen de 101 a 500 bovinos ya que cuenta con 705 predios que corresponden al 36,4% de los predios de la subregión.

Gráfica 89. Predios según cabezas bovinas en la subregión Río Meta



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

5.2.2 Biomasa pecuaria del sector porcino

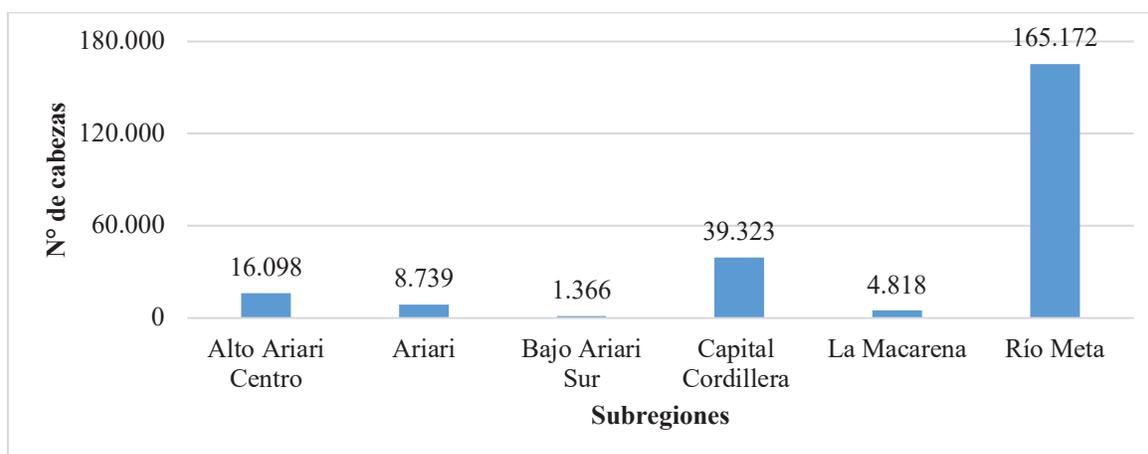
Según el informe del censo pecuario del ICA 2016 el departamento del Meta cuenta con 236.264 porcinos correspondientes al 4,63% de la totalidad de los porcinos nacionales. La información obtenida se presenta a nivel municipal o departamental, para el presente estudio el análisis se hace por subregiones, como se presenta en la oferta bovina. En la *Gráfica 90* se puede visualizar la cantidad de porcinos en cada subregión del departamento.

La subregión con mayor cantidad de animales es la subregión Río Meta la cual cuenta con 165.172 animales en total lo cual equivale al 70% de la ganadería porcina departamental. Seguido por la subregión Capital Cordillera con 39.323 semejantes al 16,6%.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

305

Gráfica 90. Distribución de cabezas de ganado porcino por subregiones



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El censo nacional pecuario también suministra el número de predios que cuentan con ganadería porcina en el departamento, desglosado en la cantidad de ejemplares que posee. En la *Tabla 54* se muestra la clasificación de predios según el número de animales.

Tabla 54. Número de predios y de cabezas del sector porcícola por subregiones

Subregión	Total predios		Número de cabezas		Promedio de cabezas/predio		Total predios porcos
	Tecnificado	Traspasado	Tecnificado	Traspasado	Tecnificado	Traspasado	
Alto Ariari Centro	710	269	13.618	2480	19	9	979
Ariari	351	191	7032	1707	20	9	542

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

306

Bajo Ariari Sur	98	132	1122	244	11	2	230
Capital Cordillera	626	321	32.870	6453	53	20	947
La Macarena	185	125	4036	782	22	6	310
Río Meta	413	772	161.09	4074	390	5	1185

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Alto Ariari Centro**

Según las estadísticas del ICA la subregión cuenta con 16.098 porcinos equivalentes al 6,81% de los ejemplares departamentales para el año 2016, esta se encuentra en la tercera posición frente a las demás subregiones. En la *Tabla 55* se puede observar los municipios de la subregión con la cantidad de porcinos por etapa productiva.

Tabla 55. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Alto Ariari Centro (2016)

Municipios	CANTIDAD DE PORCINOS						
	Lechones	Levante	Cebas	Hembras gestantes	Hembras lactantes	Machos reproductores	Traspacios
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

**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

							307
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	812	342	1521	178	2480

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El municipio de Guamal registra la mayor cantidad de porcinos con 6113 cabezas, que corresponden al 37,9 % del total de la subregión, seguido por Acacias el cual cuenta con 5643 ejemplares. De acuerdo al enfoque productivo, el mayor número de animales lo presenta los cerdos de traspatio.

A continuación en la *Gráfica 91*, se presenta la cantidad de predios con vocación porcina clasificada en predios tecnificados y de traspatio. Se puede observar que el municipio de Acacias es el que posee la mayor cantidad de predios sin ser el mayor productor, puesto que cuenta con 266 predios tecnificados y 98 de traspatio.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

309

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 Martín	296	148	961	35	170	67	183
TOTAL	1376	678	4549	301	547	171	1865

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

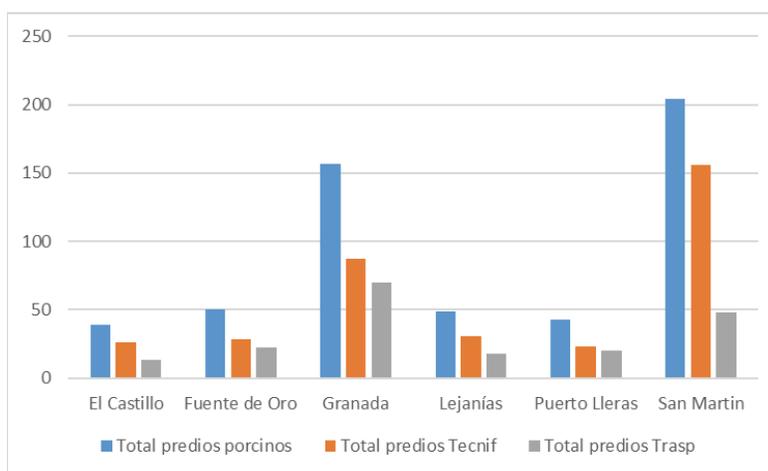
A nivel municipal Granada es el que posee la mayor cantidad de animales con 4362 porcinos equivalentes al 45,9% de la subregión, seguido por el municipio San Martín que representa el 19% de la población porcina de la subregión Ariari siendo esta de 1860 cerdos.

En la *Gráfica 92* se presenta la cantidad de predios tecnificados y de traspatio en la subregión, se visualiza la gran representación del municipio de San Martín, el cual posee 156 predios tecnificados y 48 de traspatio, posee el 35% de los predios de la subregión con vocación porcina.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

310

Gráfica 92. Número de predios en la subregión Ariari



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Bajo Ariari Sur**

La subregión Bajo Ariari Sur es la que presenta la menor cantidad de porcinos del departamento con 1366 ejemplares que corresponden al 0.58% de la población departamental según el ICA para el año 2016. A continuación, en la *Tabla 57* se presenta los municipios de la subregión con la cantidad de porcinos por etapa productiva.

Tabla 57. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Bajo Ariari Sur

Municipios	CANTIDAD DE PORCINOS						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras gestantes	Hembras lactantes	Machos reproductores	Traspacios
Mapiripán	44	18	179	3	8	3	85

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

311

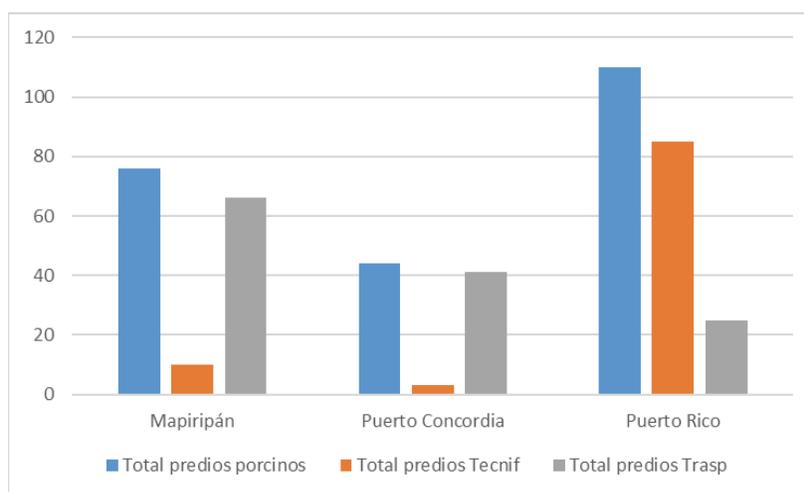
Puerto Concordia	67	55	281	2	7	4	112
Puerto Rico	113	64	243	9	12	10	47
TOTAL	224	137	703	14	27	17	244

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El municipio Puerto Concordia es el que posee la mayor cantidad de ejemplares con 528 equivalentes al 38.6% de los porcinos de la subregión, seguido y no menos importante el municipio de Puerto Rico con una representación del 36.4% con 498 animales. A nivel de etapa productiva los porcinos en traspatio predominan en la subregión.

En la *Gráfica 93* se puede observar los predios de la subregión que poseen porcinos en predios tecnificados o en traspatio, es notoria la mayor cantidad de predios en el municipio de Puerto Rico con 85 predios tecnificados y 25 de traspatio. El municipio de Puerto Concordia, aunque es el que cuenta con mayor cantidad de porcinos, posee 41 predios tecnificados y 44 en traspatio.

Gráfica 93. Número de predios en la subregión de Bajo Ariari Sur



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Capital Cordillera**

La subregión posee 39.323 porcinos de los 236.264 del departamento según lo registrado en el ICA para el año 2016. En la *Tabla 58* se muestra los municipios que la conforman y la cantidad de ejemplares por etapa productiva.

Tabla 58. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Capital Cordillera

Municipios	CANTIDAD DE PORCINOS						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras gestantes	Hembras lactantes	Machos reproductores	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

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

313

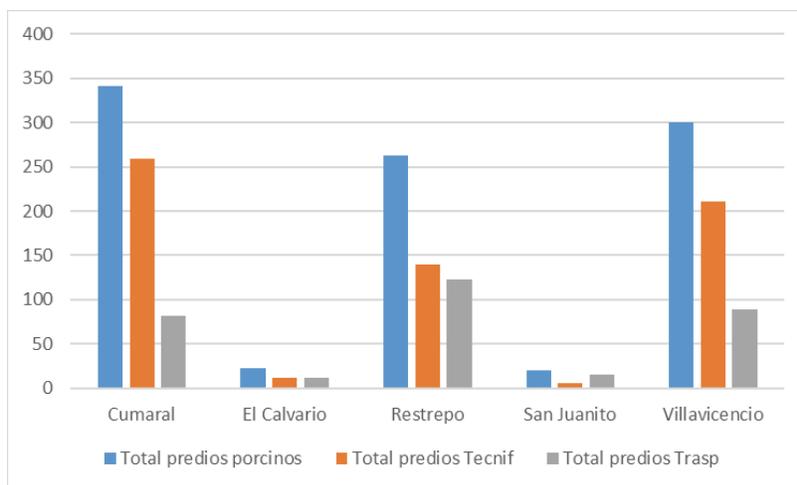
Sam Juanito	103	57	98	2	6	1	71
Villavicencio	1567	1255	5477	212	859	69	2120
TOTAL	5942	6899	17.028	623	2194	184	6453

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El municipio de Cumaral cuenta con 21.687 porcinos que corresponden al 55% de los ejemplares de la subregión, seguido por el la capital del departamento Villavicencio con 11.559 animales. A nivel de enfoque productivo la etapa de levante es la que posee el mayor número de porcinos.

En la *Gráfica 94* presenta los predios con vocación porcina en los municipios de la subregión, siendo Cumaral el más representativo con 259 predios tecnificados y 82 en traspasado.

Gráfica 94. Número de predios en la subregión Capital Cordillera



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión La Macarena**

Según el ICA la subregión cuenta para el año 2016 con 4818 porcinos los cuales incluyen todas las etapas productivas. En la *Tabla 59* se muestra los municipios que componen la subregión con la cantidad de porcinos por etapa productiva.

Tabla 59. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión La Macarena

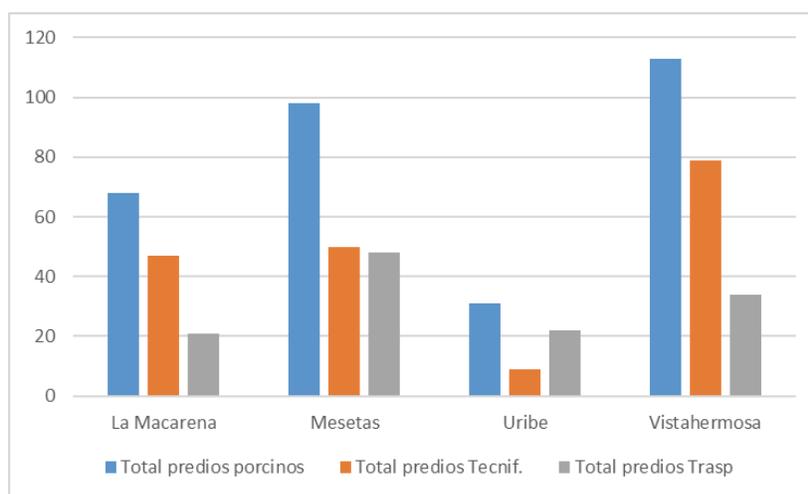
Municipios	CANTIDAD DE PORCINOS						
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras gestantes	Hembras lactantes	Machos reproductores	Traspatio
La Macarena	171	65	529	30	50	46	186
Mesetas	222	133	1502	31	68	21	349
Uribe	18	13	280	4	10	3	92
Vistahermosa	63	36	677	20	33	11	155
TOTAL	474	247	2988	85	161	81	782

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

A nivel municipal, Mesetas es el municipio que posee un gran parte de los porcinos de la subregión con 2326 ejemplares equivalentes al 48%, seguido por el municipio de la Macarena que posee 1077 animales. El enfoque productivo que predomina en la subregión es el de cerdos de traspatio.

En la *Gráfica 95* se observa los predios en los municipios de la subregión y se clasifica en fincas técnicas y de traspatio.

Gráfica 95. Número de predios en la subregión La Macarena



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

- **Subregión Río Meta**

Esta subregión es la más representativa del departamento ya que es la que posee la mayor población porcina con 165.172 ejemplares según el ICA para el año 2016. En la *Tabla 60* se presenta los municipios que componen la subregión con el número de animales y enfoque productivo.

Tabla 60. Ejemplares porcinos por etapa productiva en la subregión Río Meta

Municipios	CANTIDAD DE PORCINOS						Traspatio
	Lechones	Levante	Ceba	Hembras gestantes	Hembras lactantes	Machos reproductores	
Barranca de Upía	106	68	548	12	47	14	321
Cabuyaro	102	43	356	16	60	31	255
Puerto Gaitán	172	89	6051	55	28	6	2985

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

316

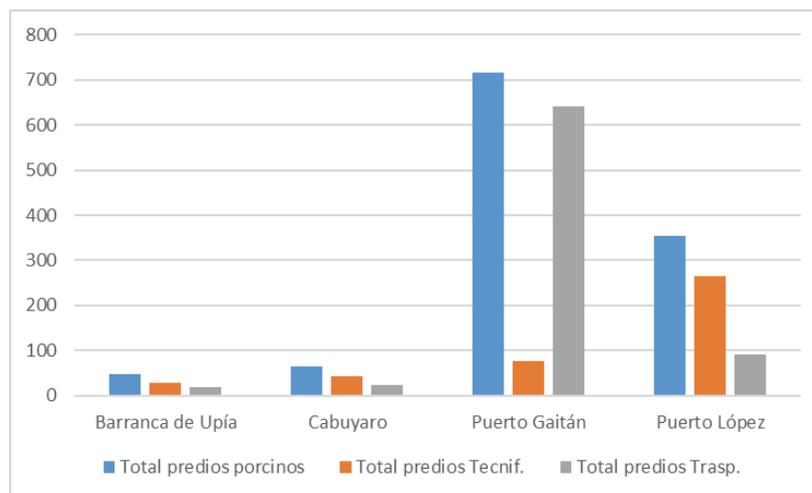
Puerto López	34.465	38.594	1123	3672	10.666	202	513
TOTAL	34.845	38.794	7265	3755	10.801	253	4074

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

Puerto López es el municipio que registra la mayor cantidad de porcinos junto a Puerto Gaitán, los dos municipios suman una participación del 99%, Puerto López con el 60% es decir 99.347 cerdos y Puerto Gaitán con el 39% es decir 63.846 cerdos. La etapa productiva que más posee animales es la de ceba.

En cuanto al número de predios el municipio de Puerto Gaitán predomina con 641 predios tecnificados y 76 en traspatio. En la *Gráfica 96* se presenta la totalidad de predios por municipio.

Gráfica 96. Número de predios en la subregión Rio Meta



Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

5.2.3 Biomasa pecuaria del sector avícola

Según el censo pecuario del ICA del año 2016, el departamento del Meta registra tener 2'322.780 aves que corresponden al 1,47% del total de aves nacionales, la mayor parte del departamento solo cuenta con dos tipos de sistemas productivos (Engorde y Ponedoras) a excepción del municipio de Acacias que informar poseer 12.280 aves de traspatio en 300 predios. El ICA presenta la información a nivel municipal o departamental. Para el actual estudio el análisis se hace a nivel de subregiones como se presenta en la oferta bovina y porcina. En la *Tabla 61* se puede observar la cantidad de aves según su tipo de producción en cada subregión del departamento.

Tabla 61. Número de aves y predios por etapas productivas por subregiones

Subregión	Número de cabezas avícolas		Número de predios	
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras
Alto Ariari Centro	507.500	68.100	36	7
Ariari	145000	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

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El ICA suministra la información de la cantidad de predios con vocación avícola, en la cual registra que la subregión del alto Ariari Centro posee la mayor

cantidad. A continuación, se presenta la información registrada de las subregiones y de los municipios que las componen.

- **Subregión Alto Ariari Centro**

La subregión registra ante el ICA tener 561.200 aves que representan el 24,1% del número de aves a nivel departamental para el año 2016, donde 507.500 son de sistema productivo engorde y 53.700 ponedoras. A continuación, en la *Tabla 62* se muestra la información de los municipios que conforman la subregión con la cantidad de aves, sistema productivo y el número de predios con vocación avícola.

Tabla 62. Aves y predios por sistema productivo en la subregión Alto Ariari Centro

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

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

A nivel municipal Castilla la Nueva posee la mayor cantidad de la población de aves con 222.000 que corresponde al 39,5% de las aves de la región, cabe recalcar que Castilla la Nueva solo informa tener aves de engorde en 10 predios. El municipio

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

319

de Acacias además de las aves de engorde y ponedores cuenta con 12.280 aves en traspatio.

- **Subregión Ariari**

La subregión para el año 2016 registra que cuenta con 148.200 aves, de las cuales 145.000 son de sistema productivo engorde y 3200 ponedoras. En la *Tabla 63* se presenta los municipios que componen la subregión con la cantidad de aves por sistema y los predios con vocación avícola.

Tabla 63. Aves y predios por sistema productivo en la subregión Ariari

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	3200	1	1

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

320

El municipio de Granada es el más representativo de la subregión según el ICA ya que posee 60.000 aves donde el 100% de ellas son de sistema productivo de engorde y se encuentran distribuidos en 1 solo predio.

- **Subregión Capital Cordillera**

La subregión Capital Cordillera según el ICA es la más representativa del departamento ya que cuenta con la mayor cantidad de aves con 1'586.700 ejemplares que corresponden al 68.3% de la población departamental. En la *Tabla 64* se muestra la cantidad de aves y su sistema productivo por municipio de la subregión.

Tabla 64. Aves y predios por sistema productivo en la subregión Capital Cordillera

Municipios	Número de cabezas avícolas		Número de predios	
	Engorde	Ponedoras	Engorde	Ponedoras
Cumaral	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

Fuente. Datos obtenidos de las estadísticas del ICA 2016.

El municipio de Restrepo además de ser el más representativo de la subregión es el municipio que posee la mayor cantidad de aves en el departamento con 1'180.700 aves, en donde 1'145.700 son de engorde y 35.000 ponedoras, el 100%

las aves de Restrepo se encuentran distribuidas en 18 predios: 16 de tipo engorde y 2 predios para ponedoras.

Las subregiones Bajo Ariari Sur, La Macarena y Rio Meta no presentan información del sector avícola.

5.2.4 Potencial energético de la biomasa residual pecuaria en el departamento

La principal alternativa de conversión energética para el aprovechamiento del estiércol de bovinos, porcinos y aves ponedoras es la digestión anaerobia; para el estiércol de aves de engorde es posible aplicar procesos termoquímicos debido a que su contenido de humedad es inferior al 60%.

Para estimar el potencial energético de la biomasa residual de los sectores bovino, porcino y aves ponedoras se aplica un modelo matemático desarrollado en la metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca correspondiente al proceso de digestión anaeróbica, esto en función de la cantidad total de animales que producen estiércol con altos contenidos de humedad y de sólidos volátiles. La ecuación que determina este potencial se presenta a continuación:

$$PE_{BRP} = \sum_{i=1}^n MR_i * \%MS_i * \%SV * B_o * PCI_{CH_4} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

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)

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

322

%SV: Sólidos volátiles (Kg sv/kg materia seca)

B_o: Producción de biogás (m³/Kg SV)

PCI_{CH₄}: Poder calorífico inferior del metano (TJ/m³)

i: Subíndice que hace referencia al grupo etario o enfoque productivo en cada sub-sector.

El poder calorífico inferior del metano es:

$$PCI_{CH_4} = 2,24 \times 10^{-5} \frac{TJ}{m^3}$$

A continuación se presenta la ecuación que determina la masa de residuo es decir la cantidad de estiércol producido por el sector:

$$MR = NA * T_{PE} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

MR: Masa de residuo (Kg estiércol /Año)

NA: Número de animales (cabezas)

T_{PE}: Tasa de producción de estiércol (Kg estiércol/Cabezas-Año)

En la Tabla 65 se muestran las constantes que se usan en la ecuación 3 para el potencial de la biomasa residual mediante la digestión anaerobia del sector bovino, porcino y aves ponedoras.

Tabla 65. Constantes utilizadas para calcular el potencial energético mediante digestión anaerobia en el sector bovino, porcino y aves ponedoras.

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 Ponedoras	0,35	0,65	0,31

Fuente: Potencial energético de la biomasa residual pecuaria del Departamento de Cundinamarca-Colombia, año 2017

A continuación en la *Tabla 66* se presenta la oferta energética del departamento mediante las subregiones establecidas para una mayor claridad y presentación de los datos.

Tabla 66. Potencial energético de la biomasa residual pecuaria del departamento

Subregión	Termoquímico o Engorde		Anaerobio						Potencial energético o digestión anaerobia (GWh/año)
			Avícola ponedoras		Bovino		Porcino		
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	
Alto Ariari	55,1	24	0,381	30	173,9	12	9,49	14	183,75 1
Centro									
Ariari	15,73	7	0,02	2	392,6	27	7,95	12	400,63

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

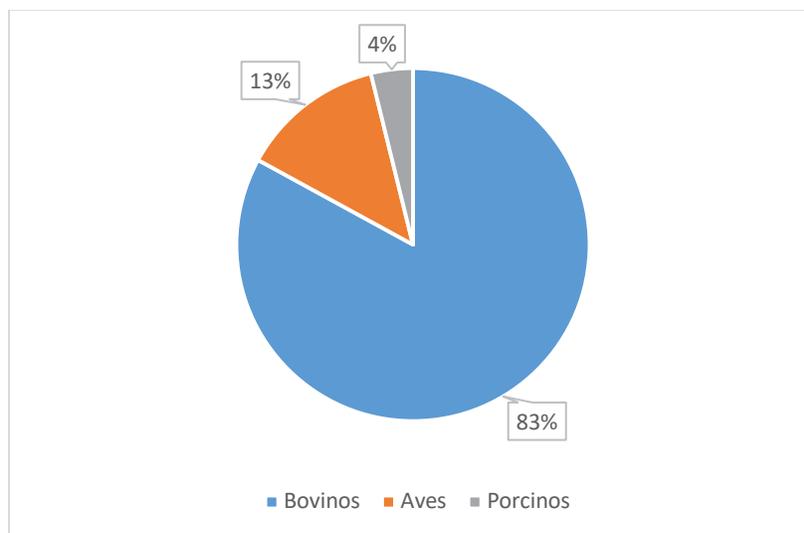
324

Bajo Ariari Sur	0	0	0	0	135	9	0,83	1	137,32
Capital Cordillera	159	69	0,87	68	161	11	13,06	19	174,9
La Macarena	0	0	0	0	186,9	13	3,78	6	195,63
Rio Meta	0	0	0	0	403,8	28	77,05	48	480,85
TOTAL	229,9	10 0	1,27	10 0	1453	10 0	67,29	10 0	1573.0 5

Fuente. Elaboración propia.

En la *Gráfica 97* se muestra el potencial energético de la biomasa residual pecuaria del departamento del Meta, donde el ganado bovino aporta en un 83% de la oferta energética departamental siendo esta especie la más representativa del sector pecuario.

Gráfica 97. Oferta energética a partir de la biomasa residual pecuaria del departamento de Meta, año 2016



Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se presenta el potencial energético a partir de la biomasa residual pecuaria en cada subregión del departamento del Meta.

- **Subregión Alto Ariari Centro**

El sector pecuario de esta subregión genera el 13,6% del potencial energético total departamental siendo la cuarta subregión con mayor aporte, posee en total 200.000 cabezas bovinas, 16.098 porcinas y 587.880 aves, desarrolla así un poco más de un 6% de cada una de estas especies y produciendo anualmente más de 900'000.000 de ton anuales de residuos primarios. Del potencial total de la subregión, el 78,1% corresponde a procesos de digestión anaerobia y un 21.9% a través de procesos termoquímicos. A continuación en la *Tabla 67* se presenta el potencial pecuario de los municipios que componen la subregión.

Tabla 67. Potencial energético de la subregión Alto Ariari Centro

Municipio	Termoquímico Engorde		Anaerobio						Potencial energético o digestión anaerobia (GWh/año)
			Avícola ponedoras		Bovino		Porcino		
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	
Acacias	8,69	15,77	0,02	2,247	60,64	34,87	7,48	32,92	68,14
Castilla la Nueva	24,1	43,74	0	0	41,53	23,88	2,13	9,375	43,66
Cubarral	1,79	3,24	0	0	12,93	7,436	0,38	1,673	13,31
El Dorado	0	0	0	0	9	5,176	1,35	5,942	10,35

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

326

Guamal	20,52	37,2 4	0,87	97,7 5	14,8	8,512	10,04	44,19	25,71
San Carlos De Guaroa	0	0	0	0	34,98	20,12	1,34	5,898	36,32
TOTAL	55,1	100	0,89	100	173,9	100	22,72	100	197,49

Fuente. Elaboración propia.

El municipio de Acacias presenta el mayor potencial energético en la subregión y a su vez en los procesos de digestión anaerobia de la subregión, por otra parte, el municipio de Castilla la Nueva lidera el potencial energético generado por procesos termoquímicos

- **Subregión Ariari**

El sector pecuario de esta subregión genera el 23.09% del potencial energético total departamental siendo la segunda subregión con mayor aporte, posee en total 451.760 cabezas bovinas, 9487 porcinas y 148.200 aves, desarrolla así un poco más de un 4% de cada una de estas especies y produciendo anualmente más de 2.000'000.000 de ton anuales de residuos primarios. Del potencial total de la subregión el 96.3% corresponde a procesos de digestión anaerobia y un 3,7% a través de los procesos termoquímicos. A continuación en la *Tabla 68* se presenta el potencial pecuario de los municipios que componen la subregión.

Tabla 68. Potencial energético de la subregión Ariari

Municipio	Termoquímico Engorde	Anaerobio			Potencial energético digestión
		Avícola ponedoras	Bovino	Porcino	

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

327

	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	anaerobia (GWh/año)
El Castillo	0	0	0	0	25,96	7	0,77	4	26,73
Fuente De Oro	3,69	23	0	0	32,22	8	0,37	2	32,59
Granada	6,51	42	0	0	20,06	5	9,13	48	29,19
Lejanías	3,47	22	0	0	14,37	3	0,54	3	14,91
Puerto Lleras	0	0	0	0	96	25	0,37	2	96,37
San Juan de Arama	0	0	0	0	60,67	16	1.,19	6	61,86
San Martin	2,06	13	0,05	100	143,3	36	6,68	35	150,06
TOTAL	15,73	100	0.05	100	392,6	100	19,05	100	411,71

Fuente. Elaboración propia.

A nivel municipal, San Martin cuenta con el mayor potencial en procesos de digestión anaerobia como en el total de la oferta energética de la subregión, el municipio de Granada posee el mayor potencial en procesos termoquímicos, por ende, son los más municipios más representativos en la subregión en cuanto al potencial energético a ofertar.

- **Subregión Bajo Ariari Sur**

La subregión Bajo Ariari Sur ocupa el último lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 7,59% de la oferta energética departamental y produce anualmente más de 700'000.000 ton de estiércol, la cantidad de animales en la subregión corresponde a 155.762 cabezas bovinas y 1366 cabezas porcinas (ICA, 2016).

Por medio del proceso anaerobio la subregión presenta un aporte del 100% de la oferta energética mediante el mismo proceso, dentro del cual la especie bovina

predomina con una participación del 98,5% dejando rezagadas a la especie restante con aportes del 1,45% del ganado porcino. En la *Tabla 69* se presenta el potencial energético de los municipios que componen la subregión.

Tabla 69. Potencial energético de la subregión Bajo Ariari Sur

Municipio	Bovino		Porcino		Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)
	GWh/ año	%	GWh/ año	%	
Mapiripán	56,04	41,5	0,4	20,2	56,44
Puerto Concordia	32,89	24,36	0,54	27,27	33,43
Puerto Rico	46,09	34,14	1,04	52,53	47,13
TOTAL	135	100	1.98	100	137

Fuente. Elaboración propia.

- **Subregión Capital Cordillera**

El sector pecuario de esta subregión genera el 18,5% del potencial energético total departamental, siendo la tercera subregión con mayor aporte. Este potencial se deriva de 1'586.700 cabezas avícolas, 180.937 bovinas y 39.323 porcinas (ICA, 2016), desarrollando aproximadamente entre el 10% y el 16% del total del ganado bovino y porcino respectivamente del departamento y de forma más dominante el 68.3% de total avícola, produciendo anualmente cerca de 900'000.000 ton de residuos primarios.

Del potencial total de la subregión, el 45,1% corresponde a la oferta energética mediante procesos termoquímicos y el 54,9% a través del proceso de digestión

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

329

anaerobia. Este último aporte está relacionado con los desechos resultantes de las tres especies de interés, siendo el ganado bovino el de mayor participación del 82,8%, seguido por el sector porcino con 16% y finalmente por el avícola con el 1,2%. En la *Tabla 70* se presenta el potencial de los municipios de la subregión y sus procesos de conversión energética.

Tabla 70. Potencial energético de la subregión Capital Cordillera

Municipio	Termoquímico Engorde		Anaerobio						Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)
			Avícola		Bovino		Porcino		
	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	GWh/año	%	
Cumalar	16,5	10,6	0,17	8	50,27	31	12,11	38	62,55
El Calvario	0	0	0	0	1,85	1.	0,42	2	2,27
Restrepo	124,4	78	0,59	29	29,64	18	7,59	24	37,82
San Juanito	0	0	0	0	0,76	1	0,19	1	0,95
Villavicencio	18,13	11,4	1,29	62	78,45	48	10,94	35	90,68
TOTAL	159,03	100	2,05	100	161	100	31.25	100	194,27

Fuente. Elaboración propia.

- **Subregión la Macarena**

La subregión de la Macarena produce anualmente más de 1.000'000.000 toneladas de estiércol anual, debido a las 213.688 cabezas bovinas y 4818 cabezas porcinas; esta subregión ocupa el quinto lugar de aporte energético pecuario del departamento con un 10,8% del potencial total (ICA, 2016). El aporte energético generado en la subregión es producido a través de procesos de digestión anaerobia, dentro del cual el sector bovino genera la mayor contribución con un 95,3%, y el

ganado porcino un 4,7%. A continuación en la *Tabla 71* se presenta el potencial energético en los municipios de la subregión.

Tabla 71. Potencial energético de la subregión La Macarena

Municipio	Bovino		Porcino		Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)
	GWh/año	%	GWh/año	%	
La Macarena	39,29	21,03	4,49	49,5	43,78
Mesetas	55,73	29,83	2,76	30,43	58,49
Uribe	23,26	12,45	0,44	4,851	23,7
Vistahermosa	68,57	36,7	1,38	15,21	69,95
TOTAL	186,9	100	9,07	100	195,92

Fuente. Elaboración propia.

- **Subregión Río Meta**

La subregión Río Meta ocupa el primer lugar de oferta energética del sector pecuario del departamento con un 26,6% del potencial total y produce anualmente más de 2.000'000.000 ton de estiércol anual, puesto que cuenta con 458.000 cabezas bovinas y 165.172 cabezas porcinas (ICA, 2016). El potencial energético generado en la subregión es producido a través de procesos de digestión anaerobia, el municipio de Puerto López, quien de igual forma presenta la mayor contribución del sector bovino dentro de los procesos de digestión anaerobia, posicionándose como el territorio de mayor potencial pecuario en la provincia brindando así más del 47,7% de éste, a su vez en el sector porcino también es el mayor contribuyente siendo de 62,25% la oferta energética en la subregión.

En la *Tabla 72* se presenta los municipios que componen la subregión con el potencial energético producido.

Tabla 72. Potencial energético de la subregión Río Meta

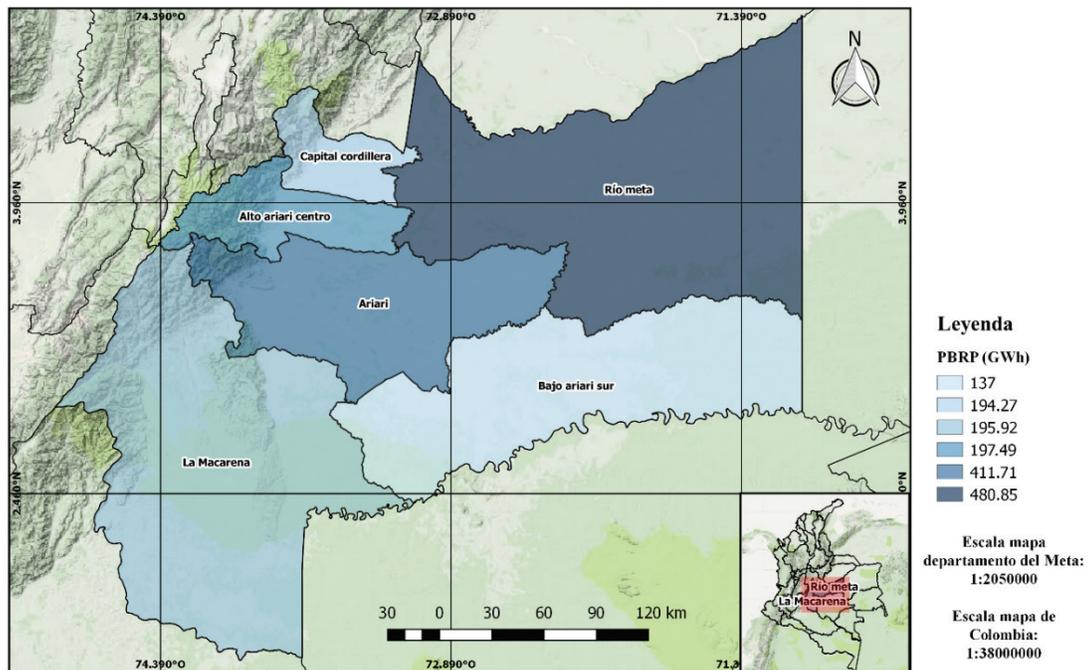
Municipio	Bovino		Porcino		Potencial energético digestión anaerobia (GWh/año)
	GWh/año	%	GWh/año	%	
Barranca de Upía	20,05	4,965	1,72	2,232	21,77
Cabuyaro	48,54	12,02	3,13	4,062	51,67
Puerto Gaitán	142,5	35,28	24,24	31,46	166,71
Puerto López	192,7	47,73	47,96	62,25	240,7
TOTAL	403,8	100	77,05	100	480,85

Fuente. Elaboración propia.

5.2.5 Mapa de potencial energético de biomasa pecuaria propuesto

A partir de los datos resultantes del análisis del potencial energético de la biomasa residual pecuaria para el departamento, realizado para cada una de sus subregiones, se presenta en la *Figura 118* el mapa del potencial energético propuesto como herramienta cartográfica para la visualización de la energía disponible a partir de los residuos de las actividades del sector pecuario en el departamento del Meta.

Figura 118. Mapa de potencial energético de biomasa pecuaria



Fuente. Elaboración propia.

5.3 Resultados

En el departamento del Meta, la caña de azúcar es el cultivo de mayor producción y a su vez el de mayor potencial energético siendo este de 16.519,95 GWh, aunque se debe tener en cuenta que es el potencial energético bruto, puesto que el potencial energético neto se obtiene a partir de la eficiencia del proceso de conversión energética a emplear; este potencial corresponde al 64% de la oferta energética de la biomasa residual agrícola de cultivos permanentes. Este cultivo presenta los PCI más altos de los demás residuos y a su vez los mayores valores de factores de residuo.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

333

La subregión que presenta mayor oferta energética es Rio Meta con 19.861,60 GWh a partir de biomasa residual del sector agrícola, principalmente los subproductos del cultivo de caña de azúcar. Esta es la única subregión que presenta información sobre el cultivo de caña de azúcar razón por la cual también su alta oferta energética, pues el 100% del cultivo se encuentra en esta subregión.

En la subregión Alto Ariari Centro la mayor oferta energética la aporta el cultivo de palma de aceite siendo esta del 77%, las subregiones Ariari y Bajo Ariari Sur el mayor potencial energético lo oferta el cultivo de plátano siendo esta de 50% y 45% respectivamente, las subregiones La Macarena y Capital Cordillera presentan la particularidad que 2 y 3 cultivos son los que ofertan el mayor potencial energético siendo en la subregión La Macarena el plátano con el 77% y en la subregión Capital Cordillera el arroz, palma de aceite y maíz los cultivos de mayor oferta energética correspondiente al 80%.

En el sector pecuario, la subregión con mayor potencial energético en el departamento es Rio Meta siendo este de 480,85 GWh. La subregión Capital Cordillera presenta la mayor oferta energética del sector avícola en el sistema de engorde mediante procesos termoquímicos con 159 GWh y a su vez también presenta la mayor oferta en el enfoque de aves ponedoras con 870 MWh mediante procesos de digestión anaerobia. Las subregiones Río Meta y Ariari presentan el mayor potencial energético en el sector bovino siendo de 403,8 y 392,6 GWh respectivamente; por último, la subregión Rio Meta también oferta el mayor potencial energético del sector porcino con 77,05 GWh.

Para la biomasa residual del sector bovino y porcino debido a su contenido de humedad superior al 60%, la construcción de biodigestores para el aprovechamiento de este potencial es una buena alternativa ya que el biogás producido puede ser empleado para cocción o producción de energía eléctrica, esto

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

334

es posible mediante la digestión anaerobia. En el sector avícola debido a que las aves de engorde tienen menor contenido de humedad en los subproductos generados, estos podrían ser utilizados en procesos termoquímicos, mientras que las aves ponedoras por el alto contenido de humedad de los subproductos la alternativa más viable es la digestión anaerobia.

Debido a la escasa información sobre los residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU), es importante tener presente esta biomasa residual para aprovechamiento en la transformación de materia orgánica en energía, pues la participación de residuos en centrales de abastos, plazas de mercado y residuos generados en los hogares pueden ser dispuestos para procesos de digestión anaerobia, teniendo en cuenta que es fundamental tener una separación en la fuente para que subproductos que puedan ser reciclados sean aprovechados con tal fin. En la *Tabla 73* se presenta un esquema con el cual se puede visualizar de manera clara la ruta o proceso de conversión de energía a realizar según el tipo de biomasa que se tiene.

Tabla 73. Procesos de conversión energética a partir del recurso biomasa

	BIOMASA EMPLEADA	PROCESO DE CONVERSIÓN	COMBUSTIBLE OBTENIDO	APLICACIÓN	USO FINAL
Tecnologías termoquímicas	Agrícola y aves de engorde	Combustión	Gas combustible	Calor	Estufas, hornos, calderas
		Pirólisis	Biocombustible sólido	Calor	Estufas, hornos, calderas
			Biocombustible líquido	Calor, motores a combustión	Hornos, calderas, motores

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
 No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

335

			Gas combustible	Calor	Hornos, calderas
		Gasificación	Gas de síntesis (SYNGAS)	Calor, electricidad	Hornos, calderas, motores, turbinas a gas
Tecnologías Biológicas	Agrícola (Cultivos energéticos)	Fermentación	Bioetanol	Motores a combustión	Motores
		Transesterificación	Biodiesel	Motores a combustión	Motores
	Pecuaría y RSOU	Digestión anaerobia	Biogás	Calor, electricidad	Estufas, hornos, calderas, turbinas a gas

Fuente: Elaboración propia

La principal característica para la elección de la tecnología a utilizar para la obtención de energía a partir del recurso de biomasa es el contenido de humedad, las biomásas que tienen contenidos de humedad inferior al 50% la mejor alternativa son las tecnologías termoquímicas y si tienen un contenido de humedad superior a 50% la alternativa más viable es la digestión anaerobia de las tecnologías biológicas, estas alternativas tienen en común que puede ser a partir de biomasa residual, caso contrario a la fermentación y transesterificación de la tecnología biológica ya que debe ser a partir de cultivos energéticos es decir cultivos cuyo fin específico es la producción de energía y para la obtención de bioetanol debe ser biomasa con altos contenidos de azúcares y para el biodiesel biomasa con alto contenido de ácidos grasos principalmente triglicéridos.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

336

Según la biomasa y la tecnología a elegir se debe realizar unos pretratamientos los cuales consisten en secado: remoción de cierto contenido de humedad, trituración y/o corte: para reducción de tamaño de partícula y densificación: reducción del volumen de biomasa mediante sistemas de compactación para la producción de pellets y briquetas (Ortiz Torres, 2008).

La gasificación es una de las alternativas mayormente utilizadas, realizando este proceso en una planta de gasificación de lecho fijo corriente descendente con una eficiencia energética de 32% (Sierra Vargas, Guerrero, & Forero, 2011), el tamo y la cascarilla, subproductos del cultivo de arroz tienen un potencial energético de 2974,48GWh, sometiendo dicha biomasa a esta tecnología se tendría una oferta energética de 951,83GWh y el bagazo de la caña de azúcar que tiene un potencial energético de 16.519,95 GWh por medio de esta tecnología se tendría una oferta final de 5286,38 GWh.

CONCLUSIONES GENERALES

El departamento del Meta cuenta un comportamiento climático con un período de verano bastante definido sobre los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, mientras que el período de lluvias se presenta en los meses de abril, mayo, junio y julio. En los meses restantes el comportamiento es variable, sin embargo, el promedio de Horas de Brillo Solar (HBS) es de 6 horas, mientras que en los meses de verano alcanza las 9 horas y en los meses de invierno el promedio es de 4 horas.

El intervalo de valores de Radiación Global Horizontal (GHI) para el departamento del Meta es de 4,8 a 5,2 $kWh/m^2 - día$, lo cual permite concluir que el potencial de generación de energía solar para el departamento es bastante alto a excepción de la zona norte del municipio de Uribe, donde se encuentra el Parque Nacional Natural de Sumapaz y en la Serranía de la Macarena ubicada en el municipio de La Macarena.

Las subregiones con mayor potencial solar son Río Meta en los municipios de Cabuyaro, Puerto López y Puerto Gaitán donde se tiene un promedio de 5,2 $kWh/m^2 - día$, seguido por la subregión Bajo Ariari Sur en el municipio de Mapiripán con un promedio de 5 $kWh/m^2 - día$. Para las demás subregiones del departamento, aunque no alcanza a los valores máximos de radiación del departamento, cuentan con promedios viables para la implementación de proyectos de generación de energía.

Para la implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas los municipios con mayor potencial son Castilla la Nueva, San Carlos de Guaroa, Acacias, la zona oriental de Guamal y Puerto López, donde existe viabilidad para implementar proyectos de generación de hasta 20MW, de acuerdo al afluente y la subcuenca

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

338

específica para el proyecto. Los municipios cercanos a la cordillera oriental también presentan buen potencial de generación de energía, aprovechando el promedio de 5000mm de lluvia anuales en la zona, lo cual representa un aumento considerable del caudal de los afluentes.

En el caso de proyectos que aprovechen el potencial eólico se realizó una estimación de velocidad del viento a 15 metros, el cual es el promedio de altura de aerogeneradores comerciales de baja potencia. Validando dicha información con los datos de dirección del viento las subregiones con mayor potencial son La Macarena en los municipios de Lejanías y Uribe, la subregión Ariari en el municipio de Mesetas y la subregión Alto Ariari Centro especialmente en el municipio de Cubarral donde se alcanzan valores promedio de 3,77 m/s.

Los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán presentan un potencial eólico importante, alcanzando un promedio de 2,56 m/s especialmente en la zona de altillanura donde se encuentra el río Meta. Para las demás subregiones del departamento del Meta no se recomienda implementar proyectos con aerogeneradores, debido a que sus valores de velocidad del viento están muy por debajo del promedio del departamento.

La subregión que presenta el mayor potencial energético de biomasa agrícola es Río Meta, la cual cuenta con cultivos de caña de azúcar y palma de aceite, donde al calcular el potencial energético bruto se llega a un tope de 19.861GWh, sin embargo, para la implementación de proyectos específicos se debe hacer estimación de la cantidad de hectáreas sembradas vs cantidad de hectáreas cosechadas con el fin de determinar la cantidad de residuos disponibles y calcular el potencial energético neto.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

339

Las subregiones Río Meta y Ariari cuentan con el mayor potencial de generación de energía a partir de la biomasa pecuaria y la implementación de biodigestores, implementación necesaria para el aprovechamiento del estiércol de bovinos y porcinos, los cuales presentan el mayor número de cabezas en el departamento. La región Capital Cordillera presenta un alto potencial para la generación de procesos termoquímicos para la transformación de energía a partir del estiércol de las producciones avícolas.

RECOMENDACIONES

Aunque en el departamento del Meta se cuenta con estaciones meteorológicas que permiten analizar el potencial solar, hídrico y eólico, el estado de funcionamiento, la calidad de los datos y la dispersión geográfica, no arroja información confiable para algunas subregiones y municipios del departamento. En el presente documento se realizaron procedimientos de validación y análisis microzonificado a través de bases de datos satelitales, sin embargo, se recomienda realizar mediciones adicionales en tierra para determinar con mayor precisión el potencial hídrico y eólico en determinadas subregiones.

En la formulación de proyectos de generación de energía a través de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), se recomienda realizar mediciones de campo para determinar la pendiente del cauce, el tiempo de concentración y la escorrentía en el área de la subcuenca de interés, ya que son parámetros indispensables para realizar estimaciones precisas del potencial hídrico a través del software HEC-HMS.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

340

Debido a la escasa información de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos (RSOU) por parte de los proveedores del servicio de recolección de basuras en los municipios del departamento, el presente documento no realizó estimación de este potencial energético, sin embargo, se recomienda para futuros estudios del potencial de la biomasa realizar estimaciones y cálculos sobre RSOU con el fin de realizar aprovechamiento en la transformación de dicha materia orgánica en energía eléctrica por medio de procesos de digestión anaerobia.

Para el departamento de Meta se recomienda evitar la formulación de proyectos de generación de energía a través de fuentes no convencionales en zonas de reserva natural, teniendo especial atención con la región que comprende el Área de Manejo Especial de la Macarena (AMEM) y las directrices establecidas por el Plan Integral de Manejo Ambiental (PIMA).

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de San Juan de Arama. (2016). *Esquema en Ordenamiento Territorial*. San Juan de Arama.
- Alcaldía de Cumaral. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial 2000 - 2009*. Cumaral.
- Alcaldía de el Dorado. (2012). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2012-2015*.
- Alcaldía de Fuente de Oro. (2006). *Esquema de Ordenamiento Territorial*.
- Alcaldía de Maripirán. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal de Maripirán*. Maripirán.
- Alcaldía de Puerto Gaitán. (2009). *Esquema Ordenamiento Territorial*. Puerto Gaitán.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

341

Alcaldía de Puerto Lleras. (2009). *Esquema de Ordenamiento Territorial*.

Alcaldía de Puerto Rico. (2010). *Esquema de Ordenamiento Territorial*.

Alcaldía de Restrepo. (2011). *Esquema de ordenamiento territorial*. Restrepo.

Alcaldía Municipal de Granada. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Granada.

Alcaldía Municipal de Lejanías. (2015). *Plan de Desarrollo Lejanías*. Lejanías.

Alfasolar. (s.f.). www.alfasolar.com. Obtenido de
<https://www.alfasolar.com.uy/eolica/Catalogo.pdf>

Arnoldo Celedón. (s.f.). *Plan de Desarrollo Económico y social Del Municipio de Puerto Concordia*.

Atlas de Radiación Solar de Colombia . (2005). En UPME.

Consejo municipal de Mesetas. (2016). *Plan de Desarrollo*.

Contraloría departamental del Meta. (2013). *Informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente*. Villavicencio.

Díaz, J. M. (2013). *Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica*. Obtenido de
<http://www.redalyc.org/pdf/721/72130181006.pdf>

energrecol. (s.f.). www.energrecol.com. Obtenido de
http://www.energrecol.com/ficheros_pdf/Aerogneradores_domesticos.PDF

Escalante, H., Orduz, J., Zapata, H., Cardona, M., & Duarte, M. (2015). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Obtenido de

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

342

UPME:

[http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Anexo
_E_Potencial_energetico_departamental.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Anexo_E_Potencial_energetico_departamental.pdf)

Gobernación del Meta. (2008). *CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE EL CASTILLO DEPARTAMENTO DEL META.*

Gobernación del Meta. (2011). Obtenido de Ficha municipal de Castilla la Nueva:
[http://www.meta.gov.co/web/sites/default/files/adjuntos/Ficha%20Municipal
%202011%20-%20CASTILLA%20LA%20NUEVA.pdf](http://www.meta.gov.co/web/sites/default/files/adjuntos/Ficha%20Municipal%202011%20-%20CASTILLA%20LA%20NUEVA.pdf)

Gobernación del Meta. (2011). *Caracterización del municipio de Barranca de Upia.*

Gobernación del Meta. (2012). *Ficha municipal Puerto Lopez.*

Gobernación del Meta. (2014). *Ordenanza 851 de 2014.* Villavicencio.

Gobernación del Meta. (2016). *Ficha Municipal de Guamal.*

Gobernación del Meta. (2016). *Ficha municipal La Macarena.* La Macarena.

Gobernación del Meta. (2016). *Ficha municipal La Uribe.* Uribe.

Gobernación del Meta. (2016). *Ficha Municipal San Carlos de Guaroa.*

Gobernación del Meta. (2016). *Ficha municipal San Juanito.* San Juanito.

Gobernación del Meta. (2016). *Ficha municipal Villavicencio.* Villavicencio.

IDEAM. (2001). *El medio ambiente en Colombia.* Bogotá: IDEAM.

IDEAM. (2007). *Diseño de la ampliación de la red hidrometeorológica de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo.* Bogotá.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

343

IDEAM. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales*. Bogotá: IDEAM.

IDEAM. (s.f.). *Características climáticas de Orinoquia*.

Instituto de Turismo del Meta. (s.f.). *Instituto de Turismo del Meta*. Obtenido de <http://www.turismometa.gov.co/component/k2/item/252-castilla-la-nueva.html>

Meta, G. d. (2015). *Ficha técnica Acacias*.

Meta, G. d. (2016 - 2019). *Plan de desarrollo departamental*. Villavicencio.

META, G. D. (2016). *Plan de Desarrollo Económico y Social del Departamento del meta*. Villavicencio.

Ministerio de Comercio Industria y Turismo. (2012). *Guía Turística Meta Colombia*. Bogotá.

Nohana3000. (s.f.). www.nohana3000.com. Obtenido de <http://www.nohana3000.com/wp-content/uploads/110823-Catalogo-Espa%C3%B1ol-Eolica.pdf>

Observatorio del territorio Universidad de los Llanos. (2008). *Linea Base municipio de Puerto Gaitán*. Villavicencio.

Ortiz Torres, L. (2008). Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. *CIDEU*.

ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS

344

Ospina Rodríguez, M. (2003). *El páramo de Sumapaz un ecosistema estratégico para Bogotá*. Obtenido de Sociedad geográfica de Colombia: <https://www.sogeocol.edu.co/documentos/Paramos.pdf>

(2016). *Perfil Productivo Municipio San Martín*. Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUD. (2014). *Perfil Productivo del municipio de Vista Hermosa, Meta*.

PNUD. (2015). *El departamento del Meta frente a los Objetivos del Desarrollo del Milenio*.

PNUD, P. d. (2014). *Diagnóstico Socioeconómico del Meta*.

Secretaría de Planeación y Desarrollo de Cabuyaro. (2008). *Caracterización del municipio de Cabuyaro*.

Secretaría de planeación y desarrollo de Vista Hermosa. (2008). *Caracterización del municipio Vista Hermosa*.

Sierra Vargas, F. E., Guerrero, C. A., & Forero, C. A. (2011). Eficiencia energética de una planta de gasificación de lecho fijo corriente descendente de 12 Kw alimentada con madera residual y aire como agente oxidante. *CIMM*.

UMATA El Calvario. (2005). *Esquema de ordenamiento territorial El Calvario*. El Calvario.

Upia, C. M. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial*. Barranca de Upia.

UPME. (2006). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. Obtenido de http://www.upme.gov.co/Docs/MapaViento/Anexos_4.pdf

UPME. (2015). *Atlas del potencial Hidroenergético*.



**ONVENIO INTERADMINISTRATIVO
No. 003/2016 UPME - No. 040/2016 IPSE - No. 065/2016 UNILLANOS**

345

UPME. (2015). *Atlas del potencial hidroenergético de Colombia*. Bogota.

UPME. (2017). *Registro de Proyectos de Generación*.

UPME, IDEAM, IGAC, & COLCIENCIAS. (2015). *Atlas de potencial hidroenergético*
. Bogotá.