



PERS
Plan de Energización Rural Sostenible
PUTUMAYO

Plan de Energización Rural Sostenible **PERS** Putumayo

Caracterización de la Oferta Energética del Putumayo

Agosto 2020



CONVENIO INTERINSTITUCIONAL UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME - CV-002/2019, INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS – IPSE - 037/2019 Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS – UDFJC PARA LA REALIZACIÓN DEL PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE PARA EL DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO – PERS PUTUMAYO

Plan de Energización Rural Sostenible

PERS Putumayo

Caracterización de la Oferta Energética del Putumayo

Elaboró:					
Johann Hernández		Líder oferta energética		UDFJC	
Sebastián Ordóñez		Asistente de investigación		UDFJC	
Francisco Santamaría		Coordinador académico		UDFJC	
Aprobó:					
Johanna Larrotta		Supervisora		UPME	
Mauricio Molina		Supervisor		IPSE	
Versión:	5.2	Fecha de entrega:	03/08/2020	Fecha aprobación:	03/08/2020



TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido	3
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas	10
1. Introducción.....	13
2. Características generales del departamento.....	14
2.1. Límites departamentales.....	14
2.2. Divisiones administrativa y poblacional	14
2.3. Actividades económicas principales.....	15
3. Energía Solar	16
3.1. Metodología para reconocimiento de potencial solar	16
3.1.1. Recopilación de información	16
3.1.2. Análisis y selección de la información obtenida	16
3.1.3. Análisis y selección de la información obtenida	17
3.1.4. Presentación de los resultados generales del departamento	18
3.1.5. Fuentes de información primaria de la energía solar en el departamento	18
3.2. Potencial energético solar en el departamento de Putumayo	19
3.2.1. Potencial energético solar por municipio.....	21
3.3. Resumen de información obtenida del recurso Solar	34
4. Energía Eólica.....	38
4.1. Metodología para reconocimiento de potencial eólico	38
4.2. Potencial energético eólico en el departamento de Putumayo	38
4.2.1. Potencial energético eólico por municipio	41
4.2.2. Resumen de información obtenida del recurso Eólico	50
5. Energía Hidráulica	55
5.1. Metodología para reconocimiento de potencial hídrico	55
5.2. Principales Fuentes hídricas	56
5.3. Caudales Medios Mensuales en el Departamento del Putumayo	60
5.4. Caídas Hidráulicas en el Departamento del Putumayo	68



5.5.	Evaluación Teórica del Potencial Hidroenergético en el Departamento del Putumayo	68
6.	Energía de Biomasa	73
6.1.	Metodología para reconocimiento de potencial de biomasa	73
6.2.	Biomasa Agrícola	73
6.2.1.	Principales Cultivos	74
6.2.2.	Potencial energético de la Biomasa Agrícola por municipio	81
6.2.3.	Potencial energético de la Biomasa Agrícola por Cultivo	94
6.3.	Biomasa Forestal	100
6.3.1.	Potencial de la Biomasa	100
6.3.2.	Sistema de zonas de vida Holdridge	100
6.3.3.	Energía y exergía	100
6.3.4.	Análisis próximo y elemental	101
6.3.5.	Poder calorífico	101
6.3.6.	Metodología	102
6.3.7.	Parques Naturales	104
6.3.8.	Reservas naturales	107
6.3.9.	Áreas forestales en ordenación	111
6.3.10.	Bosques naturales	113
6.3.11.	Potencial energético de la Biomasa Forestal por municipio	113
6.4.	Biomasa Pecuaria	122
6.4.1.	Modelo Matemático	123
6.4.2.	Potencial de la Biomasa Pecuaria	124
7.	Energía Geotérmica	134
7.1.	Antecedentes y desarrollo de la energía geotérmica en Colombia	134
7.2.	Desarrollo de proyectos de generación geotérmica	136
7.3.	Potencial Geotérmico	137
8.	Gas Natural	140
8.1.	Estado del sector en Colombia	141
8.2.	Gas natural como complemento a las energías renovables	143
8.3.	Potencial energético del Gas Natural	145
9.	Estado de conexión eléctrica	146

10. Análisis de la oferta energética del departamento del putumayo	151
10. Referencias bibliográficas	159
Anexo 1: Mapas de Colombia de Irradiación Global Horizontal y Distribución de Brillo Solar Anual	163
Anexo 2: Mapas de Colombia de la velocidad promedio del viento a una altura de 10, 50 y 150 metros de altura y mapa de la dirección del viento	166
Anexo 3: Diagrama de Holdrige	170
Anexo 4: Sistema de Transmisión Nacional	171



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. División por regiones del departamento de Putumayo (Alto, Medio y Bajo Putumayo). Fuente: (Gobernación Putumayo, 2017).....	15
Figura 2. Etapas de construcción de mapas por municipio para Recurso Eólico y Solar. Fuente: Propia. .	17
Figura 3. Irradiancia Global Horizontal de Mocoa (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha). Fuente: Propia.	18
Figura 4. Irradiancia global horizontal Anual en el departamento del Putumayo. Fuente: Propia.....	20
Figura 5. Distribución del Brillo Solar Anual en el departamento del Putumayo. Fuente: Propia.	20
Figura 6. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Colón. Fuente: Propia.	22
Figura 7. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Mocoa. Fuente: Propia.	23
Figura 8. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Orito. Fuente: Propia.	24
Figura 9. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Asís. Fuente: Propia.	25
Figura 10. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Caicedo. Fuente: Propia.	26
Figura 11. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Guzmán. Fuente: Propia.....	27
Figura 12. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Leguizamo. Fuente: Propia.	28
Figura 13. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de San Francisco. Fuente: Propia.	29
Figura 14. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de San Miguel (La Dorada). Fuente: Propia.....	30
Figura 15. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Santiago. Fuente: Propia.....	31
Figura 16. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Sibundoy. Fuente: Propia.....	32
Figura 17. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Valle del Guamuez. Fuente: Propia.....	33
Figura 18. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Villagarzón. Fuente: Propia.	34
Figura 19. Irradiancia solar del departamento del Putumayo: Fuente: Propia.	36
Figura 20. Horas de brillo solar del departamento del Putumayo: Fuente: Propia.	37
Figura 21. Velocidad del viento promedio en el departamento del Putumayo a 10 m de altura. Adaptado de Atlas del Viento Interactivo IDEAM. Fuente: Propia	39

Figura 22. Velocidad del viento promedio en el departamento del Putumayo a 50 m de altura. Adaptado de Atlas del Viento Interactivo IDEAM. Fuente: Propia.	39
Figura 23. Velocidad del viento promedio en el departamento del Putumayo a 250 m de altura. Adaptado de Atlas del Viento Interactivo IDEAM. Fuente: Propia.	40
Figura 24. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Colón a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Colón. Fuente: Propia.	41
Figura 25. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Mocoa a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Mocoa. Fuente: Propia.	42
Figura 26. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Orito a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Orito. Fuente: Propia.	43
Figura 27. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Asís a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Asís. Fuente: Propia.	43
Figura 28. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Caicedo en 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Caicedo. Fuente: Propia.	44
Figura 29. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Guzmán a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Guzmán. Fuente: Propia.	45
Figura 30. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Leguízamo a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Leguízamo. Fuente: Propia.	45
Figura 31. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en San Francisco a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de San Francisco. Fuente: Propia.	46
Figura 32. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en San Miguel a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de San Francisco. Fuente: Propia.	47
Figura 33. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Santiago a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Santiago. Fuente: Propia.	47
Figura 34. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Sibundoy a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Sibundoy. Fuente: Propia.	48
Figura 35. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Valle del Guamuez a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Valle del Guamuez. Fuente: Propia.	49
Figura 36. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Villagarzón a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Villagarzón. Fuente: Propia.	49
Figura 37. Potencial energético total eólico de Putumayo. Fuente: Propia.	53
Figura 38. Velocidad de viento de Putumayo. Fuente: Propia.	54
Figura 39. Metodología de estimación del potencial energético de las fuentes hídricas del Putumayo. Fuente: Propia.	55
Figura 40. Estaciones de Monitoreo en Putumayo. Fuente: (IDEAM, 2014).....	57
Figura 41. Estación del Banco Magdalena (Superior Izquierda); Estación de Limnimétrica (Superior Derecha); Estación Limnigráfica (Inferior). Fuente: (Google Commons, 2020)	58
Figura 42. Porcentaje de Estaciones Activas y Suspendidas. Fuente: Propia.	60
Figura 43. Estación 47017200 Mes de Septiembre. Fuente: Propia.....	61
Figura 44. Caudales Medios Mensuales Anuales Alto, Medio y Bajo Putumayo. Fuente: Propia.....	62
Figura 45. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	62



Figura 46. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	63
Figura 47. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	63
Figura 48. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	64
Figura 49. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	64
Figura 50. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	65
Figura 51. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	65
Figura 52. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	66
Figura 53. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	66
Figura 54. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	67
Figura 55. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.	67
Figura 56. Variación del potencial hidroenergético con el caudal y la caída hidráulica. Fuente: (UPME, Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, 2015)	69
Figura 57. Centrales hidráulicas propuestas por el PERS para el Putumayo. Fuente: Propia.	72
Figura 58. Participación de los cultivos en el departamento de Putumayo. Fuente: (Agricultura, 2016) .	75
Figura 59. Participación de principales cultivos en el departamento de Putumayo. Fuente: (2016).	81
Figura 60. Potencial energético Agrícola Total del Putumayo. Fuente: Propia.	93
Figura 61. Potencial energético de los cultivos de Arroz en el Putumayo. Fuente: Propia.	94
Figura 62. Potencial energético de los cultivos de Cacao en el Putumayo. Fuente: Propia.	95
Figura 63. Potencial energético de los cultivos de Caña Panelera en el Putumayo. Fuente: Propia.	96
Figura 64. Potencial energético de los cultivos de Maíz en el Putumayo. Fuente: Propia.	97
Figura 65. Potencial energético de los cultivos de Plátano en el Putumayo. Fuente: Propia.	98
Figura 66. Potencial energético de los cultivos de Plátano en el Putumayo. Fuente: Propia.	99
Figura 67. Metodología. Fuente: Propia.	103
Figura 68. Ubicación, parques naturales nacionales de Putumayo. Fuente: (IGAC, 2019).....	104
Figura 69. Zona del parque natural nacional La Paya. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)	105
Figura 70. Zona del parque natural nacional Serranía de los Churumbelos Auska - Wasi. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)	106
Figura 71. Santuario de Flora Plantas Medicinales Orito Ingi – Ande. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014) .	107
Figura 72. Reserva forestal protectora de la Cuenca Alta del Río Mocoa. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)	108
Figura 73. Reserva forestal de Ley 2° Central. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)	109
Figura 74. Reserva forestal de Ley 2° Amazonía. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)	110
Figura 75. Ordenación jurídico normativo de Putumayo. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)	111
Figura 76. Potencial Energético zonas de parques naturales del Putumayo. Fuente: Propia.....	117
Figura 77. Potencial Energético de las zonas de reserva forestal del Putumayo. Fuente: Propia.	119
Figura 78. Potencial energético en áreas en ordenación y zonas sin clasificación de Putumayo. Fuente: Propia.....	120
Figura 79. Potencial energético Total de la Biomasa Forestal del Putumayo. Fuente: Propia.	121
Figura 80. Potencial energético Total de la Biomasa Forestal del Putumayo sin agrupar. Fuente: Propia.	122
Figura 81. Potencial energético de la Biomasa Avícola del Putumayo. Fuente: Propia.....	127



Figura 82. Potencial energético aviar en los municipios de putumayo. Fuente: Propia.	128
Figura 83. Clasificación de fincas de acuerdo a las cabezas de ganado. Fuente: Propia.	129
Figura 84. Potencial energético de la Biomasa Bovina del Putumayo. Fuente: Propia.	131
Figura 85. Potencial energético de la Biomasa Bovina del Putumayo. Fuente: Propia.	132
Figura 86. Potencial energético bovino en los municipios de putumayo. Fuente: Propia.....	133
Figura 87. Usos de la energía geotérmica. Fuente: (Minminas, 2019)	134
Figura 88. Proyectos prioritarios en Colombia. (Geraldyn Arias Marín, 2017)	135
Figura 89. Fases del desarrollo de un proyecto geotérmico. Fuente: (Marzolf, 2017)	137
Figura 90. Distribución de los recursos geotérmicos. Adaptado de (Fábio P. Vieira, 2014)	138
Figura 91. Potencial geotérmico del departamento del Putumayo. Fuente: (IPSE, 2017)	139
Figura 92. Reservas Probadadas, posibles y probables. Fuente: (UPME, 2017)	141
Figura 93. Participación de reservas de gas natural por cuenca. Fuente: (UPME, 2017)	142
Figura 94. Crecimiento de la demanda por sectores del consumo. Fuente: (UPME, 2017)	143
Figura 95. Crecimiento de la demanda por regiones de consumo. Fuente: (UPME, 2017).	143
Figura 96. Comparativa de emisiones entre combustibles fósiles. Fuente: (NATURGAS, 2020)	144
Figura 97. 8 cuencas geológicas con potencia de no convencionales. Fuente: (ANDI, 2019)	145
Figura 98. Índice de cobertura energética del departamento del Putumayo. Fuente: Adaptada de (SIEL, 2019).....	146
Figura 99. Sistema de transmisión nacional correspondiente al departamento del Putumayo. Fuente: Adaptado de (UPME, Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2019 - 2033, 2019) ...	147
Figura 100. Ubicación de subestaciones de la empresa de energía del putumayo. Fuente: (EEP, 2015)	148
Figura 101. Diagrama unifilar del sistema de la empresa de energía del putumayo. Fuente: (EEP, 2015)	149
Figura 102. Potencial energético total por municipio. Fuente: Propia.	153
Figura 103. Irradiación global horizontal medio diario anual. Fuente: (IDEAM, Mapas de radiación solar, 2014).....	164
Figura 104. Distribución del Brillo solar Medio Diario Anual. Fuente: (IDEAM, Mapas de radiación solar, 2014).....	165
Figura 105. Velocidad promedio del viento a 15 metros de altura. Fuente: (IDEAM, Atlas eólico, 2015).....	167
Figura 106. Mapa de velocidad promedio del viento a 150 metro de altura. Fuente: (IDEAM, Atlas eólico, 2015).....	168
Figura 107. Dirección del viento. Fuente: (IDEAM, Atlas eólico, 2015)	169
Figura 108. Diagrama Bioclimático. Fuente: (Hilje y Jimenez, 2017)	170
Figura 109. Sistema de transmisión nacional de Colombia. (UPME, Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2019 - 2033, 2019)	171



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales de los municipios del departamento de Putumayo.	14
Tabla 2. Estaciones meteorológicas de medición por municipio.	18
Tabla 3. Tabla resumen de valores aprovechables en el departamento de Putumayo.....	35
Tabla 4. Municipios con mejores valores de recurso solar.	35
Tabla 5. Máxima velocidad del viento promedio en el Departamento	40
Tabla 6. Resumen de análisis de Velocidad de viento promedio aprovechable en Putumayo.....	50
Tabla 7. Densidad de potencia aprovechable por municipio a 10 m de altura.	52
Tabla 8. Municipios con mejores valores de recurso eólico.....	53
Tabla 9. Cuencas y Subcuencas del departamento del Putumayo	56
Tabla 10. Número de Estaciones de Medición en el Departamento	58
Tabla 11. Estaciones Hidrológicas	59
Tabla 12. Área Hidrográfica del Putumayo.	68
Tabla 13. Clasificación de las PCH's, según capacidad instalada y el tipo de usuario.....	69
Tabla 14. Potencial hidroenergético para la implementación de proyectos con PCH's en el departamento de Putumayo.....	71
Tabla 15. Área Sembrada, Área Cosechada, Variaciones y Participaciones de los Cultivos en el Departamento del Putumayo Año 2016-2017	74
Tabla 16. Producción, Rendimiento y Variaciones de los Cultivos en el Departamento del Putumayo. Año 2016-2017.....	75
Tabla 17. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Plátano en Putumayo Año 2017	76
Tabla 18 .Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Caña Panelera en Putumayo Año 2017	76
Tabla 19. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Maíz Tradicional en Putumayo Año 2017	77
Tabla 20. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Cacao en Putumayo Año 2017.....	77
Tabla 21. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Chontaduro en Putumayo Año 2017	78
Tabla 22. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Yuca en Putumayo Año 2017.....	79
Tabla 23. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Arroz en Putumayo Año 2017.....	79
Tabla 24. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Pimienta en Putumayo Año 2017	80
Tabla 25. Factor de residuo de los cultivos más relevantes en Putumayo	82
Tabla 26. Poder calorífico inferior para biomasa agrícola.....	83



Tabla 27. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Mocoa, departamento de Putumayo.....	84
Tabla 28. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Orito, departamento de Putumayo.....	85
Tabla 29. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Asís, departamento de Putumayo	86
Tabla 30. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Caicedo, departamento de Putumayo	87
Tabla 31. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Guzmán, departamento de Putumayo.....	87
Tabla 32. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Leguízamo, departamento de Putumayo.....	88
Tabla 33. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de San Francisco, departamento de Putumayo	89
Tabla 34. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de San Miguel, departamento de Putumayo.....	89
Tabla 35. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Sibundoy, departamento de Putumayo.....	90
Tabla 36. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Valle de Guamuez, departamento de Putumayo.....	91
Tabla 37. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Villagarzón, departamento de Putumayo	91
Tabla 38. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el departamento de Putumayo	92
Tabla 39. Diferencias entre energía y exergía	101
Tabla 40. Ubicación de parques naturales del Putumayo.	104
Tabla 41. Ubicación de las reservas naturales del Putumayo.	107
Tabla 42. Áreas forestales en ordenación del departamento de Putumayo	112
Tabla 43. Distribución de cobertura y uso de la tierra en Putumayo	113
Tabla 44. Biomasa aérea para cada municipio.....	114
Tabla 45. Composición de la biomasa para el caso de estudio	114
Tabla 46. Análisis próximo y análisis elemental de la biomasa forestal	115
Tabla 47. Poder calorífico superior e inferior.....	116
Tabla 48. Estimación de la exergía química	116
Tabla 49. Potencial energético en zonas de parques naturales	117
Tabla 50. Potencial energético en zonas de reserva forestal	118
Tabla 51. Potencial energético en zonas de áreas en ordenación y zonas sin clasificación por municipio	119
Tabla 52. Potencial energético a partir de biomasa forestal por municipio.....	120
Tabla 53. Constantes según especie para modelo matemático	124
Tabla 54. Potencial energético de aves de traspasío.....	125



Tabla 55. Potencial energético de aves de engorde.....	125
Tabla 56. Potencial energético del total de aves.....	126
Tabla 57. Número de fincas de acuerdo a las cabezas de ganado	129
Tabla 58. Potencial energético biomasa residual bovina en los municipios de Putumayo.	130
Tabla 59. Potencial energético biomasa residual Porcina en los municipios de Putumayo.	131
Tabla 60. Resumen de los campos de producción de Gas Natural en Colombia.	140
Tabla 61. Inversiones relacionadas para el departamento del Putumayo.	150
Tabla 62. Potencial energético total, incluyendo reservas y parque naturales.	151
Tabla 63. Potencial energético total, excluyendo reservas y parque naturales.	152
Tabla 64. Potencial energético total agrupado.	152
Tabla 65. Necesidades energéticas en el Putumayo.	153
Tabla 66. Necesidades energéticas por sector.	154



1. INTRODUCCIÓN

Para determinar la oferta energética del departamento de Putumayo es necesario limitar las fuentes energéticas al grupo más relevante en la región. Las fuentes escogidas para este trabajo fueron las siguientes: energía solar, energía eólica, energía biomasa, energía hídrica, energía geotérmica y gas natural. En los siguientes capítulos se realiza una caracterización de estas fuentes en el departamento de Putumayo.

Las principales fuentes de información para el desarrollo de este informe son: IDEAM, UPME, CORPOAMAZONIA, DANE, estudios propios desarrollados en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y por el equipo de PERS Putumayo.



2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DEPARTAMENTO

2.1. LIMITES DEPARTAMENTALES

El departamento de Putumayo se encuentra ubicado al sur de Colombia, limita al sur con los países vecinos de Ecuador y Perú, en el occidente limita con el departamento de Nariño, en el norte limita con los departamentos de Cauca y Caquetá y por el oriente limita con el departamento del Amazonas.

14

2.2. DIVISIONES ADMINISTRATIVA Y POBLACIONAL

Se encuentra subdividido en trece (13) municipios que se encuentran en un área de 24.885 km. Su capital Mocoa es el centro administrativo y financiero del departamento. Cuenta con tres regiones geográficas que registran todos los pisos térmicos, conocidas como Alta, Media y Bajo Putumayo. El municipio de Puerto Leguízamo hace parte de la llanura amazónica (Gobernación de Putumayo, 2017) (Ver Figura 1).

Tabla 1. Datos generales de los municipios del departamento de Putumayo.

No.	Municipios de Putumayo	Número de habitantes	Área superficial [km ²]	Altitud [msnm]	Temperatura promedio [°C]
1	Colón	5252,00	74	2100	10 a 16
2	Mocoa	37575,00	1224	650	20 a 25
3	Orito	46194,00	1929	350	25
4	Puerto Asís	57055,00	2859	250	24 a 27
5	Puerto Caicedo	14757,00	863	230	24 a 26
6	Puerto Guzmán	22931,00	4579	280	25 a 26
7	Puerto Leguízamo	46602,00	10852	200	26
8	San Francisco	8177,00	564	2180	10 a 16
9	San Miguel (La dorada)	23133,00	364	290	24,5
10	Santiago	9453,00	558	2100	10 a 16
11	Sibundoy	13464,00	96	2150	10 a 16
12	Valle del Guamuez (La hormiga)	4662,00	885	325	24,5
13	Villa garzón	13464,00	1379	430	22 a 26

Fuente: (Gobernación de Putumayo, 2017)

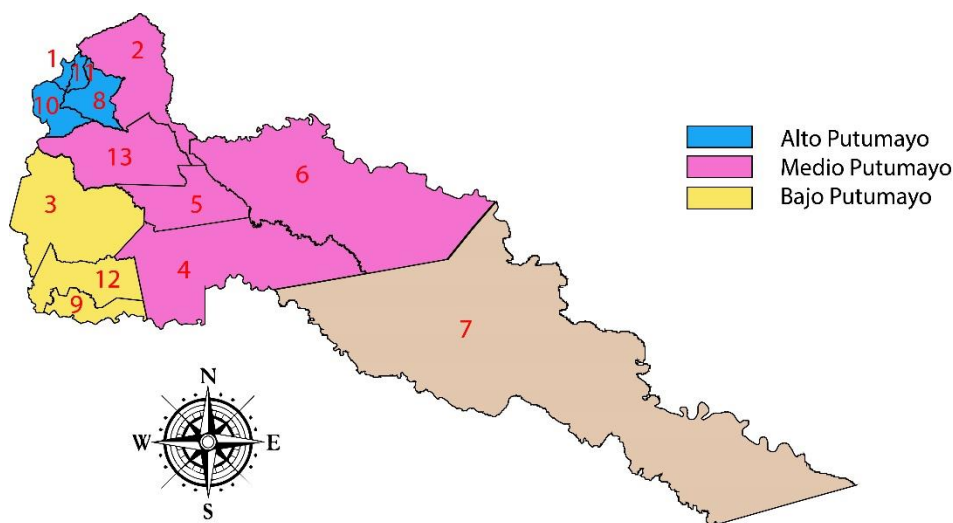


Figura 1. División por regiones del departamento de Putumayo (Alto, Medio y Bajo Putumayo). Fuente: (Governación Putumayo, 2017)

2.3. ACTIVIDADES ECONÓMICAS PRINCIPALES

En el Alto Putumayo o Valle de Sibundoy se encuentran los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco en esta zona se cultiva el frijón bolón rojo tipo exportación y diversidad de frutas. También existe la ganadería y producción lechera que asciende a los 50 mil litros diarios. En el medio Putumayo se encuentran Mocoa, Villagarzón, Puerto Guzmán, Puerto Caicedo y Puerto Asís y en el Bajo Putumayo están ubicados los municipios de Orito, Valle del Guamuez y San Miguel, éste último en la frontera con Ecuador. Las dos regiones se caracterizan por la actividad ganadera, producción de plátano, yuca, arroz y maíz entre otros productos (Governación de Putumayo, 2017).

Adicional se han descubierto yacimientos de petróleo en el municipio de Orito, considerados entre los más grandes del mundo, también existen yacimientos de oro de veta y aluvión en las formaciones geológicas del denominado Macizo Colombiano, especialmente en la cordillera Centro – Oriental; actualmente se explota en los ríos Curiyo y Cascabel, afluentes del Caquetá, e incluso en este mismo; también se extrae en el río San Pedro, afluente del Putumayo en el Valle de Sibundoy. Se encuentra gran variedad de maderas para la construcción, plantas medicinales, oleaginosas, fibrosas, resinosas como caucho, balatae, incienso (Governación de Putumayo, 2017).



3. ENERGÍA SOLAR

3.1. METODOLOGÍA PARA RECONOCIMIENTO DE POTENCIAL SOLAR

La metodología que se siguió para la elaboración del trabajo acá consignado se encuentra conformada por cinco (5) etapas importantes que brindan el camino para resaltar la información más relevante del departamento de Putumayo.

16

Para realizar la cuantificación de la cantidad de energía que se puede llegar a producir con el recurso solar (radiación) en el departamento de Putumayo es necesario tener datos mediante la medición de las variables (radiación global solar) que influyen directamente en el proceso de generación de energía, con el fin de poder caracterizar el recurso para su posterior cuantificación. Sin embargo, ésta es una tarea ardua que demandaría un largo proceso de mediciones y recopilación de datos. Para beneficio de Colombia y en especial el de este trabajo, se ha tomado como insumo principal el estudio de radiación solar en Colombia que ha sido realizado por el IDEAM en apoyo de la UPME y cuyos resultados han sido plasmados en el Atlas de Radiación Solar de Colombia.

Para llevar a cabo la cuantificación que aquí se propone y aprovechar al máximo los datos contenidos en el atlas de radiación solar, se plantean las siguientes etapas:

3.1.1. Recopilación de información

En esta etapa se realiza la consulta del material existente referente a la medición de radiación solar en Colombia para la zona específica del estudio, con lo cual se determinan las estaciones meteorológicas activas en el departamento de Putumayo y adicional se realiza la consulta en el Atlas de Radiación Solar de Colombia, con el fin de llegar a realizar un filtro adecuado de toda la información obtenida.

Dentro del material encontrado resalta la oportunidad de utilizar el atlas interactivo del IDEAM que se encuentra disponible en línea, el cual permite de manera dinámica consultar información de radiación global horizontal en el territorio colombiano.

3.1.2. Análisis y selección de la información obtenida

Una vez se tiene la información de las estaciones meteorológicas y revisando la teoría de los Atlas de radiación, sumado con el atlas interactivo, se concluye que la información que está contemplada en el Atlas de Radiación y en el atlas interactivo tiene inmersa la información de las estaciones consultadas, además que poseen mapas con información que aunque no se tenía físicamente fue modelada mediante métodos estadísticos y probabilísticos para lograr entregar información completa y con márgenes de error bajos.

Dentro de la información del atlas interactivo se usaron los mapas de irradiancia horizontal media-diaria anual, dado que son las variables principales para la producción de energía solar fotovoltaica, y además

contempla el promedio del año con lo que se puede establecer un mínimo promedio anual y un máximo promedio anual, así como una tolerancia que finalmente ayuda a determinar el mínimo aprovechamiento. Adicional, se tuvo en cuenta que para el recurso solar se complementa la información con el uso de los mapas de distribución de brillo solar media-diaria anual para ver la cantidad de horas promedio de presencia de brillo solar en el departamento y que puede ser aprovechado.

3.1.3. Análisis y selección de la información obtenida

Para realizar la construcción de los mapas del departamento con la información relevante, se procedió a examinar las imágenes de los mapas seleccionados de Colombia y se enfocaron cada uno de ellos en Putumayo. Esto debido a que el departamento se dividirá por municipios, lo que permite un análisis más detallado y el manejo de los datos obtenidos será más descriptivo. Para el recurso solar la variable presente en los mapas es la irradiancia global horizontal media – diaria anual.

Una vez seleccionada la información con el enfoque en el departamento se procesan las imágenes mediante el programa Adobe Illustrator® para no perder detalle de los mapas base. Inicialmente se toma el mapa de división política del departamento por municipio para tener la plantilla de división de cada uno. Luego se sobrepone en la imagen de acercamiento del mapa obtenido del atlas interactivo (irradiancia global solar horizontal) para poder ajustar la división y hacerla coincidir con el contorno del mapa de acercamiento. Una vez el mapa de división se ajusta al mapa de acercamiento se realiza el corte de cada uno de los municipios (Ver Figura 2).

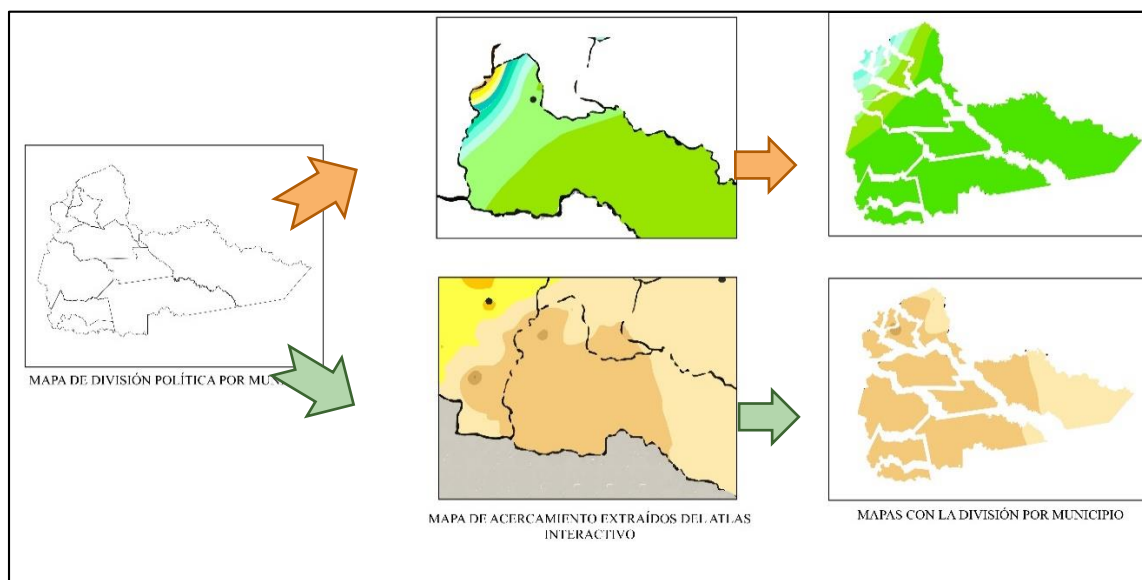


Figura 2. Etapas de construcción de mapas por municipio para Recurso Eólico y Solar. Fuente: Propia.

3.1.4. Presentación de los resultados generales del departamento

Una vez construidos los mapas de cada uno de los trece (13) municipios que conforman el departamento de Putumayo se procedió a elaborar el análisis por municipio y por recurso.

Para el recurso solar se presentan los siguientes componentes: un mapa de irradiancia global horizontal media diaria-anual y un mapa de distribución de brillo solar media diaria-anual, cada uno con sus respectivas convenciones. En la se muestra un ejemplo de cómo se presentarán los mapas de cada uno de los municipios.

18

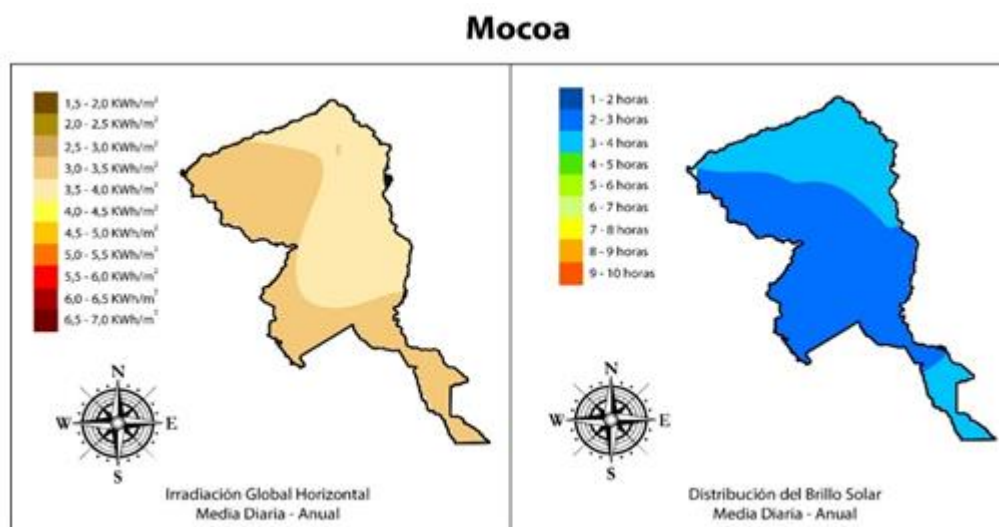


Figura 3. Irradiancia Global Horizontal de Mocoa (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha).

Fuente: Propia.

Una vez construidos todos los mapas se realiza el compendio con los datos de todo el análisis y se procede a resaltar los datos más importantes y los municipios con mejores condiciones que cada uno de los recursos presenta para la generación de energía.

3.1.5. Fuentes de información primaria de la energía solar en el departamento

Actualmente, en el departamento de Putumayo se encuentran ubicadas las siguientes estaciones meteorológicas (IDEAM, 2014) las cuales se encuentran activas:

Tabla 2. Estaciones meteorológicas de medición por municipio.

MUNICIPIO	NOMBRE	CÓDIGO	LATITUD	LONGITUD	FECHA INSTALACIÓN
Colón	Michoacan	47015040	1,1982	-76.9609	1977/01/15
Mocoa	Campucana	44010030	1,2025	-76,6808	1977/11/15
	Condagua	44010090	1,2805	-76,5841	1981/04/15



	Puerto Limón	44010110	1,0268	-76,5415	1984/09/15
	Mocoa Acueducto	44015040	1,1573	-76,6518	1983/04/15
	Acdto Autom.	44015060	1,1573	-76,6518	2003/03/29
	El pepino Autom.	44015070	1,0828	-76,6671	2005/11/11
Orito	El Picudo	47010220	0,4897	-76,8362	1985/11/15
Puerto Asís	Puerto Asís	47010030	0,4736	-76,4802	1959/06/15
	Angosturas	47030010	0,3954	-76,3361	1981/04/15
Puerto Caicedo	Puerto Caicedo	47010110	0,6859	-76,6051	1978/10/15
Puerto Guzmán	Sta. Lucia	44010080	0,9615	-76,4413	1981/04/15
Puerto Leguísimo	La Tagua	44115020	-0,0607	-76,6652	1973/12/15
	Umancia	44120020	-0,2041	-74,2893	1984/04/15
	Concepción	47030020	0,0469	-75,6297	1983/08/15
	San Joaquín	47030030	0,3381	-76,0782	1986/03/15
	Puerto Ospina	47035020	0,1328	-75,8511	1986/05/15
	Puerto Leguísimo	47045010	-0,1806	-74,7762	1973/11/15
San Francisco	Minchoy	44010040	1,2021	-76,8170	1977/11/15
	Patoyaco	44010120	1,2175	-76,2081	1997/07/15
	Chungacaspi	47010050	1,1340	-76,9302	1971/05/15
	San Francisco	47010090	1,1789	-76,8833	1973/09/15
	Torre TV San Fco	47010180	1,1454	-76,8450	1979/01/15
San Miguel	San Miguel	47020010	0,2792	-76,9272	1981/04/15
Santiago	Balsayaco	47010020	1,1178	-76,9812	1959/03/15
	Carrizal	47010150	1,1367	-77,0373	1968/05/15
Valle del Guamuez	Churuyaco	47020020	0,4769	-77,0997	1981/04/15
Villagarzón	Villagarzón	44015010	1,0342	-76,6192	1964/08/15

Fuente: (IDEAM, 2014)

3.2. POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO

En la siguiente Figura 4, se observa el comportamiento del mapa de irradiación solar global horizontal anual para el departamento de Putumayo. En la escala se evidencia que el menor valor se encuentra representado del color amarillo ocre oscuro y el mayor valor se encuentra representado por el color rojo oscuro. Los valores mínimos de irradiación global horizontal para este departamento se encuentran en el orden de 2,5 a 3,0 kWh/m² presentes en el municipio de San Francisco y Sibundoy principalmente. Los

valores máximos presentes en el municipio son de 3,5 a 4,0 kWh/m² y se presentan en gran parte del municipio de Puerto Leguízamo y en aproximadamente la mitad del municipio de Puerto Guzmán, así como también se tiene este valor máximo en gran parte del municipio de Mocoa.



Figura 4. Irradiancia global horizontal Anual en el departamento del Putumayo. Fuente: Propia.

En cuanto a brillo solar, la figura 5 muestra los mínimos valores representados con el color azul oscuro y los valores máximos se representan con color naranja intenso. Para el departamento de Putumayo los valores mínimos presentes de brillo solar son de 2 a 3 horas del día y se presentan principalmente en los municipios de Puerto Asís, Puerto Caicedo y Puerto Guzmán. Por el contrario, los valores máximos de brillos solar presentes en el departamento se presentan en el municipio de Puerto Leguízamo, donde se cuenta con valores de 4 a 5 horas de brillo solar promedio (ver Figura 5).



Figura 5. Distribución del Brillo Solar Anual en el departamento del Putumayo. Fuente: Propia.

De primera impresión se puede referenciar al municipio de Puerto Leguízamo como un punto focal en cuanto aprovechamiento de energía. Sin embargo, es necesario revisar cada municipio para tener una visión cercana de su comportamiento.



3.2.1. Potencial energético solar por municipio

A continuación, se presenta un análisis específico de cada uno de los municipios del departamento de Putumayo, donde se incluyen características como temperatura promedio, población y área del municipio. El análisis cuenta mapas de irradiación global horizontal tanto mensuales como anuales y mapas de distribución de brillo solar, así como también cuenta con una descripción de lo que reflejan los mapas. Por cada uno de los municipios se visualizan los mapas obtenidos del análisis del recurso solar.

3.2.1.1. *Colón*

El municipio de Colón cuenta con 5252 habitantes en un área aproximada de 74 km². Debido a su ubicación geográfica cercana a la cordillera andina, es uno de los cuatro municipios con una altura sobre el nivel del mar superior a los 2000 msnm, más específicamente 2100 m, lo que afecta directamente la temperatura promedio del municipio que oscila dentro de los 10 a 16 °C.

En la Figura 6 se tiene el mapa del municipio Colón con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal promedio de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar se tiene un valor de 2 a 3 horas en promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) para el periodo comprendido entre mayo y agosto.

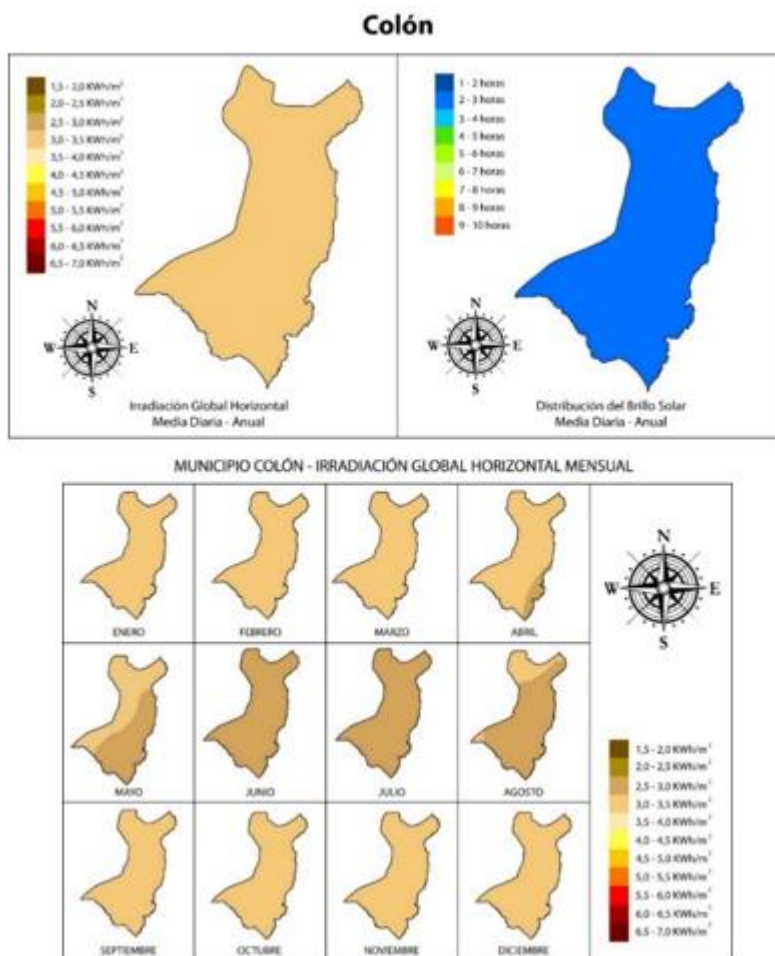


Figura 6. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Colón. Fuente: Propia.

3.2.1.2. Mocoa

El municipio de Mocoa cuenta con 37575 habitantes en un área aproximada de 1224 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 650 msnm ubicándose en el límite entre las dos subregiones que demarcan el departamento de zona geográfica de cordillera andina y la zona de planicie amazónica, y su temperatura promedio oscila entre 20 a 25 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 7 se tiene el mapa del municipio Mocoa con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal mínima de 3,0 a 3,5 kWh/m² y una máxima de 3,5 a 4,0 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor mínimo de 2 a 3 horas y un valor máximo de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,0 a 2,5 kWh/m²) sólo en el mes de Julio y en un área muy pequeña que a su vez coincide con que junio y Julio son meses en los cuales se tiene una irradiancia baja en comparación con los demás meses del año.

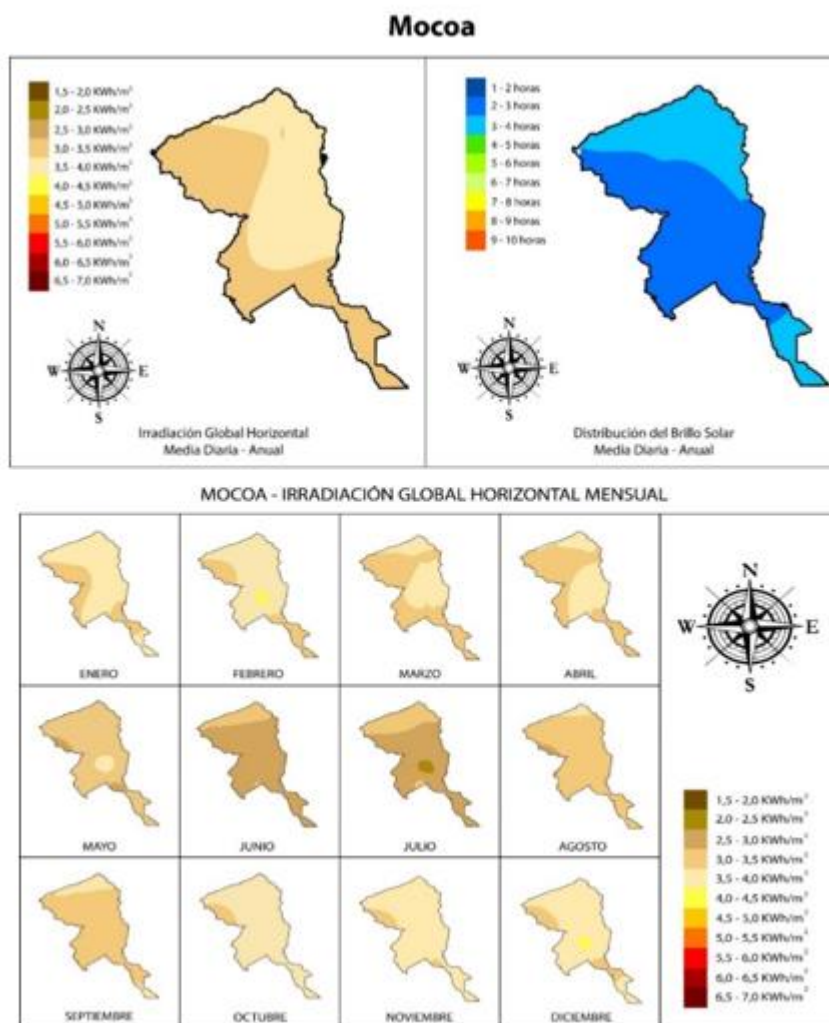


Figura 7. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Mocoa. Fuente: Propia.

3.2.1.3. Orito

El municipio de Orito cuenta con 46194 habitantes, siendo uno de los tres (3) municipios más poblados en el departamento, en un área aproximada de 1929 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 350 msnm ubicándose en la zona geográfica de cordillera andina pese a su altura. Su temperatura promedio se encuentra en 25 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 8 se tiene el mapa del municipio Orito con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor mínimo de 2 a 3 horas y un valor máximo de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y julio, para los demás meses del año mantiene su valor promedio.

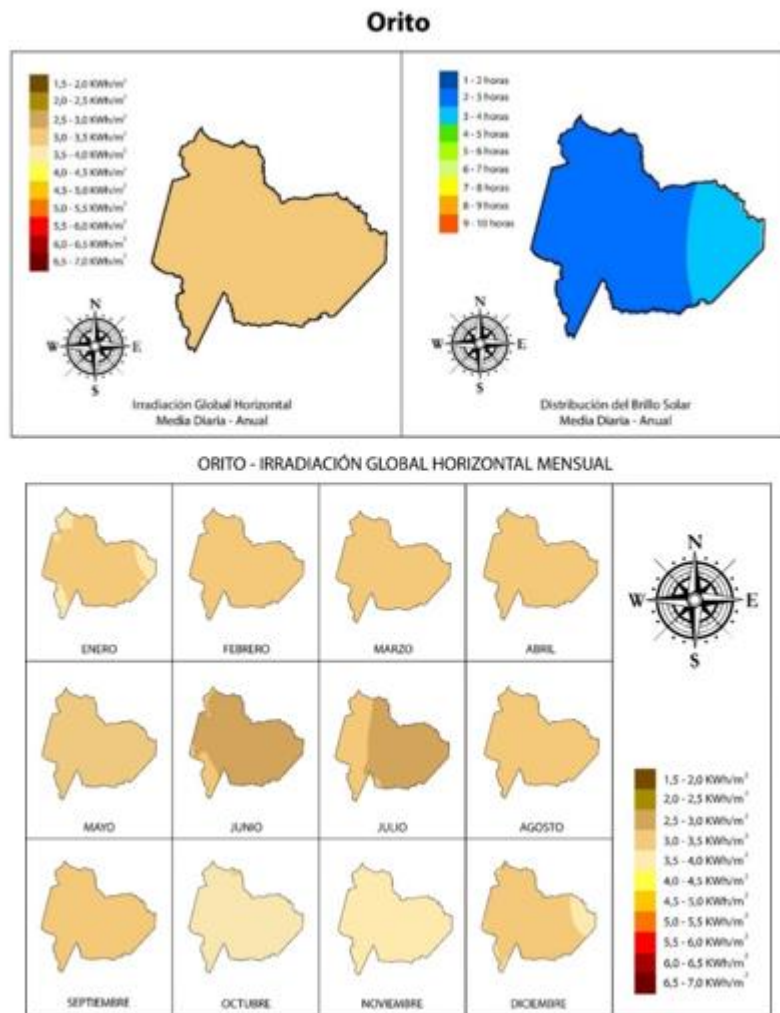


Figura 8. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Orito. Fuente: Propia.

3.2.1.4. Puerto Asís

El municipio de Puerto Asís cuenta con 57055 habitantes, siendo el municipio más poblado en el departamento, en un área aproximada de 2859 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 250 msnm, ubicándose en la zona geográfica de planicie amazónica, y su temperatura promedio oscila entre 24 a 27 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 9 se tiene el mapa del municipio Puerto Asís con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal mínima de 3,0 a 3,5 kWh/m² y una máxima de 3,5 a 4,0 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y Julio, y para los demás meses del año mantiene su valor promedio.

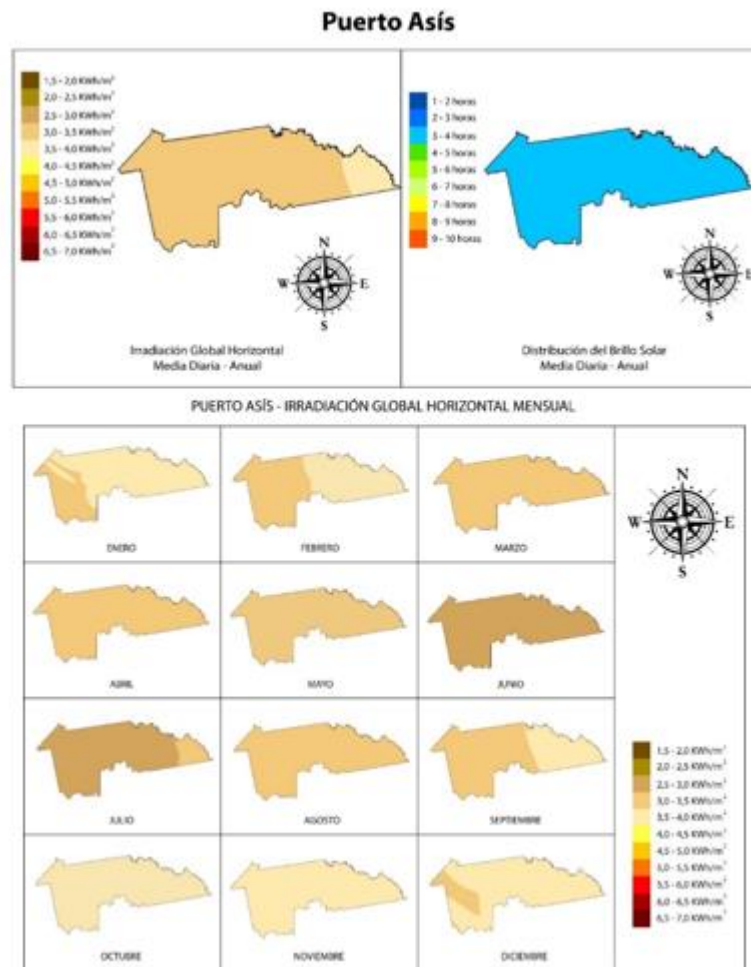


Figura 9. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Asís. Fuente: Propia.

3.2.1.5. Puerto Caicedo

El municipio de Puerto Caicedo cuenta con 14757 habitantes en un área aproximada de 863 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 230 msnm ubicándose en la zona geográfica de planicie amazónica, y su temperatura promedio oscila entre 24 a 26 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 10 se tiene el mapa del municipio Puerto Caicedo con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y julio, y para los demás meses del año mantiene su valor promedio mencionado anteriormente.

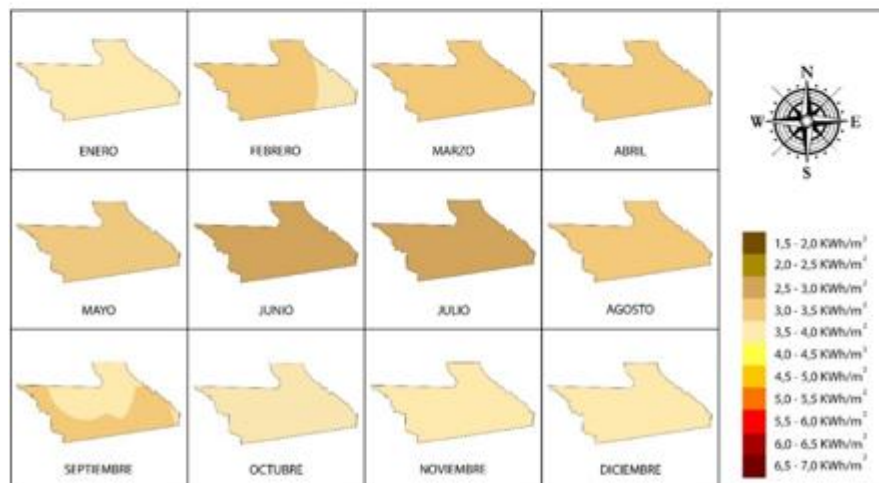
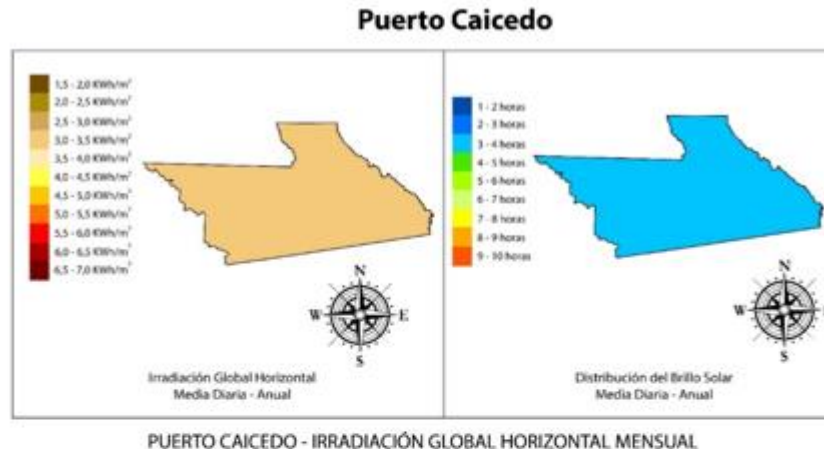


Figura 10. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Caicedo. Fuente: Propia.

3.2.1.6. Puerto Guzmán

El municipio de Puerto Guzmán cuenta con 22931 habitantes en un área aproximada de 4579 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 280 msnm ubicándose en la zona geográfica de planicie amazónica, y su temperatura promedio oscila entre 25 a 26 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 11 se tiene el mapa del municipio Puerto Guzmán con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal mínima de 3,0 a 3,5 kWh/m² y una máxima de 3,5 a 4,0 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor mínimo de 3 a 4 horas y una máxima de 4 a 5 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y Julio, y para los demás meses del año mantiene dentro de los valores mencionado anteriormente.

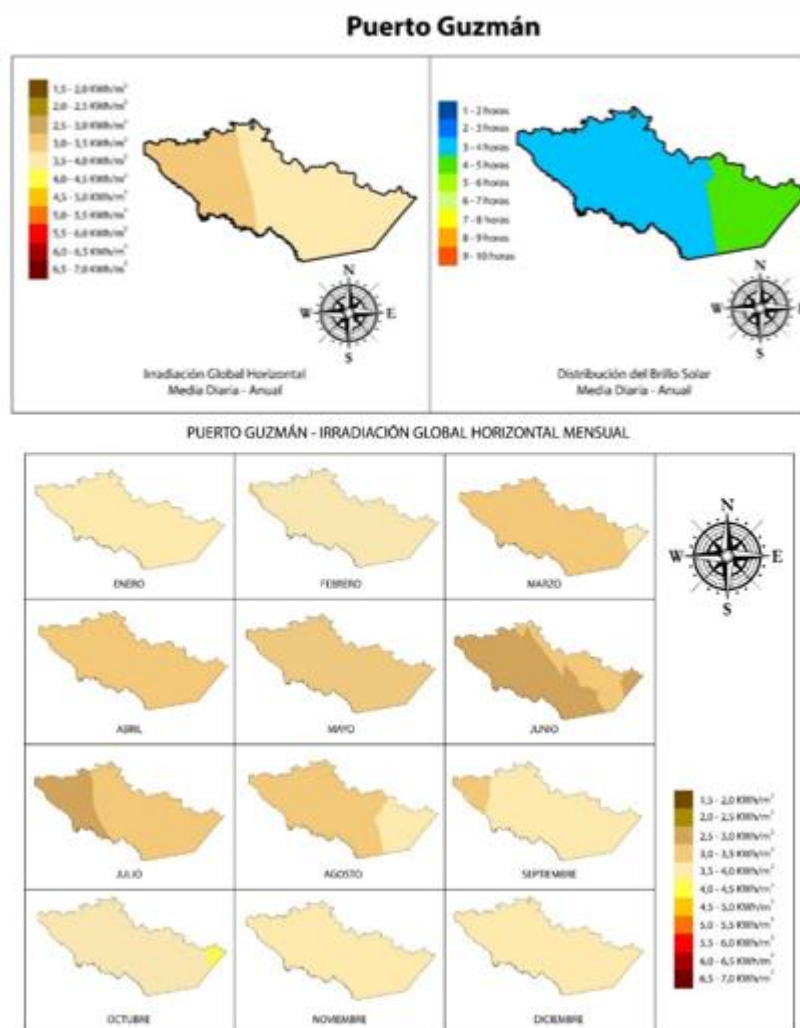


Figura 11. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Guzmán. Fuente: Propia.

3.2.1.7. Puerto Leguízamo

El municipio de Puerto Leguízamo cuenta con 46602 habitantes siendo el segundo municipio con más habitantes en un área aproximada de 10852 km² siendo el municipio con mayor extensión territorial. Posee una altura sobre el nivel del mar de 200 msnm ubicándose en la zona geográfica de planicie amazónica, y su temperatura promedio se encuentra en 26 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 12 se tiene el mapa del municipio Puerto Leguízamo con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal mínima de 3,0 a 3,5 kWh/m² y una máxima de 3,5 a 4,0 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor mínimo de 3 a 4 horas y una máxima de 4 a 5 horas promedio.



El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) en el mes de junio, y para los demás meses del año mantiene su valor promedio.

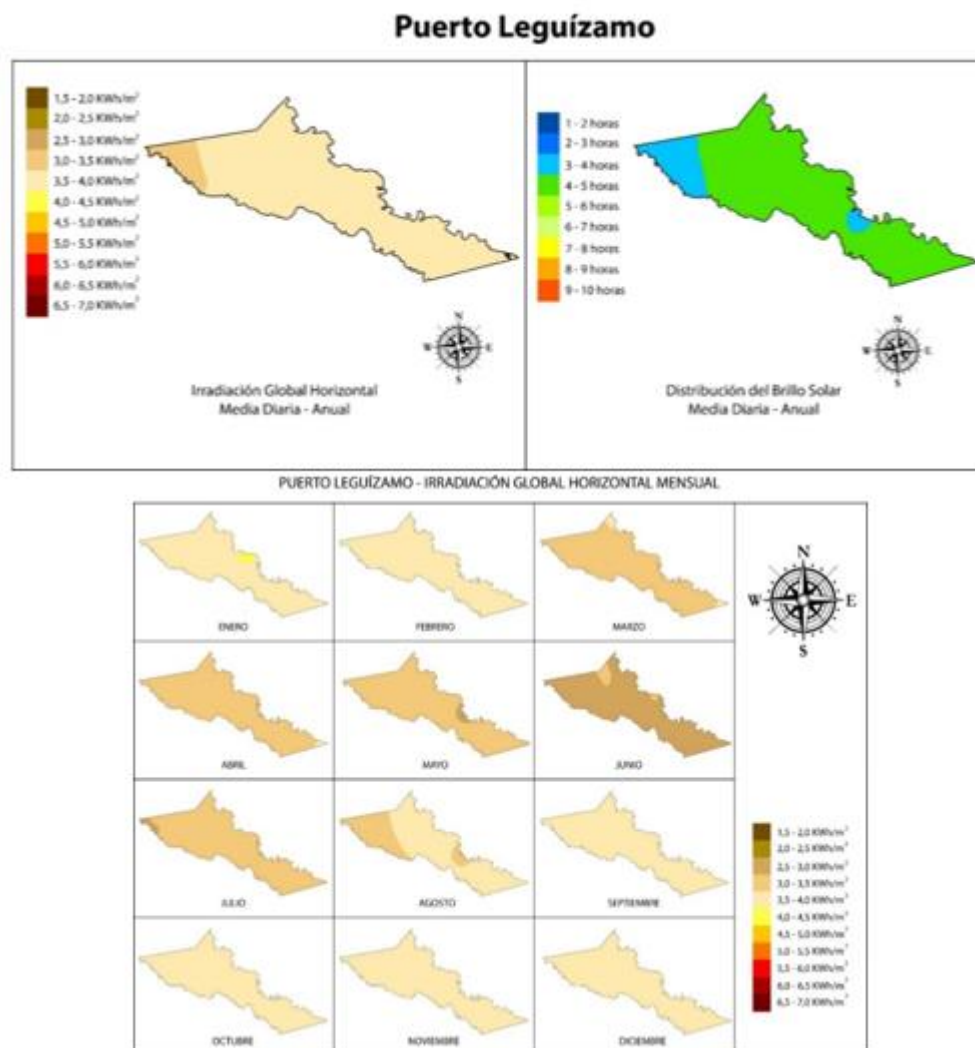


Figura 12. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Puerto Leguizamo. Fuente: Propia.

3.2.1.8. San Francisco

El municipio de San Francisco cuenta con 8177 habitantes en un área aproximada de 564 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 2180 msnm ubicándose en la zona geográfica andina y haciendo parte del grupo de los cuatro municipios más altos del departamento. Su temperatura promedio dada su altura se encuentra entre 10 a 16 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 13 se tiene el mapa del municipio San Francisco con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de



irradiación global horizontal mínima de 2,5 a 3,0 kWh/m² y una máxima de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor de 2 a 3 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) para el periodo comprendido entre los meses de mayo y agosto, y para el resto de meses mantiene dentro de los valores anteriormente mencionados.

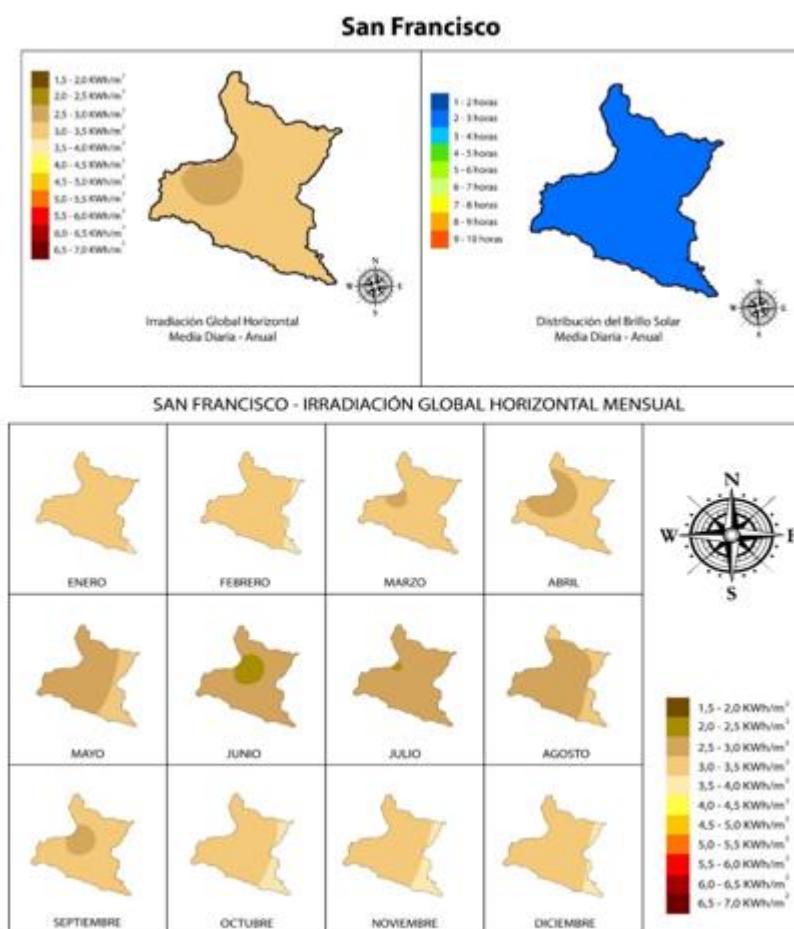


Figura 13. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de San Francisco. Fuente: Propia.

3.2.1.9. San Miguel (La Dorada)

El municipio de San Miguel cuenta con 23133 habitantes en un área aproximada de 364 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 290 msnm ubicándose en la zona geográfica de la planicie amazónica, y su temperatura promedio se encuentra en 24,5 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 14 se tiene el mapa del municipio San Miguel (La Dorada) con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor mínimo de 2 a 3 horas y una máxima de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor



valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y julio, y para los demás meses del año mantiene su valor promedio mencionado anteriormente.

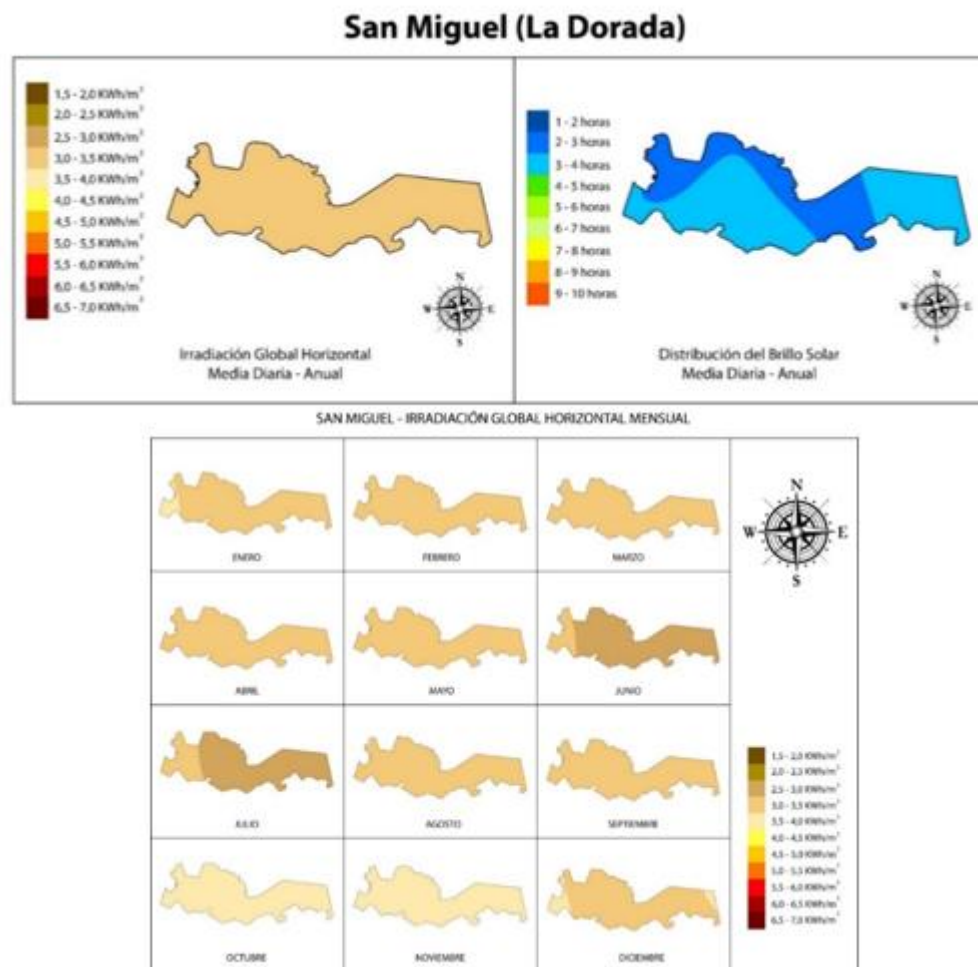


Figura 14. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de San Miguel (La Dorada). Fuente: Propia.

3.2.1.10. Santiago

El municipio de Santiago cuenta con 9453 habitantes en un área aproximada de 558 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 2100 msnm ubicándose en la zona geográfica de la cordillera andina, y su temperatura promedio se encuentra entre 10 a 16 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 15 se tiene el mapa del municipio Santiago con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor de 2 a 3 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) para el periodo comprendido



entre los meses de mayo y agosto, y para el resto de meses mantiene su valor anual mencionado anteriormente.

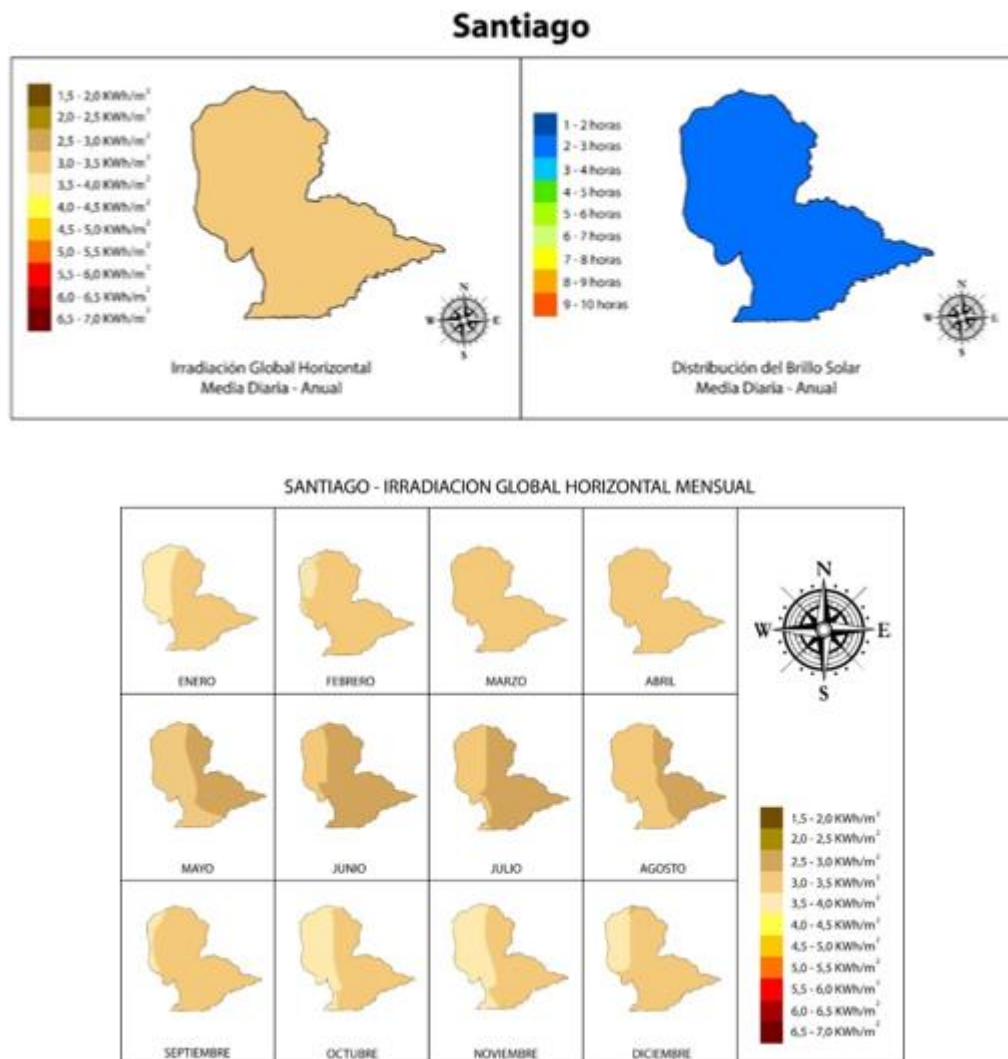


Figura 15. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Santiago. Fuente: Propia.

3.2.1.11. Sibundoy

El municipio de Sibundoy cuenta con 13464 habitantes en un área aproximada de 96 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 2150 msnm ubicándose en la zona geográfica de la cordillera andina, y su temperatura promedio se encuentra entre 10 a 16 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)



En la Figura 16 se tiene el mapa del municipio Sibundoy con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal mínima de 2,5 a 3,0 kWh/m² y una máxima de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor de 2 a 3 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) para el periodo comprendido entre los meses de mayo y agosto, y para el resto de meses mantiene su valor anual mencionado anteriormente.

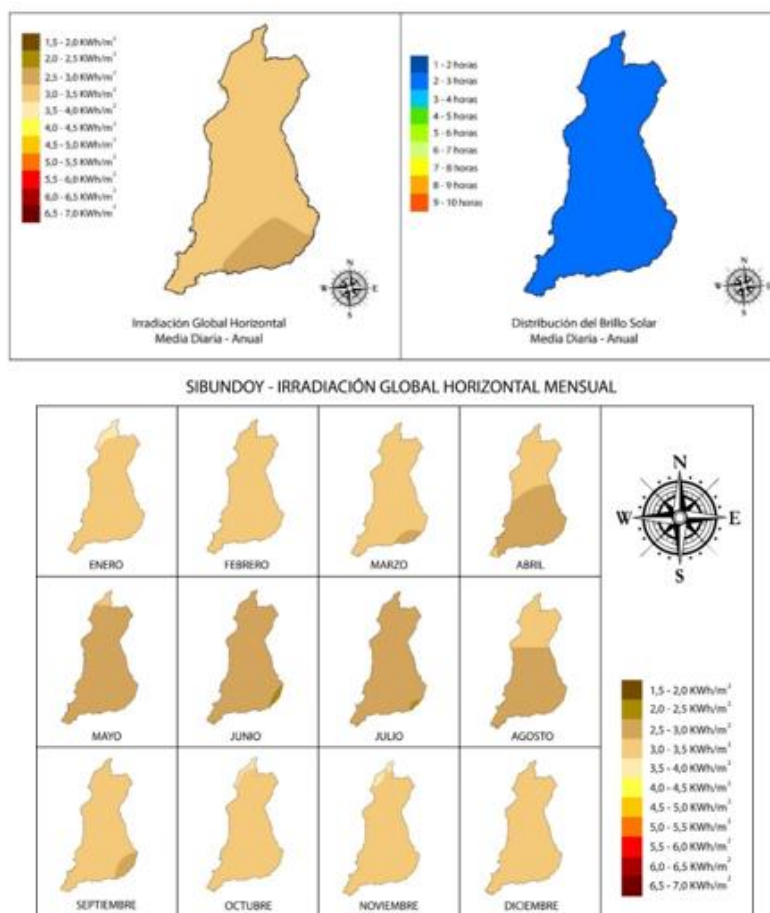


Figura 16. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Sibundoy. Fuente: Propia.

3.2.1.12. Valle del Guamuez

El municipio de valle del Guamuez cuenta con 4662 habitantes en un área aproximada de 885 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 325 msnm ubicándose en la zona geográfica de la cordillera andina, y su temperatura promedio se encuentra entre 24,5 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la Figura 17 se tiene el mapa del municipio Valle del Guamuez con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor



mínimo de 2 a 3 horas y un valor máximo de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y julio, y para los demás meses del año mantiene su valor promedio.

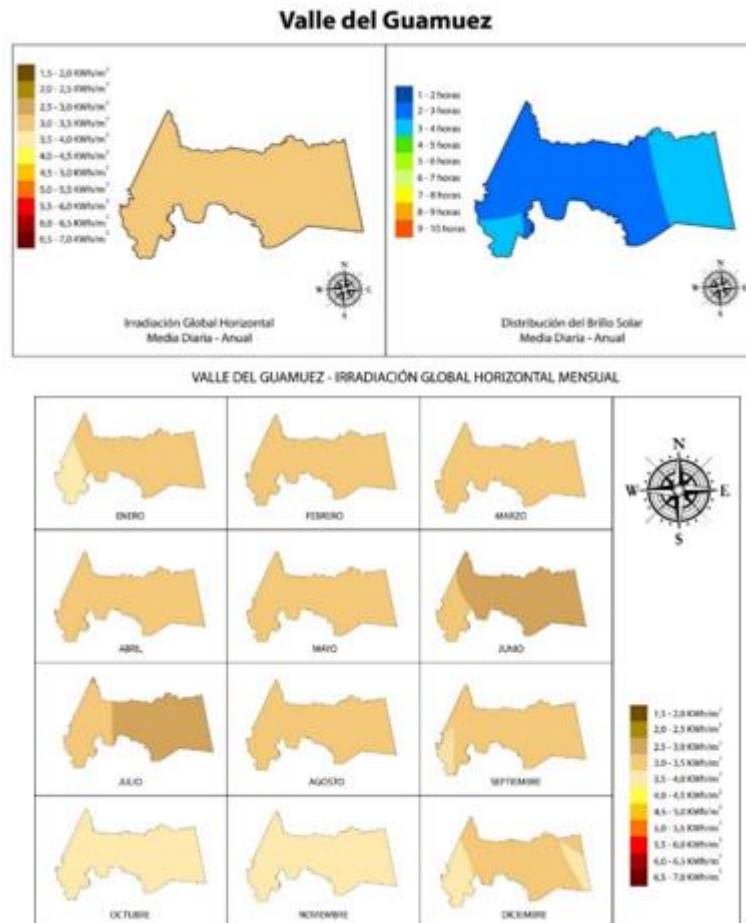


Figura 17. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Valle del Guamuez. Fuente: Propia.

3.2.1.13. Villagarzón

El municipio de Villagarzón cuenta con 13464 habitantes en un área aproximada de 1379 km². Posee una altura sobre el nivel del mar de 430 msnm ubicándose en la zona geográfica de la cordillera andina, y su temperatura promedio se encuentra entre 22 a 26 °C. (Gobernación de Putumayo, 2017)

En la figura 17 se presenta el mapa del municipio Villagarzón con análisis de irradiación solar global horizontal y distribución de brillo solar en promedio anual. En este municipio se tiene un valor de irradiación global horizontal de 3,0 a 3,5 kWh/m². Para la distribución de brillo solar tenemos un valor mínimo de 2 a 3 horas y un valor máximo de 3 a 4 horas promedio. El valor de irradiancia alcanza su menor



valor (2,5 a 3,0 kWh/m²) entre los meses de junio y julio, y para los demás meses del año mantiene su valor promedio.

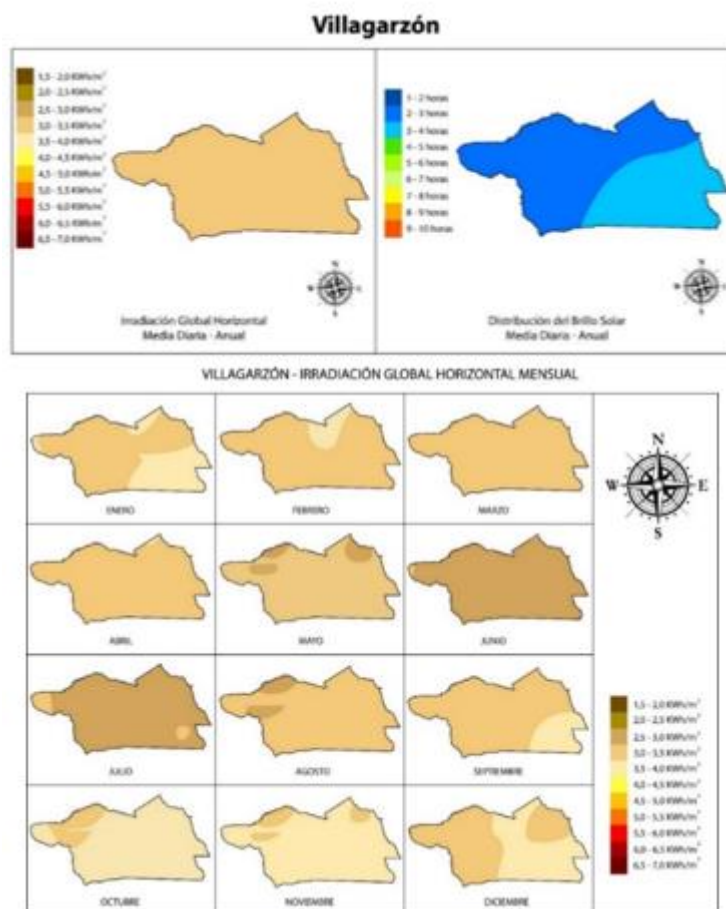


Figura 18. (Arriba) Irradiancia Global Horizontal (Izquierda) y distribución de brillo solar (Derecha); (Abajo) Irradiancia Global Horizontal Mensual para el municipio de Villagarzón. Fuente: Propia.

3.3. RESUMEN DE INFORMACIÓN OBTENIDA DEL RECURSO SOLAR

Una vez analizados los valores máximos y mínimos de las dos variables (irradiancia global y distribución de brillo solar) con las cuales se evalúa la posibilidad de una explotación de energía solar se presenta la Tabla 3 con el compilado de los valores obtenidos.

De la Tabla 3 se destacan con mayores valores los municipios de Puerto Guzmán y Puerto Leguízamo, los cuales se encuentran ubicados en la región de llanura amazónica del departamento.



Tabla 3. Tabla resumen de valores aprovechables en el departamento de Putumayo

Municipio	Irradiancia Solar Global Horizontal [kWh/m ²]		Distribución de Brillo Solar [Horas]	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Colón	3	3,5	2	3
Mocoa	3	4	2	4
Orito	3	3,5	2	4
Puerto Asís	3	4	3	4
Puerto Caicedo	3	3,5	3	4
Puerto Guzmán	3	4	3	5
Puerto Leguísimo	3	4	3	5
San Francisco	2,5	3,5	2	3
San Miguel	3	3,5	2	4
Santiago	3	3,5	2	3
Sibundoy	2,5	3,5	2	3
Valle del Guamuez	3	3,5	2	4
Villagarzón	3	3,5	2	4

Fuente: Propia

Si bien los dos municipios resaltados en la Tabla 3 por ser los más altos dentro del departamento no son los más alentadores, se debe tener en cuenta que 3500 Wh/m² de energía promedio irradiando sobre un metro cuadrado durante 4 horas equivalentes en promedio al día, es una energía que un sistema fotovoltaico puede aprovechar y más aún si se tiene en cuenta que estas zonas hacen parte de las zonas no interconectadas al SIN¹ (DNP, 2016).

Para el recurso solar los valores resaltados se presentan en la Tabla 4 donde destacan dos (2) municipios con los valores de irradiancia global horizontal y brillo solar más altos del departamento.

Tabla 4. Municipios con mejores valores de recurso solar.

Municipio	Irradiancia Solar Global Horizontal [kWh/m ²]		Distribución de Brillo Solar [Horas]	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Puerto Guzmán	3	4	3	5
Puerto Leguísimo	3	4	3	5

Fuente: Propia

¹ SIN (Sistema Interconectado Nacional): Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios (XM Expertos en mercados, 2017).

Finalmente, con el fin de sintetizar la información encontrada en la Tabla 3 se encuentran las siguientes figuras.

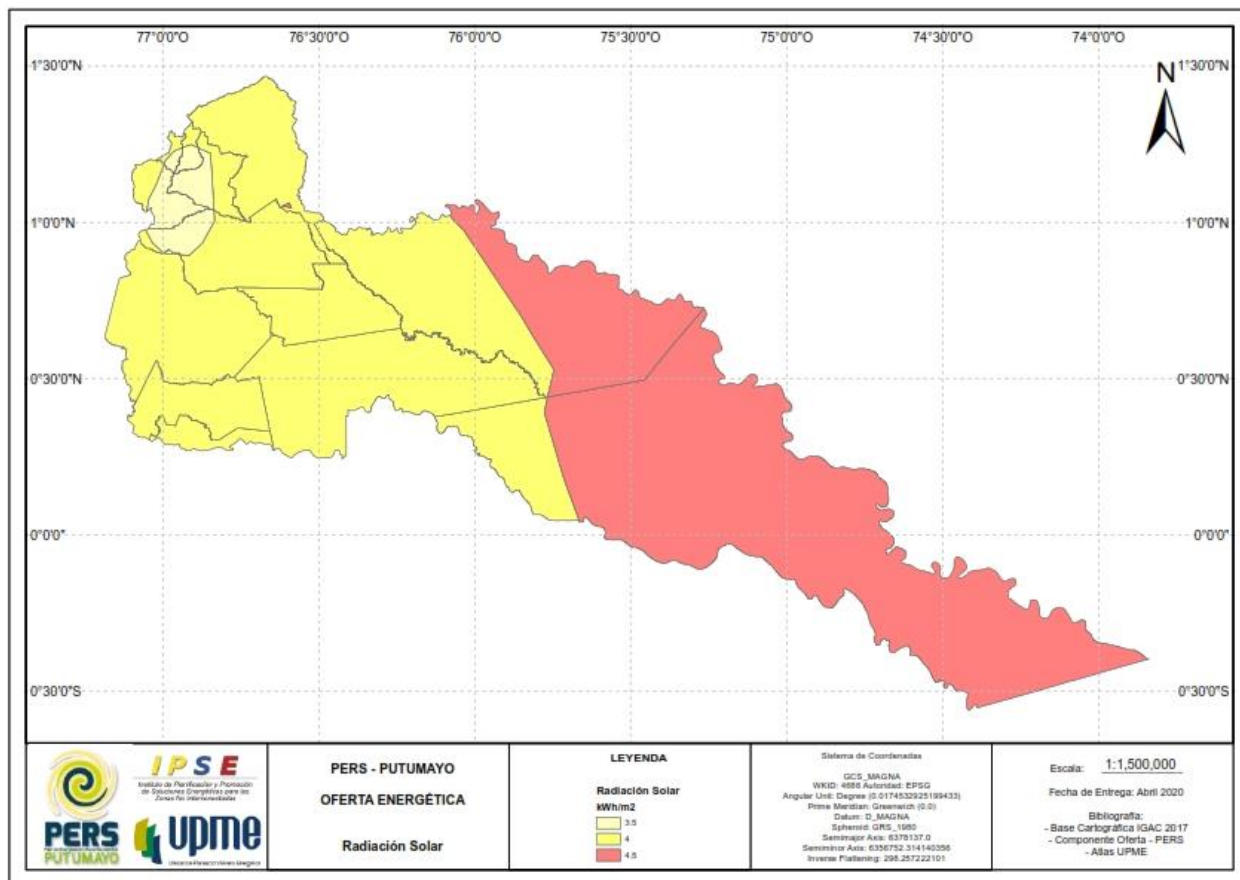


Figura 19. Irradiancia solar del departamento del Putumayo: Fuente: Propia.

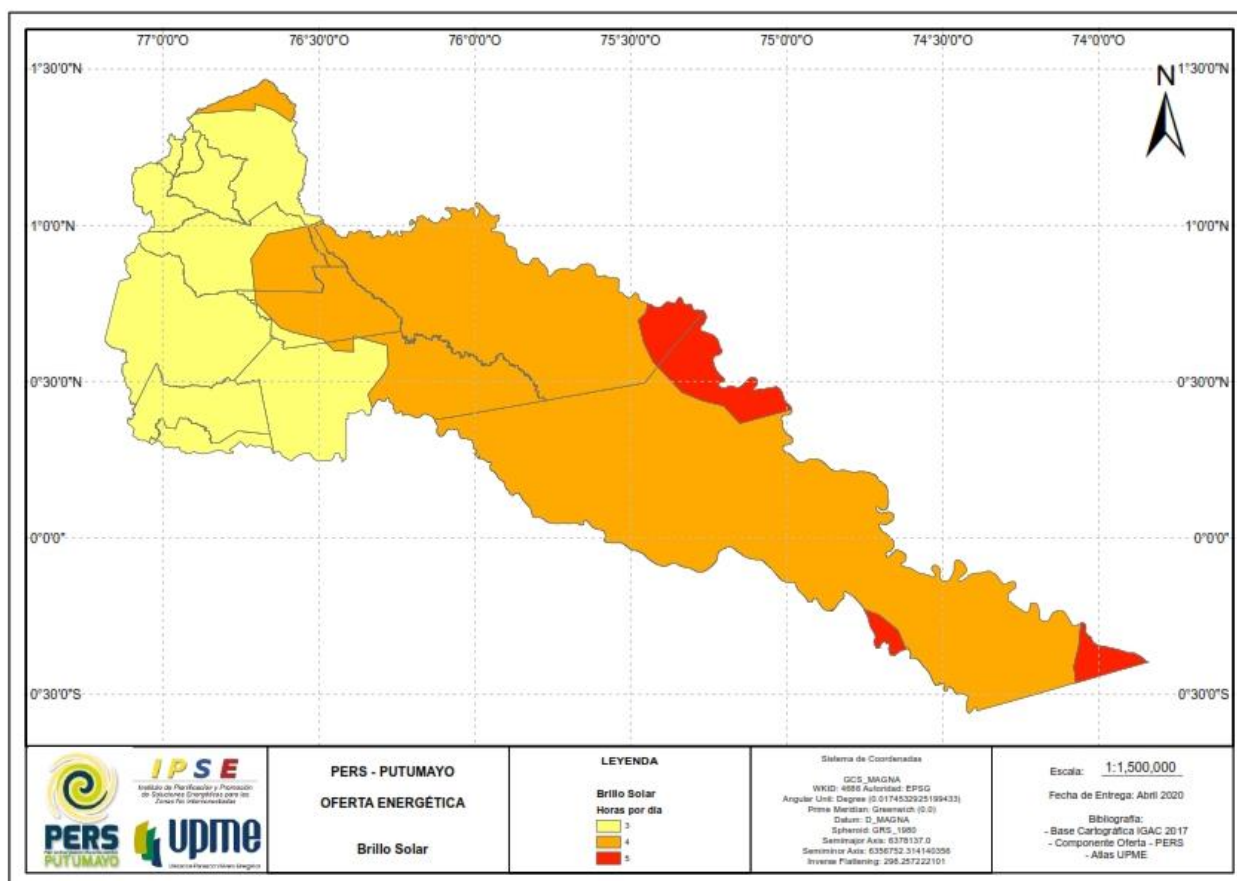


Figura 20. Horas de brillo solar del departamento del Putumayo: Fuente: Propia.



4. ENERGÍA EÓLICA

4.1. METODOLOGÍA PARA RECONOCIMIENTO DE POTENCIAL EÓLICO

Para realizar la cuantificación de la cantidad de energía que se puede llegar a producir el recurso del viento en el departamento de Putumayo es necesario tener datos mediante la medición de las variables (velocidad y dirección del viento) que influyen directamente en el proceso de generación de energía, con el fin de poder caracterizar el recurso para su posterior cuantificación. Como insumo principal de este estudio se ha tomado lo realizado por el IDEAM en apoyo de la UPME en el Atlas de Viento y Energía Eólica en Colombia.

38

Dentro de la información del atlas interactivo se usaron los mapas de velocidad promedio del viento anual que son las variables principales para la producción de energía eólica. Además, se contempla el promedio del año con lo que se puede establecer un mínimo promedio anual y un máximo promedio anual, así como una tolerancia que finalmente ayuda a determinar el mínimo aprovechamiento. Adicional, se tuvo en cuenta la velocidad del viento a tres alturas (10 metros; 50 metros; 150 metros) diferentes para dejar en evidencia que a más altura se puede tener un nivel aprovechamiento mayor. Sin embargo, esto conlleva a invertir en tecnologías que alcancen las alturas mayores (Ver Anexo 2: Mapas de Colombia de la velocidad promedio del viento a una altura de 10, 50 y 150 metros de altura y mapa de la dirección del viento).

4.2. POTENCIAL ENERGÉTICO EÓLICO EN EL DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO

En la Figura 19 se tiene la velocidad promedio anual tomada a 10 m de altura para el departamento del Putumayo. En color verde la velocidad entre 0-2m/s, en color azul claro la velocidad entre 4-5 m/s, en amarillo claro 8-9m/s y en naranja las velocidades mayores a 13m/s. Como se puede observar, los municipios con mayor velocidad promedio del departamento se encuentran ubicados en el sector occidental, más precisamente en los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy, San Francisco y parte de Mocoa, debido a que hacen parte de la zona geográfica de la cordillera andina (Gobernación Putumayo, 2017), zona en la cual predominan altos registros de velocidad promedio. Por otra parte, las zonas con menor velocidad promedio son un común denominador en el territorio de Putumayo dado que pertenecen a la zona conocida como la gran planicie amazónica (Gobernación Putumayo, 2017).

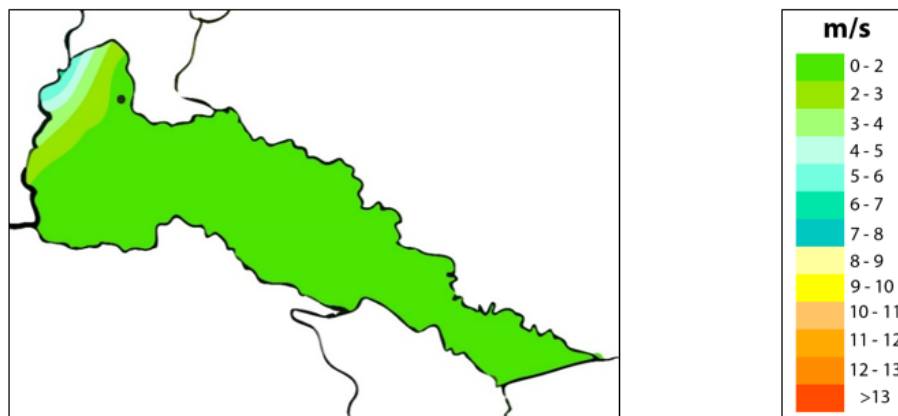


Figura 21. Velocidad del viento promedio en el departamento del Putumayo a 10 m de altura. Adaptado de Atlas del Viento Interactivo IDEAM. Fuente: Propia

En la Figura 20, se muestra el comportamiento de la velocidad promedio del viento a una altura de 50 m en donde se mantiene un comportamiento similar a la altura de 10 m. Sin embargo, los municipios predominantes de la zona occidental aumentan su velocidad promedio debido a que a mayor altura se obtiene una velocidad promedio de viento mayor. En la planicie amazónica se sigue evidenciando una ausencia de valores significativos aun cuando aumenta la altura de medición.



Figura 22. Velocidad del viento promedio en el departamento del Putumayo a 50 m de altura. Adaptado de Atlas del Viento Interactivo IDEAM. Fuente: Propia.

Al incrementar la altura a 250 m (ver Figura 23), se tiene que para todo el territorio se garantizaría una velocidad promedio de 4 m/s con lo cual se cumpliría con el valor mínimo para instalar un hipotético aprovechamiento de potencial eólico, pero con la limitante de la altura. Sin embargo, es importante resaltar características como estas para estimar que condiciones se tienen en el departamento.

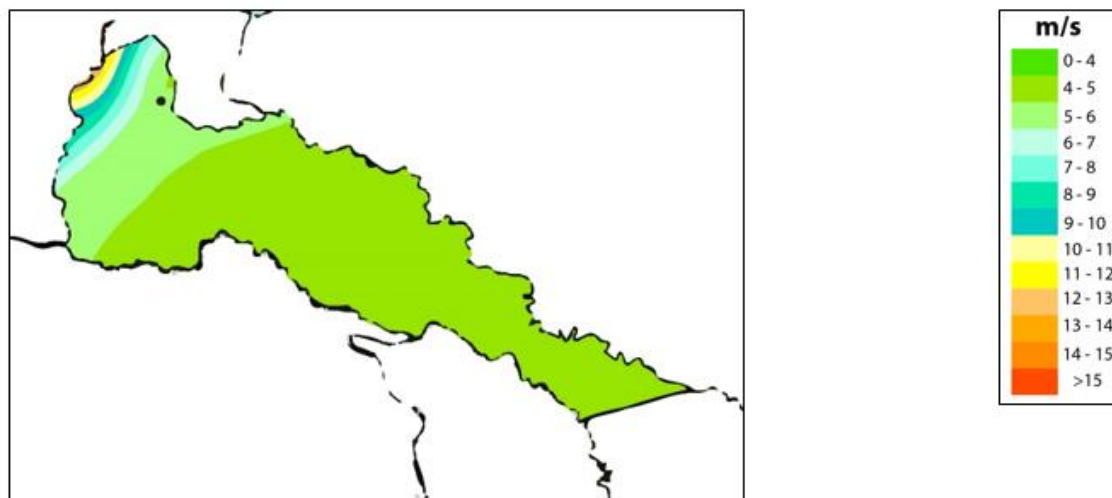


Figura 23. Velocidad del viento promedio en el departamento del Putumayo a 250 m de altura. Adaptado de Atlas del Viento Interactivo IDEAM. Fuente: Propia.

En la Tabla 5 se muestra en análisis general del departamento, y se destaca el incremento de la máxima velocidad del viento promedio con respecto a la altura, visto en las anteriores figuras.

Tabla 5. Máxima velocidad del viento promedio en el Departamento

Municipios de Putumayo	Altitud [msnm]	Máxima velocidad del viento promedio [m/s]		
		10 m de altura	50 m de altura	250 m de altura
Colón	2100	6	9	12
Mocoa	650	6	9	12
Orito	350	4	5	9
Puerto Asís	250	2	4	6
Puerto Caicedo	230	2	4	6
Puerto Guzmán	280	2	4	6
Puerto Leguísimo	200	2	4	5
San Francisco	2180	5	8	11
San Miguel	290	2	4	6
Santiago	2100	6	9	12
Sibundoy	2150	6	9	12
Valle del Guamuez	325	2	4	6
Villagarzón	430	4	6	9

Fuente: Propia.

4.2.1. Potencial energético eólico por municipio

A continuación, se presenta un análisis específico de cada uno de los municipios del departamento de Putumayo, el cual cuenta con mapas de velocidad promedio del viento y dirección del viento por cada uno de estos.

4.2.1.1. *Colón*

En la Figura 24 se tiene el mapa del municipio Colón con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 4-5 m/s y una máxima de 10-11 m/s teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. Se resalta que a una altura de 10 m se tiene como velocidad promedio mínima 4-5 m/s y una máxima de 5-6 m/s.

41

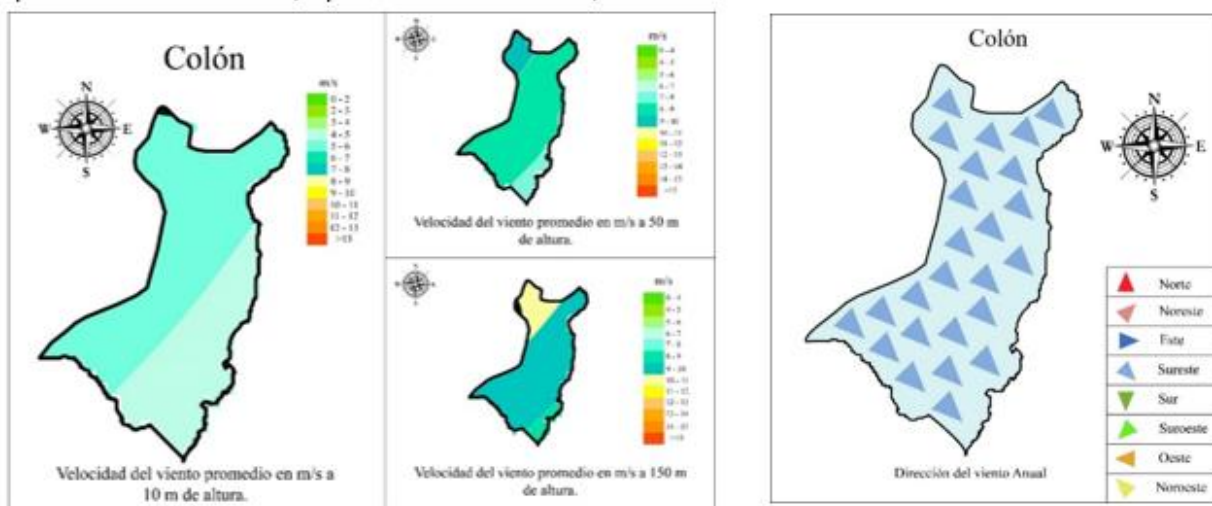


Figura 24. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Colón a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Colón. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene vientos provenientes del norte del departamento del Putumayo con tendencia de recorrer el municipio en dirección hacia el sureste de acuerdo a la zona de cordillera andina predominante en su ubicación.

4.2.1.2. *Mocoa*

En la Figura 25 se tiene el mapa del municipio de Mocoa con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio se evidencia un valor de velocidad promedio mínima de 0-4 m/s y una máxima de 9-10 m/s teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 0-4 m/s y una máxima de 5-6 m/s.

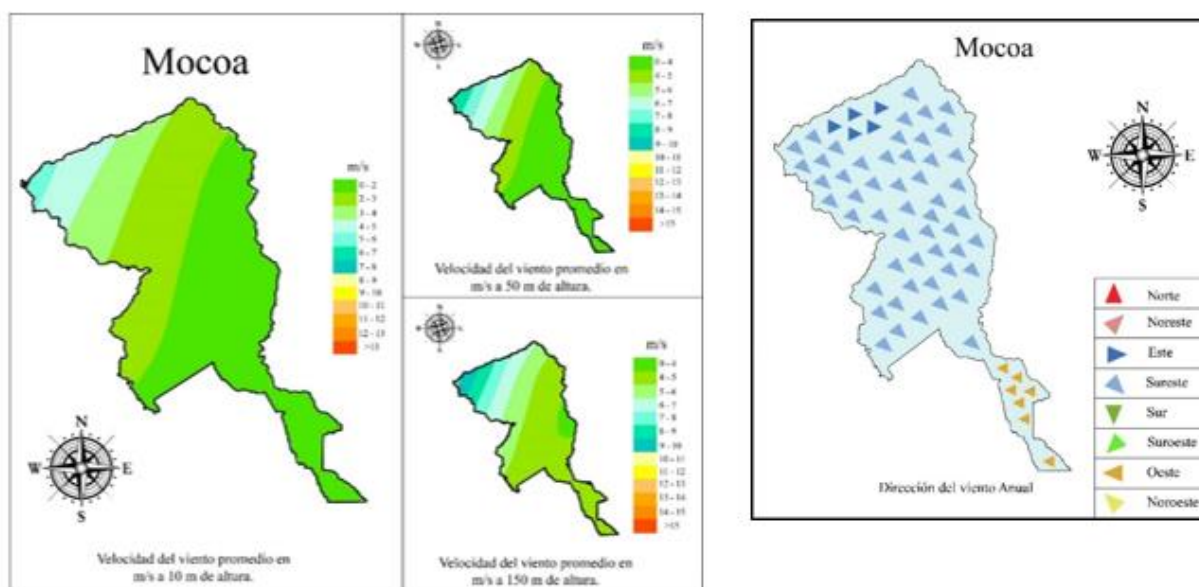


Figura 25. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Mocoa a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Mocoa. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene un viento proveniente del norte del departamento con tendencia a desplazarse por la zona de la cordillera andina en dirección hacia el suroeste del municipio. Adicionalmente, existen vientos con tendencia hacia el oeste en la parte suroriental del municipio debido a que en este punto se presenta una convergencia de las dos zonas geográficas presentes en el departamento de Putumayo, que son la zona de la cordillera andina y la zona de planicie amazónica.

4.2.1.3. Orito

En la Figura 24, se tiene el mapa del municipio de Orito con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 6-7 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 0-2 m/s y una máxima de 3-4 m/s.

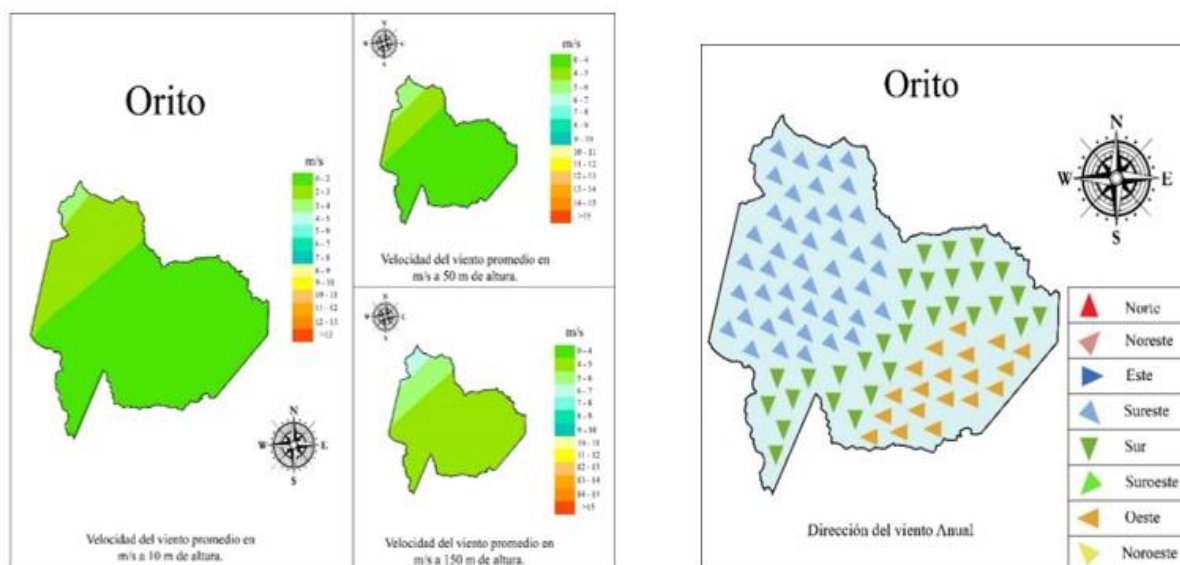


Figura 26. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Orito a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Orito. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene dos corrientes de viento que se suman provenientes del noroeste y del este, obteniendo como resultante se un flujo constante hacia el sur del municipio.

4.2.1.4. Puerto Asís

En la Figura 27 se tiene el mapa del municipio de Puerto Asís con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio 0-2 m/s.

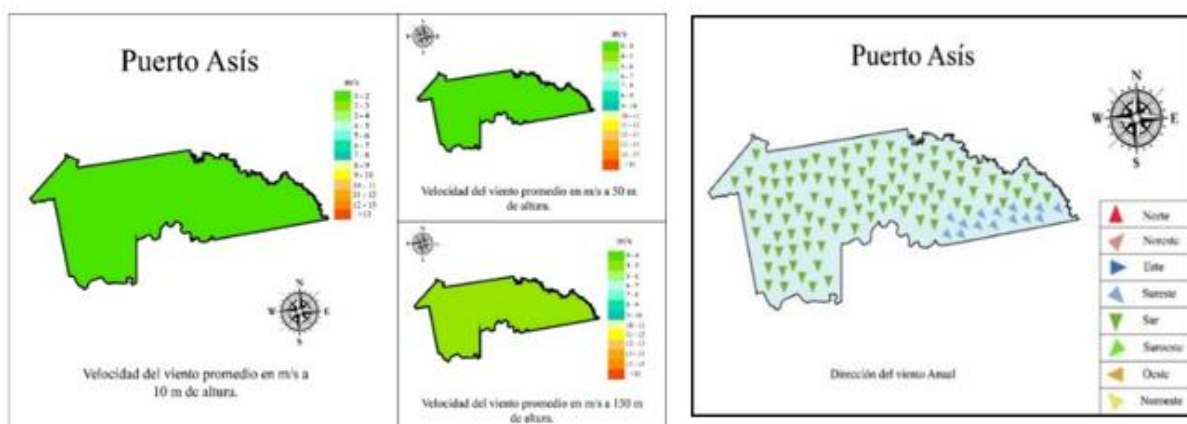


Figura 27. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Asís a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Asís. Fuente: Propia.



Para este municipio se tienen vientos predominantes hacia el sur del departamento, con unas desviaciones del viento hacia el sureste del municipio debido a la planicie amazónica donde se encuentra ubicado el municipio.

4.2.1.5. Puerto Caicedo

En la Figura 28 se tiene el mapa del municipio de Puerto Caicedo con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio se tiene un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio 0-2 m/s.

44

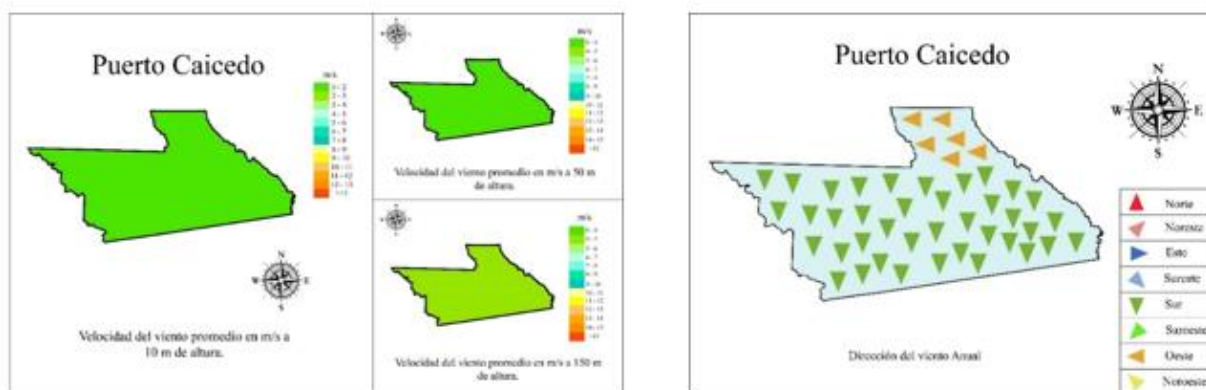


Figura 28. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Caicedo en 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Caicedo. Fuente: Propia.

El municipio tiene vientos con dirección al sur del departamento debido a que se encuentra en la transición de cambio de zonas entre la zona de la cordillera andina y la planicie amazónica.

4.2.1.6. Puerto Guzmán

En la Figura 29 se tiene el mapa del municipio de Puerto Guzmán con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura donde se tiene como velocidad promedio 0-2 m/s.

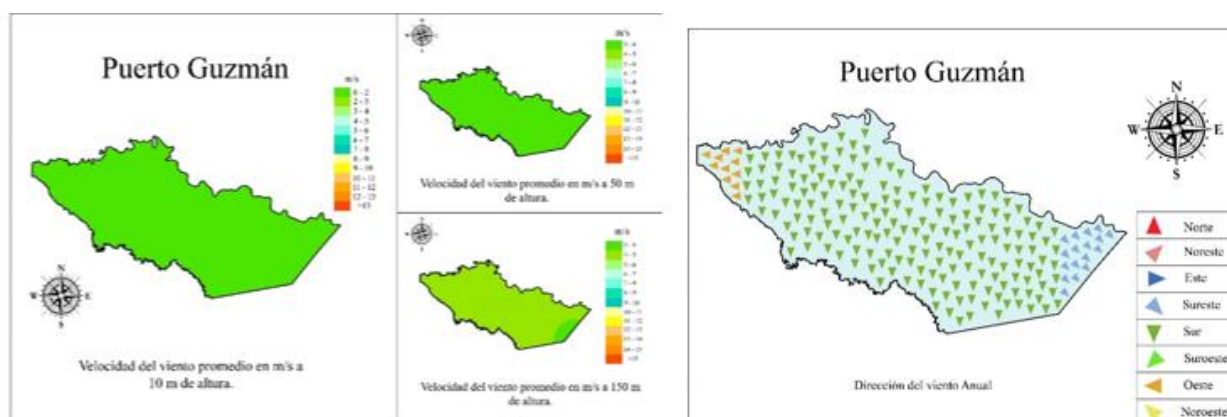


Figura 29. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Guzmán a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Guzmán. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene un viento predominante que circula de Norte hacia el Sur atravesando de manera horizontal todo el territorio.

4.2.1.7. Puerto Leguízamo

En la Figura 30 se tiene el mapa del municipio de Puerto Leguízamo con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio 0-2 m/s.

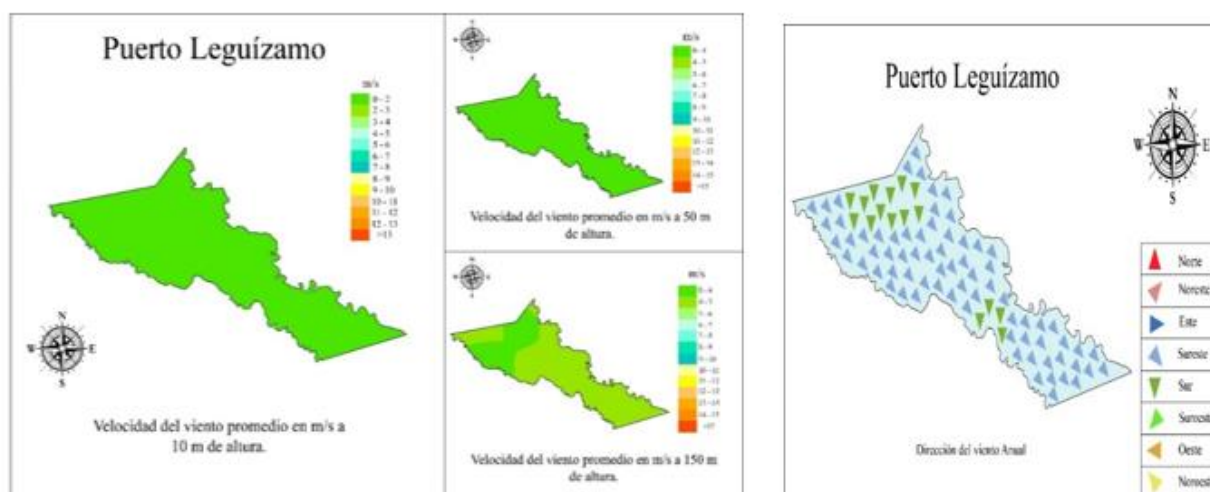


Figura 30. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Puerto Leguízamo a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Puerto Leguízamo. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene un flujo de vientos con dirección predominante hacia el sureste del departamento, dada la ubicación completa sobre la zona geográfica de planicie amazónica.

4.2.1.8. San Francisco

En la Figura 31 se tiene el mapa del municipio de San Francisco con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 8-9 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 50 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 2-3 m/s y una máxima de 4-5 m/s.

46

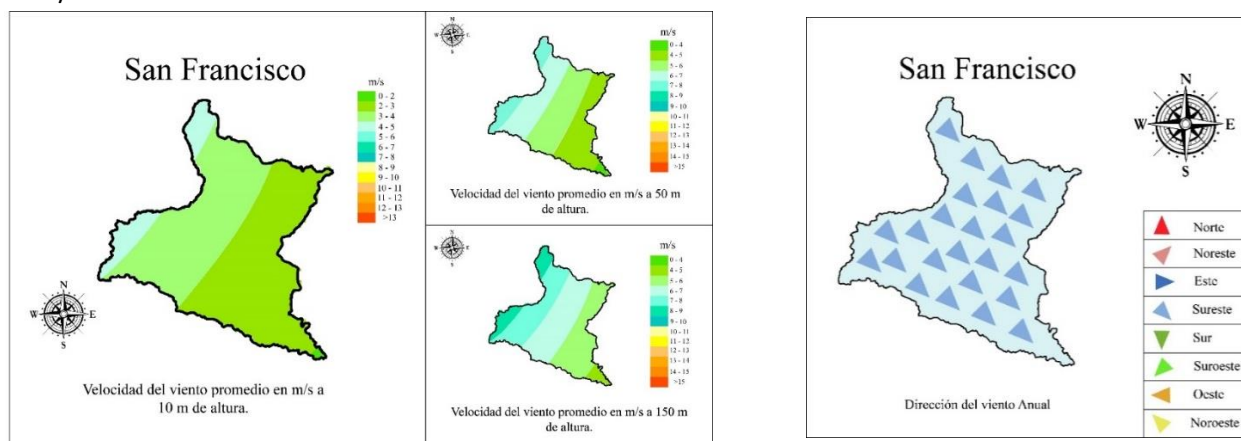


Figura 31. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en San Francisco a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de San Francisco. Fuente: Propia

Para este municipio se tiene predominio de vientos hacia el suroeste del municipio debido a la zona de transición de cordillera andina a planicie amazónica presente en el departamento.

4.2.1.9. San Miguel (La Dorada)

En la Figura 32 se tiene el mapa del municipio de San Miguel con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio 0-2 m/s.

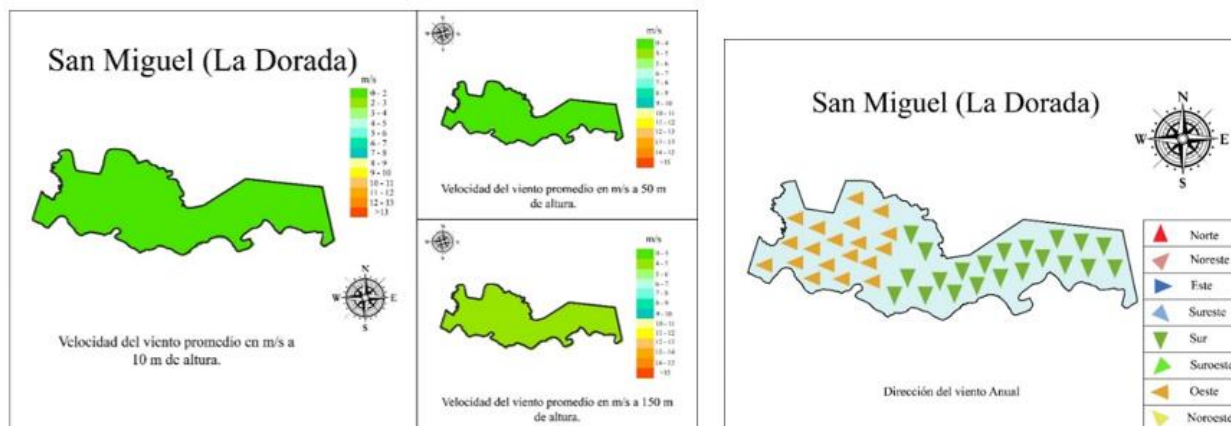


Figura 32. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en San Miguel a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de San Francisco. Fuente: Propia.

Para este municipio se tienen vientos que salen del país por el sur debido a su ubicación, con vientos que vienen del interior del departamento.

4.2.1.10. Santiago

En la Figura 33 se tiene el mapa del municipio de Santiago con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 2-3 m/s y una máxima de 10-11 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 2-3 m/s y una máxima de 5-6 m/s.

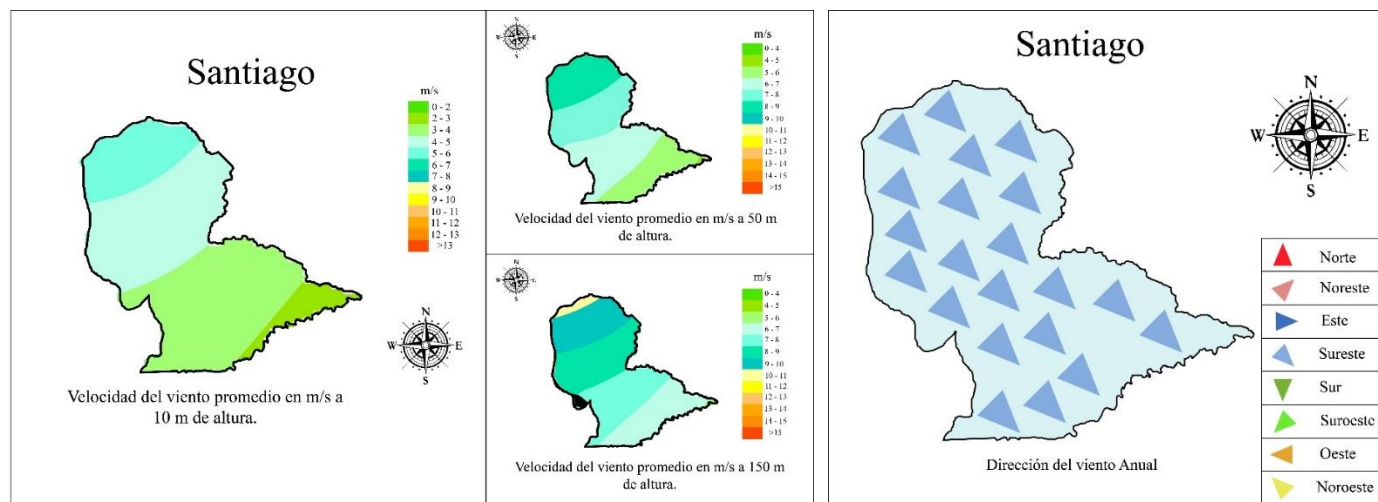


Figura 33. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Santiago a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Santiago. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene flujo de viento predominante hacia el sureste del municipio debido a que se encuentra en plena zona de cordillera andina.

4.2.1.11. Sibundoy

En la Figura 34 se tiene el mapa del municipio de Sibundoy con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 3-4 m/s y una máxima de 9-10 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima 3-4 m/s y una máxima de 5-6 m/s.

48

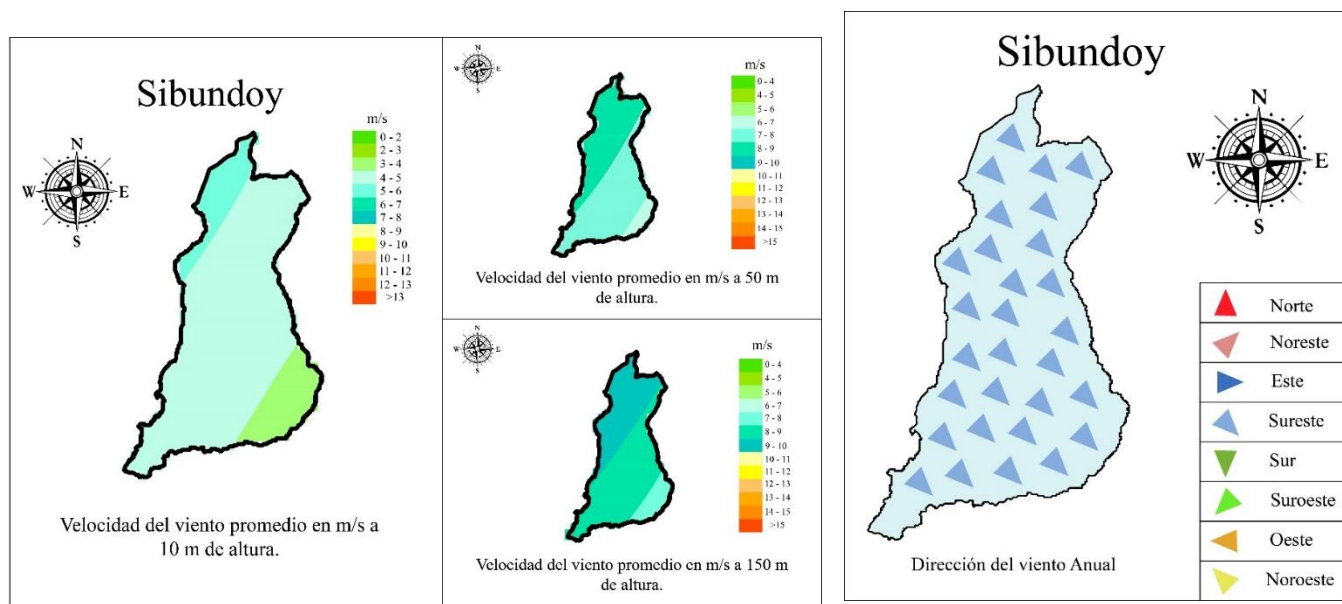


Figura 34. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Sibundoy a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Sibundoy. Fuente: Propia.

Para este municipio se tiene flujo de viento predominante hacia el sureste del municipio debido a que se encuentra dentro de la zona de cordillera andina.

4.2.1.12. Valle del Guamuez

En la Figura 35 se tiene el mapa del municipio de Valle del Guamuez con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 4-5 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio 0-2 m/s.

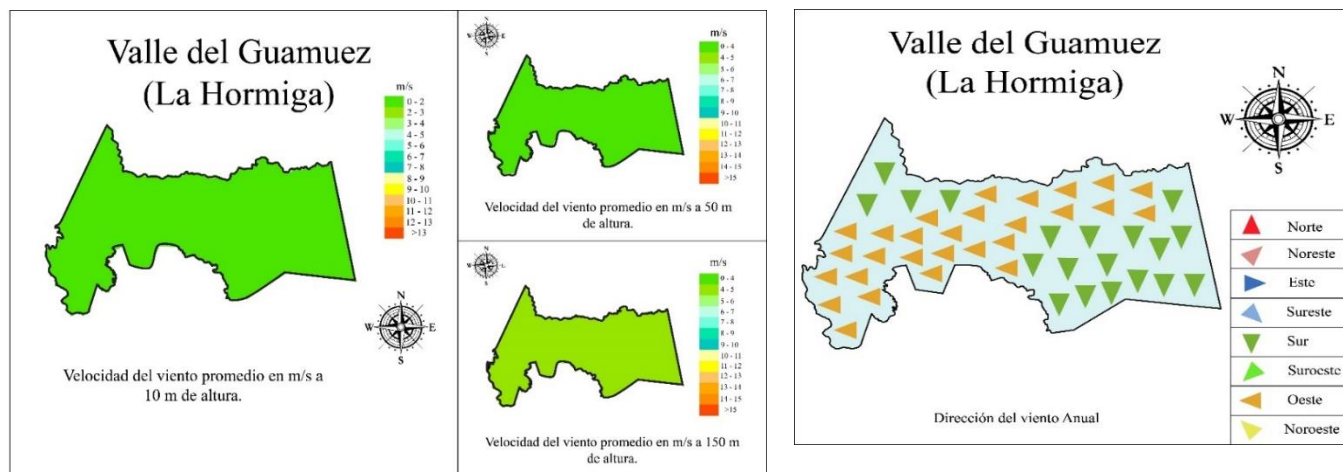


Figura 35. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Valle del Guamuez a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Valle del Guamuez. Fuente: Propia.

Se encuentra predominio de vientos que salen hacia el departamento de Nariño por el oeste del municipio, algunos de estos vientos continúan su recorrido por el sur.

4.2.1.13. Villagarzón

En la Figura 36 se tiene el mapa del municipio de Villagarzón con análisis de velocidad de viento promedio a una altura de 10 m, 50 m y 150 m. En este municipio existe un valor de velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y una máxima de 7-8 m/s, teniendo en cuenta que ésta máxima se presentaría en una altura de 150 m. A 10 m de altura se tiene como velocidad promedio mínima de 0-2 m/s y máxima de 3-4 m/s.

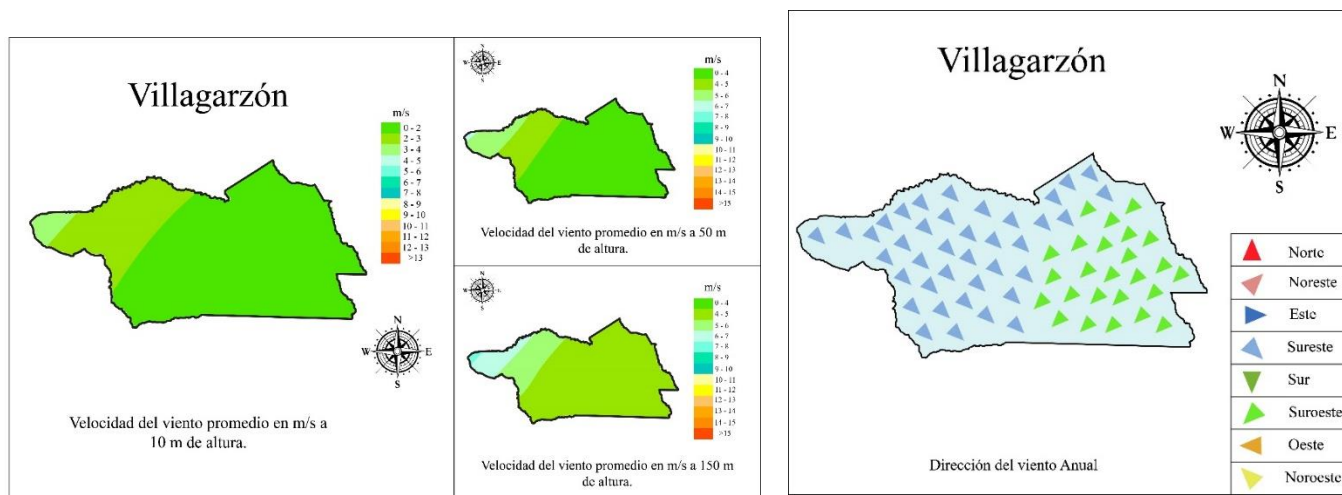


Figura 36. (Izquierda) Velocidad del viento promedio en Villagarzón a 10 m, 50 m y 150 m de altura, (Derecha) Dirección probable del viento en el municipio de Villagarzón. Fuente: Propia.

El comportamiento del viento en este municipio desencadena los flujos al sur en los municipios que se encuentran ubicados al inferior (sur) de Villagarzón, debido a la convergencia de los flujos de viento provenientes del noroeste y noreste del municipio.

4.2.2. Resumen de información obtenida del recurso Eólico

En la Tabla 6 se resumen las velocidades de viento tomadas a 10 y 150 m de altura para los 13 municipios en los cuales está dividido el departamento de Putumayo. Dentro de éstos se hace un enfoque especial en la velocidad promedio del viento medida para una altura de 10 m sobre el nivel del suelo ya que es la más usada para realizar una proyección de un parque eólico (Villarubia López, 2013). Si se sabe que para mover una turbina eólica se requiere de una velocidad del viento de mínimo de 3-4 m/s (Villarubia López, 2013), comparando el promedio máximo de los municipios de Putumayo se alcanzaría a tener una generación eólica teóricamente constante. Sin embargo, se debe mencionar que estos valores consignados en ésta tabla corresponden a velocidades medidas en sectores específicos de cada uno de los municipios mas no del municipio en su totalidad, y por consiguiente, existen zonas donde el valor mínimo de velocidad promedio por municipio es menor a 3 m/s, lo que podría generar incertidumbre a la hora de generar energía.

Tabla 6. Resumen de análisis de Velocidad de viento promedio aprovechable en Putumayo.

Municipio	Velocidad de Viento Promedio a una altura de 10 m		Velocidad de Viento Promedio a 150 m de altura	Viento con dirección predominante [%]							
	Mín. [m/s]	Máx. [m/s]	Máx. [m/s]	N	S	E	O	SE	SO	NE	NO
Colón	4	5	11	-	-	-	-	100	-	-	-
Mocoa	0	4	10	-	-	8	9	83	-	-	-
Orito	0	2	7	-	33	-	20	47	-	-	-
Puerto Asís	0	2	5	-	87	-	-	13	-	-	-
Puerto Caicedo	0	2	5	-	86	-	14	-	-	-	-
Puerto Guzmán	0	2	5	-	86	-	6	8	-	-	-
Puerto Leguízamo	0	2	5	-	18	-	-	82	-	-	-
San Francisco	2	3	9	-	-	-	-	100	-	-	-
San Miguel	0	2	5	-	52	-	48	-	-	-	-
Santiago	2	3	11	-	-	-	-	100	-	-	-
Sibundoy	3	4	10	-	-	-	-	100	-	-	-
Valle del Guamuez	0	2	5	-	40	-	60	-	-	-	-

Villagarzón	0	2	8	-	-	-	62	-	38	-	-
Promedio	0,7	2,33	6,4								

Fuente: Propia.

El potencial eólico del departamento, sin embargo, no es completamente desalentador. Por el contrario, existen dos (2) municipios en los que su velocidad de viento mínima se encuentra en 3 m/s (Colón, Sibundoy) y dos (2) con una velocidad mínima de 2 m/s (Santiago, San Francisco), que, si bien no cumplen con el valor mínimo requerido, presentan vientos constantes que permitiría reevaluar las mediciones para encontrar su punto de aprovechamiento óptimo. Se concluye entonces que estas podrían ser zonas interés para gestar proyectos de energía eólica.

51

Adicionalmente, en la Tabla 6 se destaca una columna en la cual se hace muestra porcentualmente la dirección del viento que predomina sobre el total porcentual en el municipio, de lo cual se resaltan los vientos provenientes de la zona de cordillera de andina haciendo que el mayor porcentaje de vientos presente en los municipios tenga tendencia a dirigirse hacia el sureste y el sur del país.

4.2.2.1. *Cálculo de densidad de potencia por municipio*

Una vez analizados los mapas y contenidos los datos en la Tabla 7 se procede a realizar la cuantificación de la energía disponible por municipio usando la fórmula de densidad de potencia (UPME IDEAM, 2006), de lo cual se obtuvo la siguiente tabla general.

En la Tabla 7 se puede evidenciar que los cuatro municipios con presencia constante de viento son Colón, San Francisco, Santiago y Sibundoy, y de los cuales dos (Colón y Sibundoy) poseen una densidad de potencia que no es desalentadora para el municipio, y por el contrario permitiría pensar en un aprovechamiento, teniendo en cuenta que estas soluciones energéticas deben ser orientadas en primera mano hacia las personas que no tienen acceso a energía eléctrica.

Si bien existe una posibilidad de implementar proyectos de energía eólica en pequeña escala en estos municipios es importante conocer la realidad en cuanto a cobertura de energía eléctrica, demanda, vivienda, entre otros factores los cuales son determinantes para llamar la atención con estas soluciones.



Tabla 7. Densidad de potencia aprovechable por municipio a 10 m de altura.

Municipio de Putumayo	Área superficial [km ²]	Altitud [msnm]	Temperatura promedio [°C]		Densidad del aire [kg/m ³] ²		Velocidad del viento promedio a una altura de 10 m [m/s]		Densidad de potencia [W/m ²] ³		Densidad de potencia total del municipio [MW]	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Colón	74	2100	10	16	0,972	0,952	4	5	31,1	59,5	2,3	4,4
Mocoa	1224	650	20	25	1,115	1,096	0	4	0,0	35,1	0,0	43
Orito	1929	350	25	25	1,136	1,136	0	2	0,0	4,5	0,0	8,7
Puerto Asís	2859	250	24	27	1,153	1,142	0	2	0,0	4,6	0,0	13,0
Puerto Caicedo	863	230	24	26	1,156	1,148	0	2	0,0	4,6	0,0	3,9
Puerto Guzmán	4579	280	25	26	1,145	1,141	0	2	0,0	4,6	0,0	21
Puerto Leguizamó	10852	200	26	26	1,152	1,152	0	2	0,0	4,6	0,0	50
San Francisco	564	2180	10	16	0,963	0,943	2	3	3,9	12,7	2,2	7,2
San Miguel	364	290	24,5	24,5	1,146	1,146	0	2	0,0	4,6	0,0	1,6
Santiago	558	2100	10	16	0,972	0,952	2	3	3,9	12,8	2,2	7,2
Sibundoy	96	2150	10	16	0,96	0,94	3	4	13,0	30,3	1,2	2,9
Valle del Guamuez	885	325	24,5	24,5	1,14	1,14	0	2	0,0	4,6	0,0	4,0
Villagarzón	1379	430	22	26	1,13	1,12	0	2	0,0	4,5	0,0	6,1

Fuente: Propia.

Para el recurso eólico, los valores encontrados se pueden ver en la Tabla 8, donde se destacan los cuatro (4) municipios con los valores de densidad de potencia más altos para el departamento.

² Densidad del aire: Para obtener de forma directa de la densidad del aire, se mide la masa y el volumen por separado y posteriormente se calcula la densidad. Adicionalmente, puede determinarse de forma indirecta conociendo los parámetros como temperatura, altura sobre el nivel del mar (Villarubia López, 2013). Se usa la siguiente fórmula:

$$\rho = 1,225 \left(\frac{288}{t + 273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435} \right)} \left[\text{kg/m}^3 \right]$$

Donde ρ es la densidad del aire, t es la temperatura promedio del lugar en grados centígrados y h la altura sobre el nivel del mar.

³ Densidad de potencia: dado que el viento tiene una energía cinética implícita, se puede calcular la cantidad de potencia que existe en el aire mediante la siguiente ecuación (UPME IDEAM, 2006):

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \left[\text{W/m}^2 \right]$$

Donde P/A es la densidad de potencia, ρ es la densidad del aire, v es la velocidad promedio del viento.



Tabla 8. Municipios con mejores valores de recurso eólico.

Municipios de Putumayo	Área superficial [km ²]	Velocidad del viento promedio a una altura de 10 m [m/s]		Densidad de potencia [W/m ²] ⁴		Densidad de potencia total del municipio [MW]	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Colón	74	4	5	31,1	59,5	2,3	4,4
San Francisco	564	2	3	3,9	12,7	2,2	7,2
Santiago	558	2	3	3,9	12,8	2,2	7,2
Sibundoy	96	3	4	13,0	30,3	1,2	2,9

Fuente: Propia.

Finalmente, en la Figura 37 y Figura 38, se encuentra el potencial energético total eólico y la velocidad de viento promedio a m/s del departamento del Putumayo.

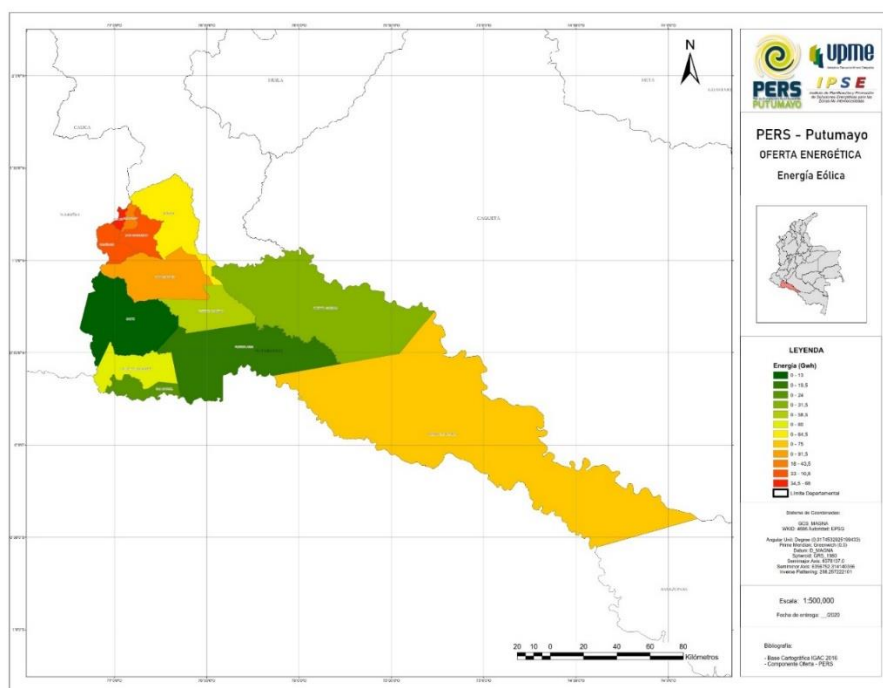


Figura 37. Potencial energético total eólico de Putumayo. Fuente: Propia.

⁴ Densidad de potencia: dado que el viento tiene una energía cinética implícita, se puede calcular la cantidad de potencia que existe en el aire mediante la siguiente ecuación (UPME IDEAM, 2006):

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Donde P/A es la densidad de potencia, ρ es la densidad del aire, v es la velocidad promedio del viento.

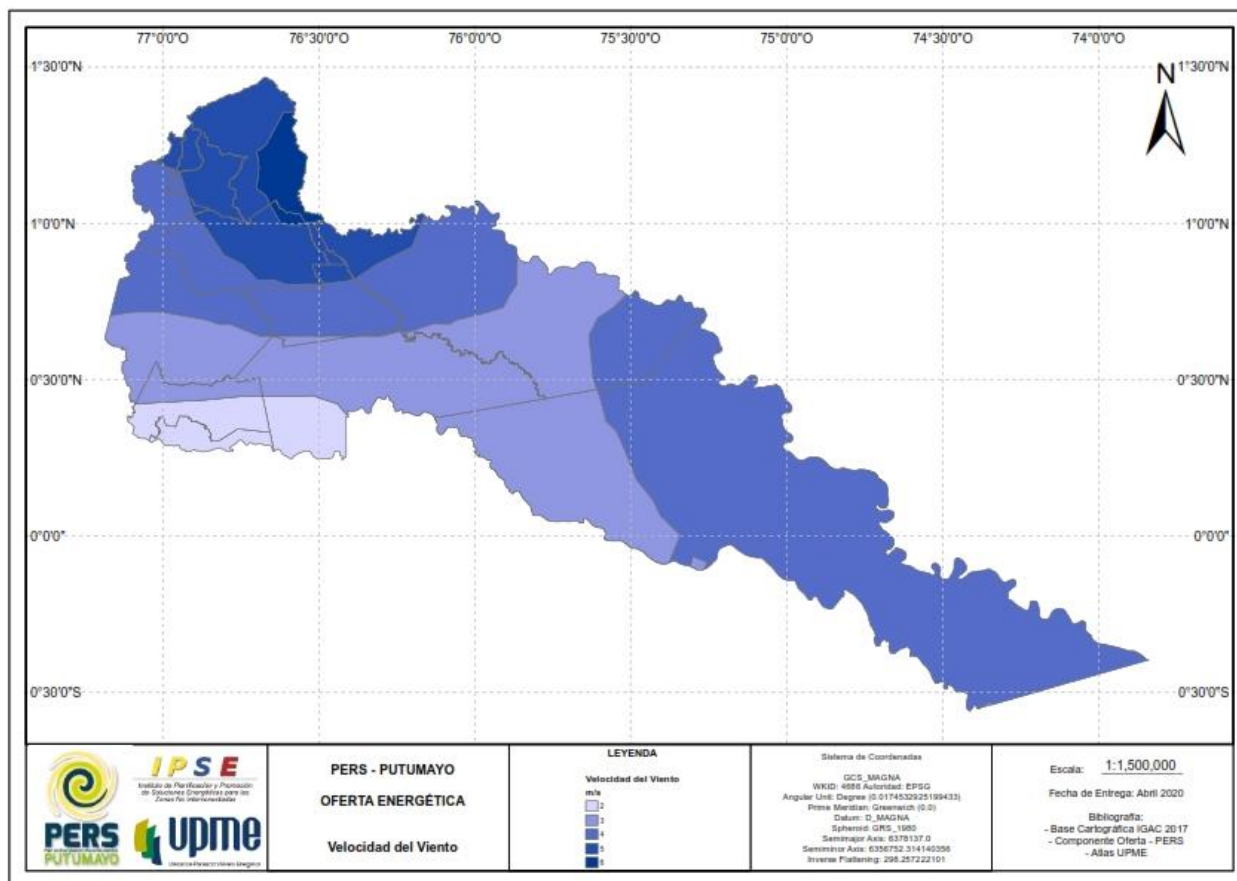


Figura 38. Velocidad de viento de Putumayo. Fuente: Propia.



5. ENERGÍA HIDRÁULICA

Colombia es uno de los países más rico en recursos hídricos del planeta, sus principales cursos de agua son los ríos Amazonas, Magdalena, Cauca, Guaviare, Putumayo y el Caquetá, que recorren el territorio agrupándose en 18 cuencas principales y en múltiples subcuencas y microcuencas que se convierten en un sistema interconectado para la interacción de aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales del país (UPME, 2015).

55

5.1. METODOLOGÍA PARA RECONOCIMIENTO DE POTENCIAL HÍDRICO

La metodología para el aprovechamiento del recurso hídrico en PERS Putumayo, se realizó con la ayuda de diferentes entes gubernamentales, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, la Corporación Autónoma Regional de Amazonas, CORPOAMAZONIA, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, y la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, que aportaron sus recursos técnicos y administrativos.

Debido a los cambios climáticos y los avances de la tecnología para la medición del recurso hídrico, es importante señalar que la información que aquí se presenta requiere de un proceso de actualización y mejora continua en periodos de tiempo especificados, con el fin de adaptarlo a los criterios técnicos ambientales vigentes del proyecto a evaluar. Con el fin de establecer un potencia para la evaluación de los proyectos con generación de energía eléctrica a partir de PCH's en las diferentes provincias del departamento de Putumayo, se llevaron a cabo las actividades descritas en la Figura 39.

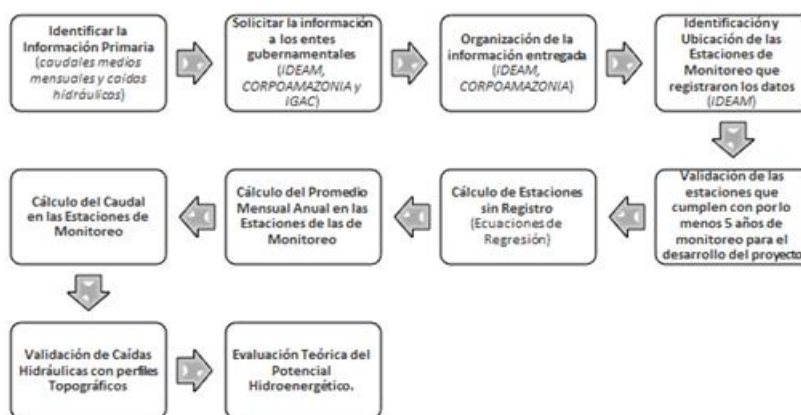


Figura 39. Metodología de estimación del potencial energético de las fuentes hídricas del Putumayo.

Fuente: Propia.

Es importante resaltar que la metodología ideal incluiría el cálculo del caudal Q95 con el fin de obtener el potencial energético más cercano al real que se puede obtener de este recurso, sin embargo, para determinar este caudal es necesario tener un análisis y registro de mínimo 20 años del caudal del cuerpo



de agua, según se establece en la resolución RJ 154-2016-ANA, es por esta razón que con el fin de determinar este potencial, se calculó el caudal promedio [Qprom] de los cuerpos de agua y con este valor se procedió a determinar el potencial energético.

5.2. PRINCIPALES FUENTES HÍDRICAS

El departamento del Putumayo tiene una gran riqueza hídrica que cubre toda su región, desde la frontera con los Departamentos de Nariño y Cauca hasta su finalización en la frontera con el Departamento del Amazonas y Caquetá, siendo conformada por los ríos Putumayo, Acaé, Alguacil, Blanco, Caimán, Caquetá, Cauayá, Changuayaco, Churuyaco, Cohembí, Concepción, Conejo, Cristales, Curilla, Dorada, El Caldero, Guamués, Guineo, Juanambú, Laguicía, Mandur, Mecaya, Mocoa, Mulato, Orito, Pepino, Picudo Chico, Piñuña Blanco, Remolino, Rumiayaco, Sabilla, San José, San Juan, San Miguel, Sencella, Ticuanayoy, Uchupayaco, Vides, Yarumo y Yurilla, además de numerosas quebradas como la Concepción y fuentes de menor caudal. (Trabajo M. d., 2018)

Tabla 9. Cuencas y Subcuencas del departamento del Putumayo

CUENCA	
Río Putumayo	
Río Caquetá	
MUNICIPIO	SUBCUENCA
Sibundoy	Río La Hidráulica
Colon	Río San Pedro
Santiago	Río Tamauca
San francisco	Río Putumayo
	Río Blanco
	Río San Francisco
Mocoa	Río Mocoa
	Río Pepino
	Río Afán
	Río Mulato
Villagarzón	Río Guineo
	Río Alguacil
Puerto Guzmán	Río Mandur
Puerto Caicedo	Río Cocayá
	Río Achioté
Puerto Asís	Río Cohembí
	Río Guinéo
	Río Acae
	Quebrada Agua Negra
Orito	Río Orito
	Río Guamuez
	Río Yarumo
Valle del Guamuez (La Hormiga)	Río Güisía
	Río La Hormiga
San Miguel (La Dorada)	Río Mulato



Puerto Leguísimo	Quebrada El Bufeó
	Río Caucajá

Fuente: (TodoColombia, 2019)

Además de las subcuencas mencionadas en la tabla anterior, existen otras subcuencas de las cuales no ha sido posible ubicar información concreta sobre las mismas. Estas son:

Río Acaé, Río Alguacil, Río Blanco, Río Caimán, Río Changuayaco, Río Churuyaco, Río Concepción, Río Conejo, Río Cristales, Río Curilla, Río Dorada, Río El Caldero, Río Juanambú, Río Laguicia, Río Mecaya, Río Pepino, Río Picudo Chico, Río Piñuña Blanco, Río Remolino, Río Rumiyaco, Río Sabilla, Río San José, Río San Juan, Río San Miguel, Río Sencella, Río Ticuanayoy, Río Uchupayaco, Río Vides y Río Yurilla, además de numerosas quebradas como la Concepción y fuentes de menor caudal. (Trabajo M. d., 2018)

El IDEAM como ente nacional da la facilidad en su página web (www.ideam.gov.co) de poder descargar un archivo Excel con los nombres, código y ubicación de todas sus estaciones de monitoreo alrededor del país. De esta manera se hizo solicitud de la información completando los registros necesarios exigidos por ellos y al cabo de unos días fue entregada dicha información. Se recibe información de setenta y cinco estaciones que tienen monitoreando en el departamento, las cuales están distribuidas de la siguiente manera.

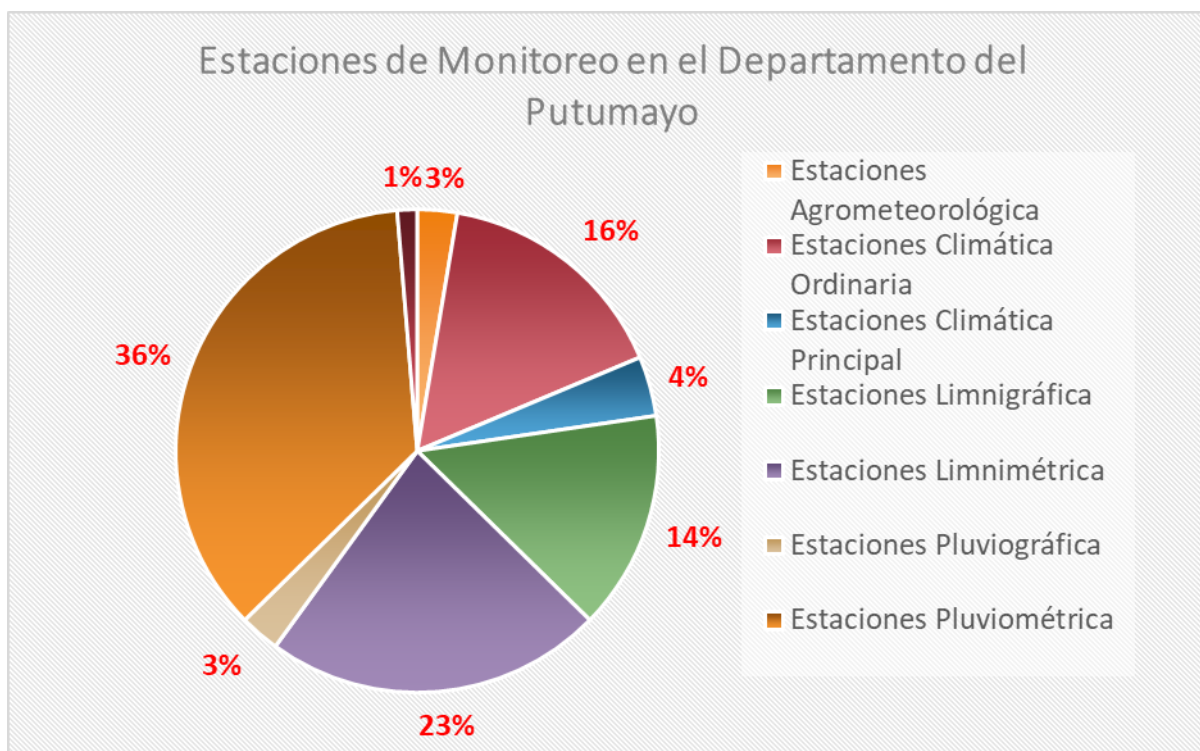


Figura 40. Estaciones de Monitoreo en Putumayo. Fuente: (IDEAM, 2014)

Tabla 10. Número de Estaciones de Medición en el Departamento

TIPO DE ESTACION	CANTIDAD
Estaciones Agrometeorológica	2
Estaciones Climática Ordinaria	12
Estaciones Climática Principal	3
Estaciones Limnigráfica	11
Estaciones Limnimétrica	17
Estaciones Pluviográfica	2
Estaciones Pluviométrica	27
Estaciones Sinóptica Principal	1

Fuente: (IDEAM, 2014)

Con la información mostrada en la tabla anterior, se pueden organizar los datos del tipo de estación que entrega los datos de caudal: estas son las estaciones Limnigráficas y Limnimétricas, teniendo en total veintiocho (28) estaciones, de las posibles para analizar la información que recolectan.

Las estaciones Limnigráficas y Limnimétricas, toman dos distintos tipos de mediciones: la limnimétrica sirve para medir el nivel de la superficie, tomando como referencia un nivel determinado y se hace con un instrumento llamado limnómetro, mientras que, las estaciones limnigráficas usan un limnígrafo, el cual toma medidas directas de caudal.

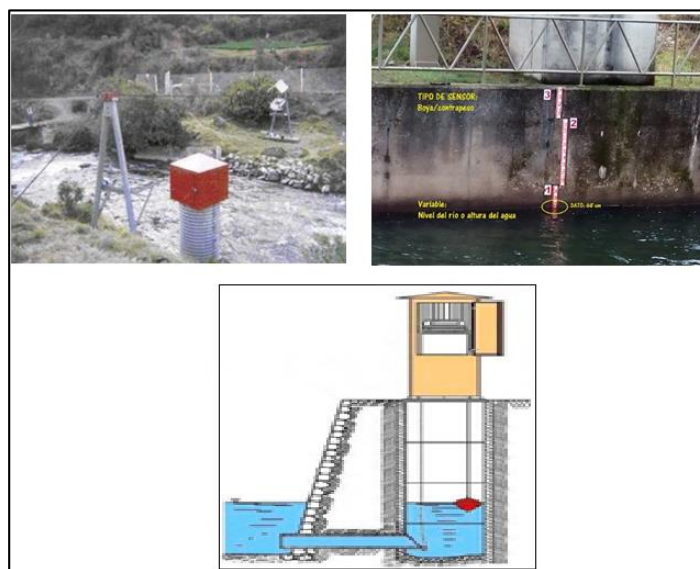


Figura 41. Estación del Banco Magdalena (Superior Izquierda); Estación de Limnimétrica (Superior Derecha); Estación Limnigráfica (Inferior). Fuente: (Google Commons, 2020)

De las veintiocho (28) estaciones de este tipo ubicadas en el departamento del Putumayo, a la fecha se tienen trece (13) activas y quince (15) suspendidas.



Tabla 11. Estaciones Hidrológicas

CÓDIGO	ESTACIÓN	ESTADO
47017070	EL EDEN - AUT [47017070]	Activa
47017060	SAN ANTONIO [47017060]	Suspendida
44017020	PUENTE MOCOA [44017020]	Suspendida
44127020	UMANCIA [44127020]	Activa
47047050	PUERTO LEGUIZAMO [47047050]	Activa
44117010	TAGUA LA [44117010]	Activa
44137020	GUAQUIRA [44137020]	Suspendida
47037030	CHIPAROS LOS [47037030]	Suspendida
47017190	BELLAVISTA [47017190]	Activa
47017200	NARANJOS LOS [47017200]	Activa
47017010	MUELLE EL [47017010]	Activa
47017170	PICUDO EL [47017170]	Activa
47017160	PUENTE TEXAS [47017160]	Activa
47017150	JOYA LA [47017150]	Activa
44017120	PIEDRA LISA II - AUT [44017120]	Activa
44017130	YUNGUILLO [44017130]	Suspendida
44017110	ANDAQUI - AUT [44017110]	Activa
47017100	CANAL B [47017100]	Activa
44017150	CASCABEL [44017150]	Suspendida
44017100	ANGOSTURAS - RÍO PUTUMAYO [44017100]	Suspendida
47017701	CANAL A [47017701]	Suspendida
47017080	BALSAYACO-LA MARIA [47017080]	Suspendida
47017030	PUENTE CARRETERA [47017030]	Suspendida
44017030	PUENTE PITALITO [44017030]	Suspendida
47017040	COLON [47017040]	Suspendida
47017140	PUENTE CANAL D [47017140]	Suspendida
47017050	SIBUNDOY [4701705]	Suspendida
44017010	PIEDRA LISA [44017010]	Suspendida

Fuente: (IDEAM, 2014)



Figura 42. Porcentaje de Estaciones Activas y Suspendidas. Fuente: Propia.

Adicionalmente, de estas trece (13) estaciones activas solo se encuentran datos de caudal de nueve (9) de ellas, ya que las otras cuatro (4) no se presentaron registros. De las quince (15) estaciones suspendidas a la fecha se recibieron datos de caudal de dos (2) de ellas, las cuales una (referencia 47017140) tiene fecha de suspensión del nueve de agosto del dos mil trece (2013), y la otra (referencia 44017100) tiene fecha de suspensión del veintitrés de agosto del dos mil diecinueve (2019).

Por lo tanto, se encuentran datos de caudal tan solo de once (11) estaciones, con las cuales se procede a revisar las tablas de caudal, y validar que los datos estén completos para iniciar la evaluación de potencial hidroenergético. Cabe aclarar que ninguna estación de medición tiene datos actualizados, todas son inferiores al año 2015.

5.3. CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN EL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

Por medio de un análisis de regresiones con ayuda del software Microsoft Excel®, se realiza el complemento de la información faltante, tomando como referencia el caudal y el periodo de tiempo de los registros existentes. Se define una fórmula para cada estación en donde los datos faltantes sean mínimo un (1) dato y máximo tres (3). Por medio de las regresiones se obtienen ecuaciones polinómicas con valor R cuadrado (R^2). Este valor debe ser igual a uno o muy cercano y se valida que no vaya a presentar valores que tiendan por debajo de cero, con lo cual se asegura que la interrelación de todos los datos es correcta.

La mayoría de las ecuaciones son de orden seis, y los valores de coeficiente de determinación (R^2) indican que cuanto más cerca su valor sea uno, mayor será el ajuste del modelo a la variable. Por lo tanto, se validan solo las regresiones que sean iguales o mayores a cero punto ochenta y cinco (0.85) para así

garantizar un mejor ajuste de los valores a encontrar. Como ejemplo de las regresiones se muestra la Figura 43, la cual presenta la regresión para la estación 47017200 en el mes de septiembre. Su medición es a partir de un Limnómetro (LM) y está ubicada en el Municipio de Puerto Asís sobre el Río Putumayo.

Como en todas las estaciones fue necesario hacer las regresiones, se valida que el coeficiente de determinación (R^2) cumple el parámetro de superar el 0.85.

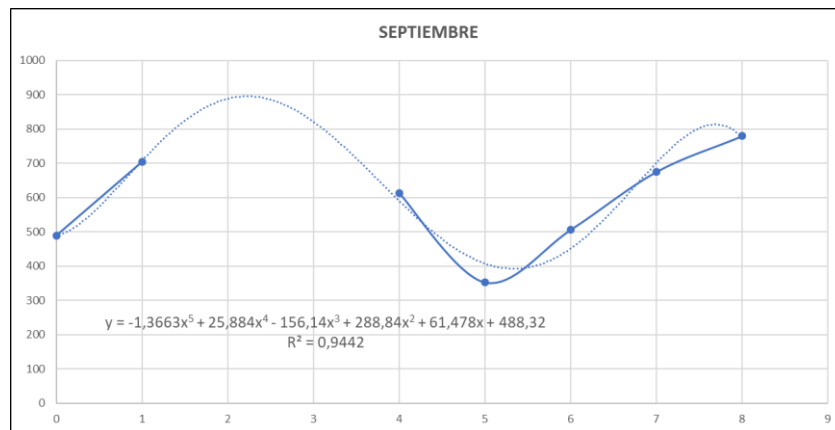


Figura 43. Estación 47017200 Mes de Septiembre. Fuente: Propia.

Se indica que con los valores registrados por las estaciones se puede obtener los datos faltantes dentro de los 5 años a evaluar, ya indicados en el procedimiento, y así se logra tener un histograma correcto y confiable para la evaluación.

Con las estimaciones realizadas por las ecuaciones de regresión, se completan los registros necesarios y se realizan los histogramas de cada estación del departamento.

Teniendo en cuenta que el Departamento del Putumayo no está sectorizado por regiones puntuales, se procede a ubicar las estaciones que se usaron en el desarrollo de la investigación, mostrando las ubicadas en el Alto, Medio y Bajo Putumayo, tal como se puede observar en la Figura 44.

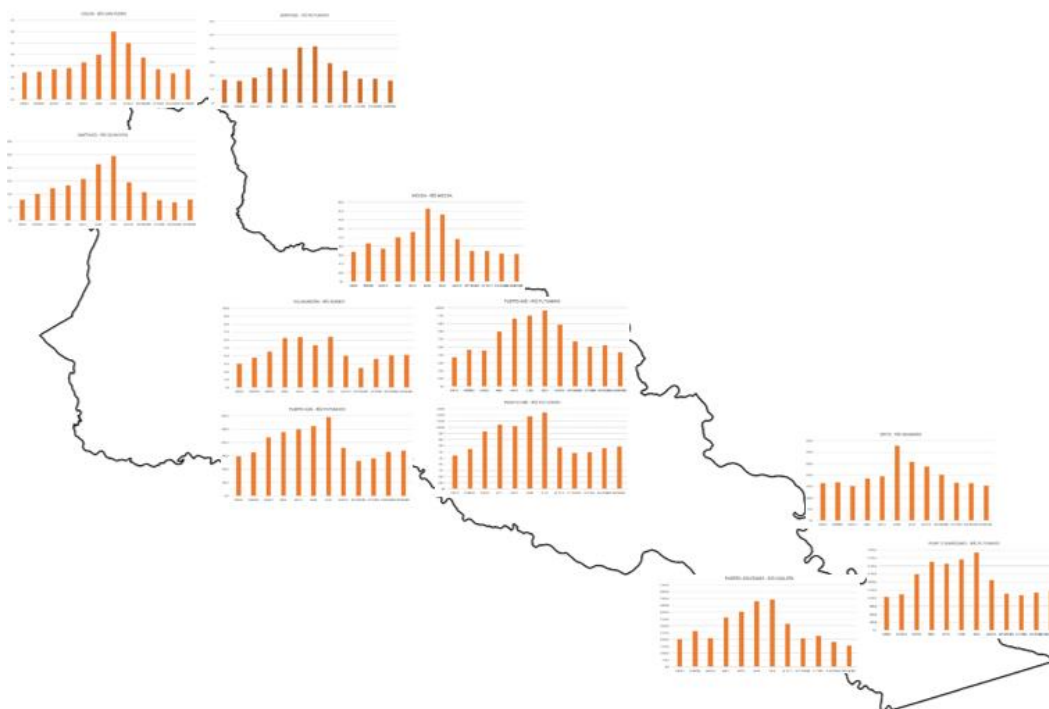


Figura 44. Caudales Medios Mensuales Anuales Alto, Medio y Bajo Putumayo. Fuente: Propia.

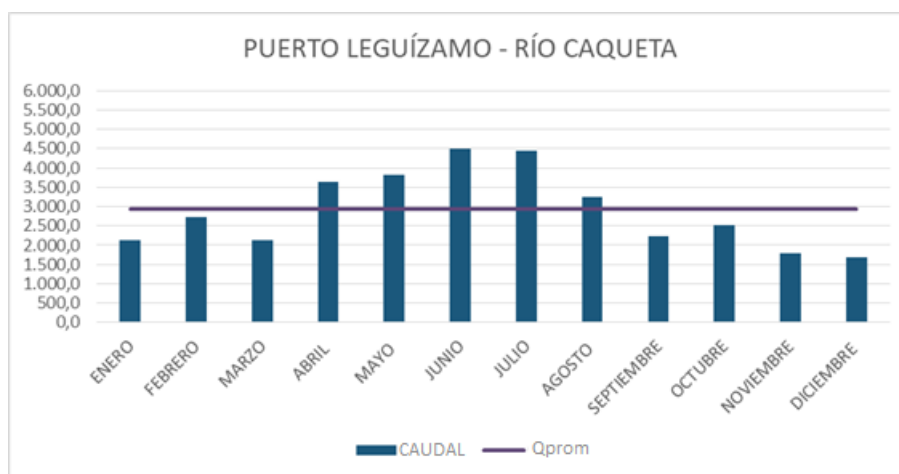


Figura 45. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 45 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 44117010 ubicada en el municipio de Puerto Leguízamo sobre el Río Caquetá. Se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de junio con $4509,5 \text{ m}^3/\text{s}$, y que el valor mínimo en el mes de diciembre es $1696 \text{ m}^3/\text{s}$. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Q_{prom}), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de $2927,92 \text{ m}^3/\text{s}$.

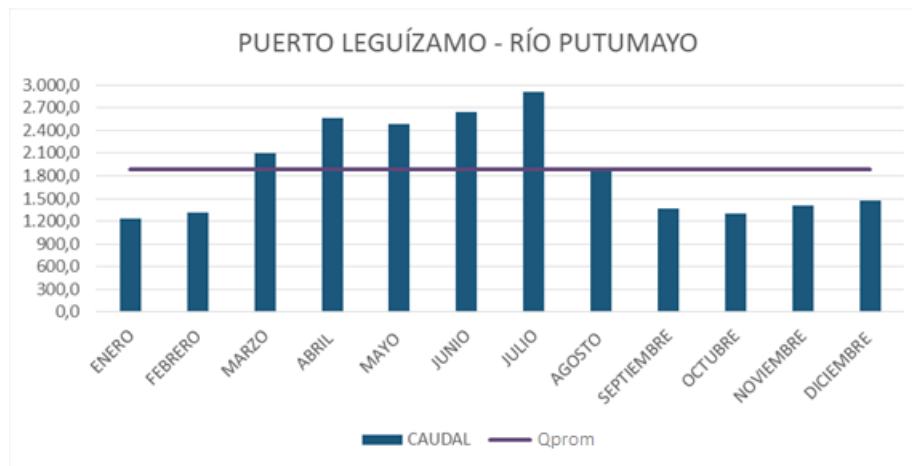


Figura 46. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 46 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017190 ubicada en el municipio de Puerto Leguízamo sobre el Río Putumayo. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de Julio, 2910,8 m³/s, y el valor mínimo en el mes de Enero, 1232,8 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 1890,3 m³/s.

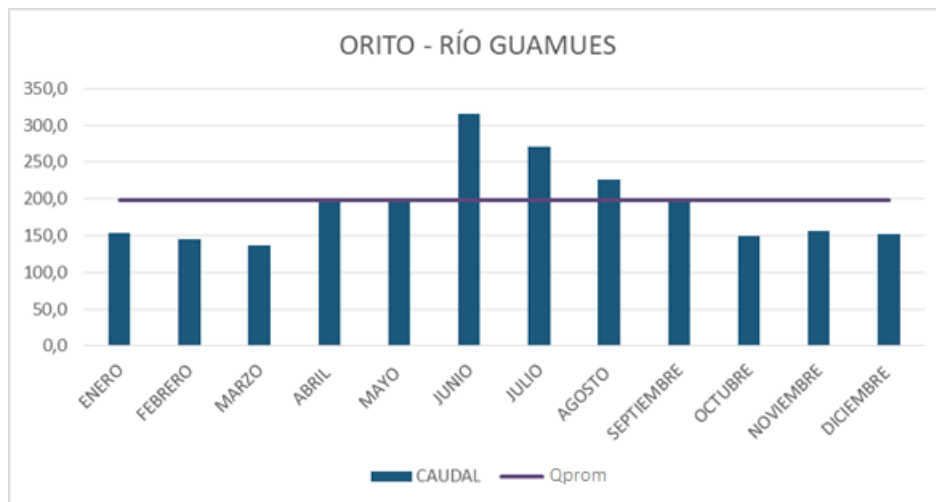


Figura 47. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 47 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017170 ubicada en el municipio de Orito sobre el Río Guamues. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de junio, 271,2 m³/s, y el valor mínimo en el mes de marzo, 136 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 197,49 m³/s.

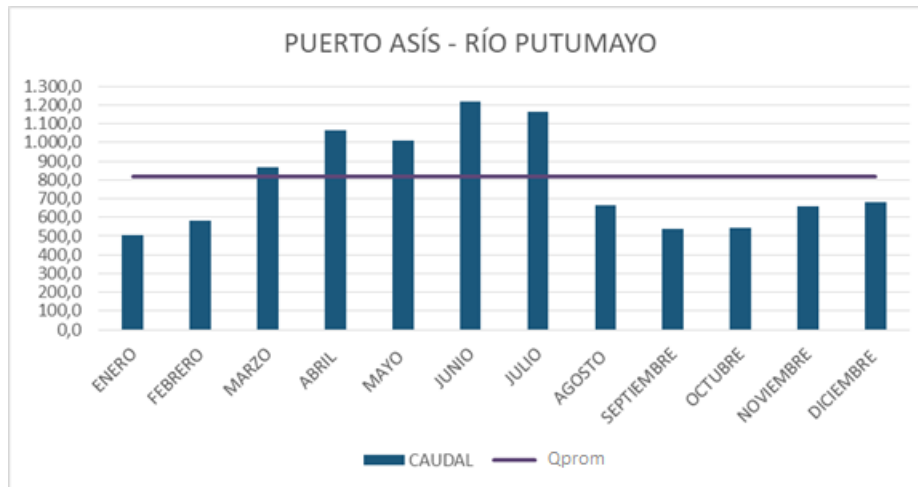


Figura 48. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 48 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017200 ubicada en el municipio de Puerto Asís sobre el Río Putumayo. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de junio, 1219,7 m³/s, y el valor mínimo en el mes de enero, 507,8 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 817,3 m³/s.

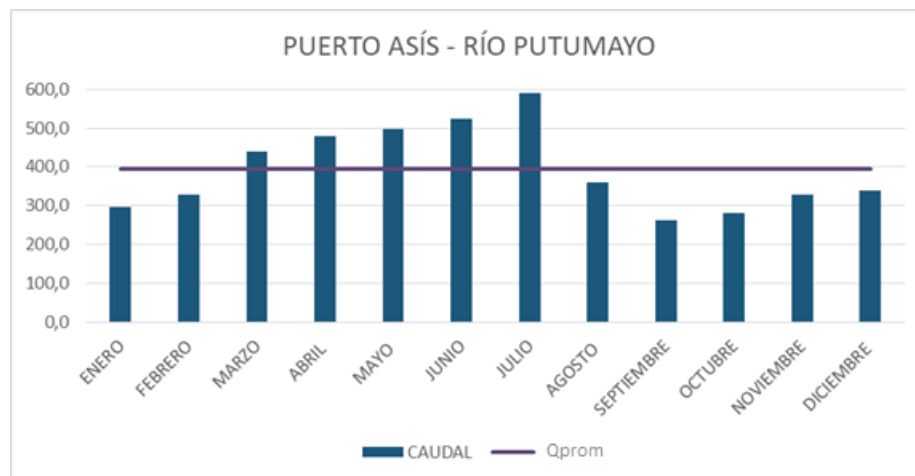


Figura 49. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 49 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017160 ubicada en el municipio de Puerto Asís sobre el Río Putumayo. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de Julio, 590,8 m³/s, y el valor mínimo en el mes de Enero, 296,6 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 393,7 m³/s.

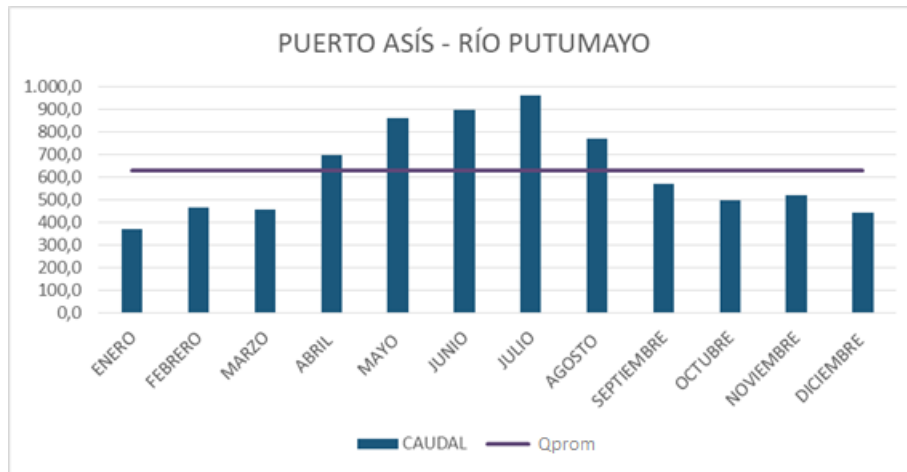


Figura 50. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 50 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 44017100 ubicada en el municipio de Puerto Asís sobre el Río Putumayo. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de Julio, 962,4 m³/s, y el valor mínimo en el mes de enero, 369,5 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 627,5 m³/s.

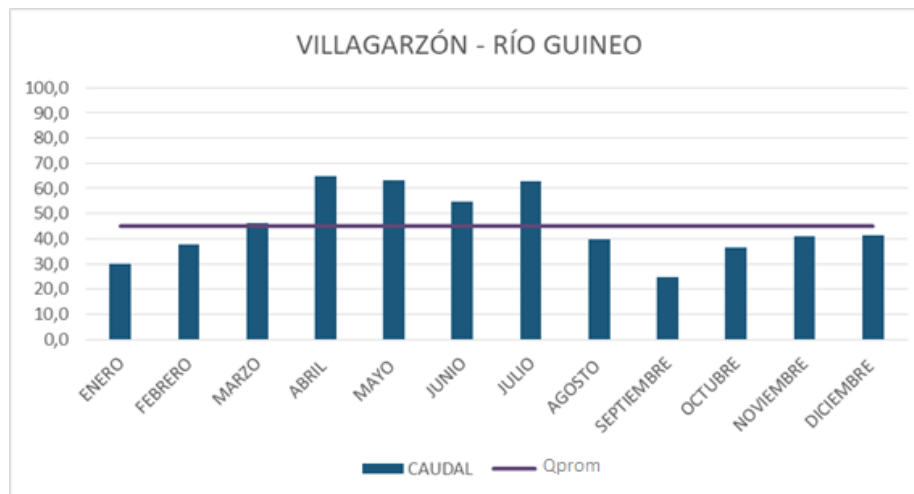


Figura 51. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 51 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017150 ubicada en el municipio de Villagarzón sobre el Río Guineo. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de abril, 64,8 m³/s, y el valor mínimo en el mes de septiembre, 24,6 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 45,03 m³/s.

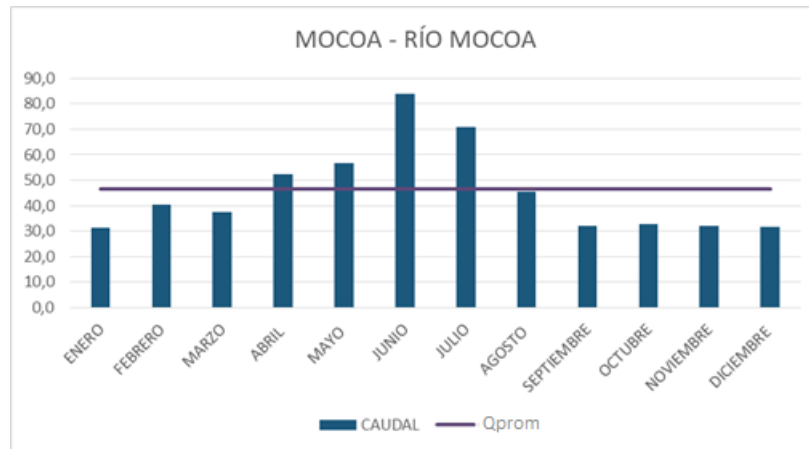


Figura 52. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 52 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 44017120 ubicada en el municipio de Mocoa sobre el Río Mocoa. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de junio, 84,02 m³/s, y el valor mínimo en el mes de enero, 31,1 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 46,6 m³/s.

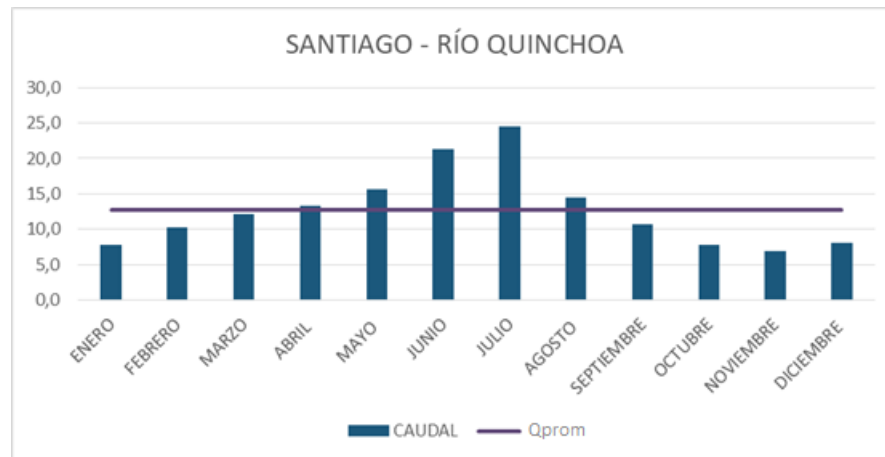


Figura 53. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 53 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017100 ubicada en el municipio de Santiago sobre el Río Quinchoa. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de julio, 24,4 m³/s, y el valor mínimo en el mes de noviembre, 6,8 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 12,7 m³/s.

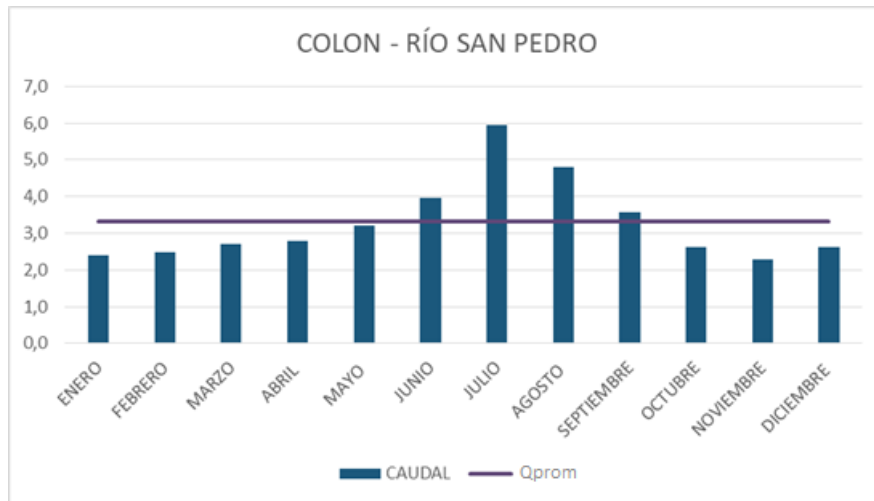


Figura 54. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 54 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017140 ubicada en el municipio de Colon sobre el Río San Pedro. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de Julio, 5,95 m³/s, y el valor mínimo en el mes de noviembre, 2,2 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 3,3 m³/s.

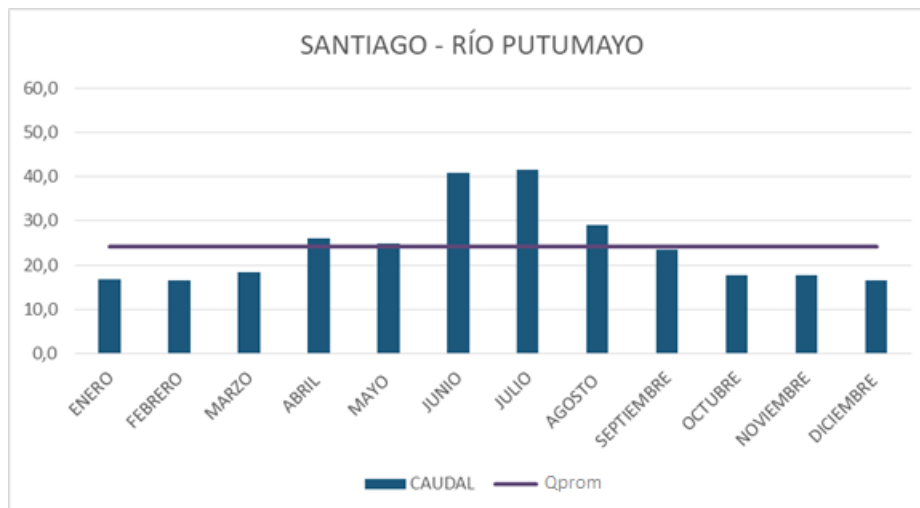


Figura 55. Caudales Medios Mensuales Anuales. Fuente: Propia.

En la Figura 55 se aprecia el comportamiento dinámico de los caudales medios anuales en la estación 47017070 ubicada en el municipio de Santiago sobre el Río Putumayo. Aquí se puede apreciar que el valor máximo se da en el mes de Julio, 41,6 m³/s, y el valor mínimo en el mes de diciembre, 16,4 m³/s. Adicionalmente, se muestra el valor aproximado del caudal promedio (Qprom), el cual se empleará para el cálculo de la energía, para esta estación es de 24,1 m³/s.

Por lo mostrado anteriormente, se indica que los análisis desarrollados para los histogramas son iguales en cualquier estación de monitoreo, teniendo en cuenta que se usaron los valores de los últimos cinco (5) años registrados. Si se desea conocer de fechas anteriores, simplemente se puede hacer cambio en la escogencia de los mismos.

5.4. CAÍDAS HIDRÁULICAS EN EL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

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 (UPME, Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, 2015).

Al revisar la orografía del Departamento del Putumayo, se puede apreciar que las mayores caídas hidráulicas se encuentran en la zona del alto Putumayo. En esta investigación se realiza un análisis en las cuencas donde se obtiene mediciones de caudal, lo que facilita el análisis de las caídas hidráulicas. Cada uno de los ríos analizados en la red de drenaje se estudió en tramos de 200 m, y por lo tanto, en la *Tabla 12* se presentan los valores Medio y Máximo de las cuencas hídricas analizadas.

Tabla 12. Área Hidrográfica del Putumayo.

LONGITUD HORIZONTAL DE CONDUCCIÓN	0,2 [km]	
ÁREA HIDROGRAFICA	Medio	Máximo
Río Putumayo	12	60
Río Caqueta	12	60
Río Guamues	4	40
Río Guineo	20	20
Río Mocoa	4	40
Río Quinchoa	2	20
Río San Pedro	3	60

Fuente: Propia.

Cabe notar que el departamento del Putumayo no tiene grandes caídas sobre sus cuencas, encontrándose una caída máxima de 60 metros por área hidráulica en 200 metros de conducción horizontal, asumiendo que esta longitud es aquella que se tiene en cuenta entre la captación y la turbina en un proyecto hídrico.

5.5. EVALUACIÓN TEÓRICA DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO EN EL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

La energía eléctrica cumple un papel fundamental y necesario dentro del desarrollo evolutivo de una comunidad. Teniendo en cuenta que la generación hidroeléctrica posee costos inferiores en comparación con otros métodos de generación y que en el país se facilita la construcción de este tipo de centrales



hídricas, dadas las condiciones geográficas que se poseen en algunas regiones apartadas y Zonas no Interconectadas (ZNI).

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) clasifica los diferentes tipos de centrales hidroeléctricas, en función de la capacidad instalada y el tipo de usuario, proponiendo la clasificación presente en la Tabla 13 (Ortíz Florez, 2011).

Tabla 13. Clasificación de las PCH's, según capacidad instalada y el tipo de usuario.

TIPO	POTENCIA [kW]	USUARIO
Pico Central	0,5 - 5	Finca
Microcentral	5 - 50	Caserío
Minicentral	50 - 500	Cabecera Municipal
Pequeñas Centrales	500 - 1000	Municipio

Fuente: (Ortíz Florez, 2011)

La Figura 56 presenta la variación de la potencia según la caída en metros. Las clasificaciones de las fuentes bibliográficas utilizan un rango similar de potencias, y por lo tanto, para la evaluación del potencial hidroenergético se usa esta información (UPME, Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, 2015).

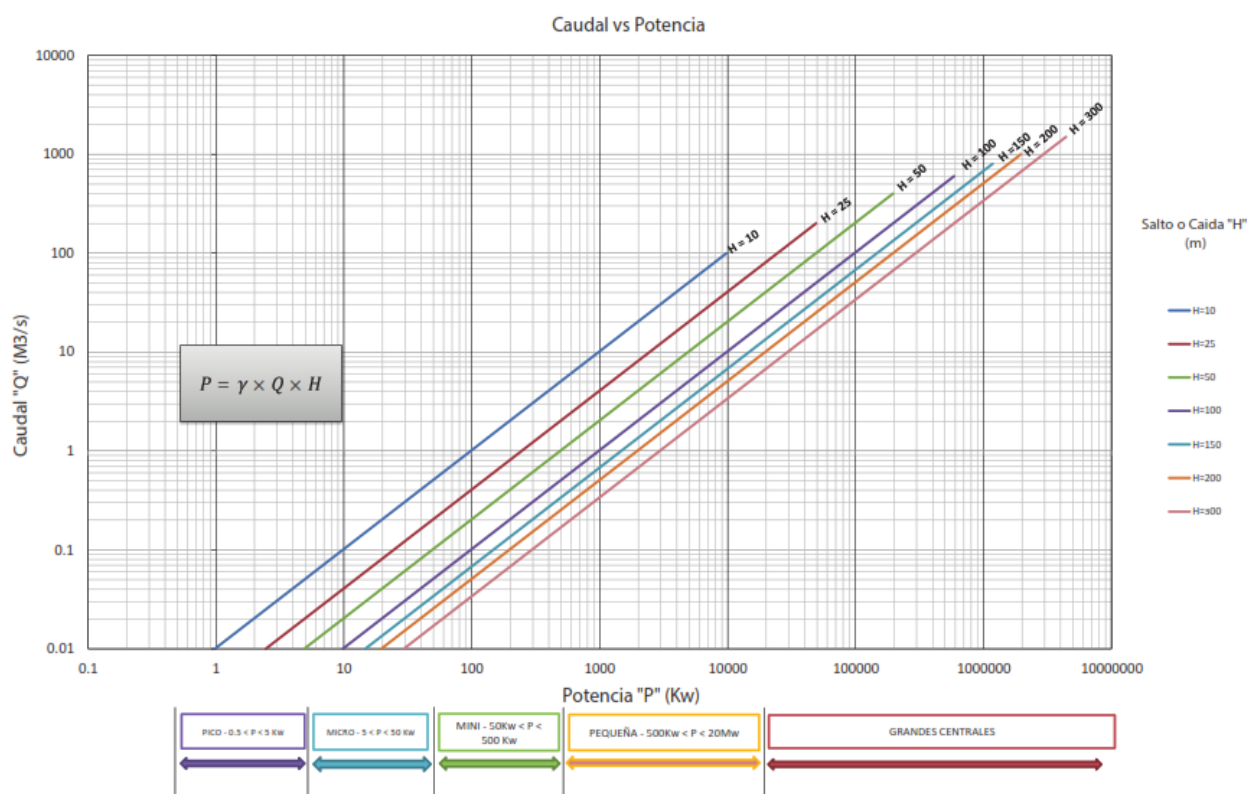


Figura 56. Variación del potencial hidroenergético con el caudal y la caída hidráulica. Fuente: (UPME, Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, 2015)

Teniendo como referencia la Figura 56, con la cual puede obtener el aprovechamiento de potencial hidroenergético desarrollado para PERS Putumayo, se observa que los parámetros más importantes son el caudal y la caída hidráulica. Para la obtención de los parámetros ya descritos se desarrolla la metodología anteriormente explicada.

Para la obtención del potencial teórico en el Departamento del Putumayo se hace necesario tener en cuenta una serie de recomendaciones, mostradas a continuación:

- La investigación se hace con la finalidad de saber dónde se puede aprovechar la corriente de agua para la generación de energía, es decir, implementar hidroeléctricas filo de agua, por lo cual no se contempla tener embalse para el almacenamiento de agua.
- El caudal empleado para el cálculo de potencial es aquel que corresponde al disponible en épocas secas, basado en un porcentaje de confiabilidad y así poder garantizar la disponibilidad del recurso hídrico. En este caso y debido a las razones planteadas anteriormente se utilizará el Qprom.
- Con la ayuda de los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo del IDEAM, fue posible determinar el caudal medio anual de los puntos de monitoreo para la explotación del recurso hídrico, teniendo como menor caudal 2.32 m³/s ubicado sobre el Río San Pedro en el municipio de Colón y como máximo caudal 4921.04 m³/s ubicado sobre el Río Caquetá en el municipio de Puerto Leguízamo.
- Con el valor del caudal Qprom donde se tiene registro y con el valor de la caída hidráulica se calcula la potencia teórica, obteniéndola con el producto de estas variables y la eficiencia del sistema, y utilizando la Ecuación 1 (Ortíz Florez, 2011) como una buena aproximación para el cálculo de la potencia hidráulica en kilovatios (kW).

$$P_H = 9.81 \times H_{est} \times Q$$

Ecuación 1

- Donde: H_{est} es la caída hidráulica en metros (m), Q es el caudal promedio, dada en metros cúbicos por segundo (m³/s) y 9.81 es el valor calculado entre la multiplicación de la densidad del agua (1000 kg/m³) y la gravedad (9.8 m/s²). Se debe tener en cuenta que la ecuación está organizada para que el valor final de la potencia teórica este dado en kilovatios (kW), no vatios (W).
- El valor teórico del potencial hidroeléctrico no contempla la eficiencia de los equipos mecánicos, el cual es particular de cada proyecto, ni del tipo de turbina, y no contempla las pérdidas hidráulicas entre la captación de la PCH y la casa de máquinas, incluyendo la conducción (Acevedo Valencia, 2016).
- Los valores de potencial obtenidos y consignados en el mapa desarrollado por el equipo PERS Putumayo, son valores para proyectos individuales. Por lo tanto, el estudio no se contemplan proyectos simultáneos. La instalación de una central hidroeléctrica puede afectar el desarrollo de otro proyecto aguas abajo y se debe tener en cuenta que esta investigación es de carácter teórica. Los valores obtenidos a lo largo del desarrollo no son producto de un trabajo de campo.



Tabla 14. Potencial hidroenergético para la implementación de proyectos con PCH's en el departamento de Putumayo.

CÓDIGO	ESTACIÓN	ALTURA	MUNICIPIO	COORDENADAS GEOGRAFICAS	TIPO DE CENTRAL HIDRAULICA	POTENCIA TEORICA (kW)
47017070	EL EDEN - AUT [47017070]	1450	Santiago	1.10630556,-76.985	PICOCENTRAL	0,661084128
44117010	TAGUA LA [44117010]	153	Puerto Leguizamo	-0.05747222,-74.66694444	MICROCENTRAL	16,63776
47017190	BELLAVISTA [47017190]	185	Puerto Leguizamo	-0.38769444,-74.57933333	MICROCENTRAL	14,39781
47017200	NARANJOS LOS [47017200]	245	Puerto Asís	0.38433333,-76.39680556	MICROCENTRAL	6,6634425
47017170	PICUDO EL [47017170]	385	Orito	0.48972222,-76.83627778	PICOCENTRAL	2,978316
47017160	PUENTE TEXAS [47017160]	250	Puerto Asís	0.58269444,-76.57694444	MICROCENTRAL	6,622077
47017150	JOYA LA [47017150]	350	Villagarzón	0.78875,-76.57930556	PICOCENTRAL	1,6174728
44017120	PIEDRA LISA II - AUT [44017120]	723	Mocoa	1.21361111,-76.66102778	PICOCENTRAL	3,7128888
47017100	CANAL B [47017100]	265	Santiago	1.11638889,-76.97888889	N/A	0,15696981
44017100	ANGOSTURAS - RÍO PUTUMAYO [44017100]	200	Puerto Asís	0.39541667,-76.33613889	PICOCENTRAL	4,367412
47017140	PUENTE CANAL D [47017140]	2123	Colón	1.19386111,-76.9565	N/A	0,102345768

Fuente: Propia

Finalmente, se obtuvo el potencial hidroenergético del Departamento del Putumayo, tomando en cuenta que la información obtenida y desarrollada se puede contar con cuatro (4) centrales Micro, cinco (5) centrales Pico y dos puntos de medición donde no alcanza el nivel mínimo para desarrollar un proyecto de este tipo, las cuales se pueden observar su posición geográfica en la Figura 57.

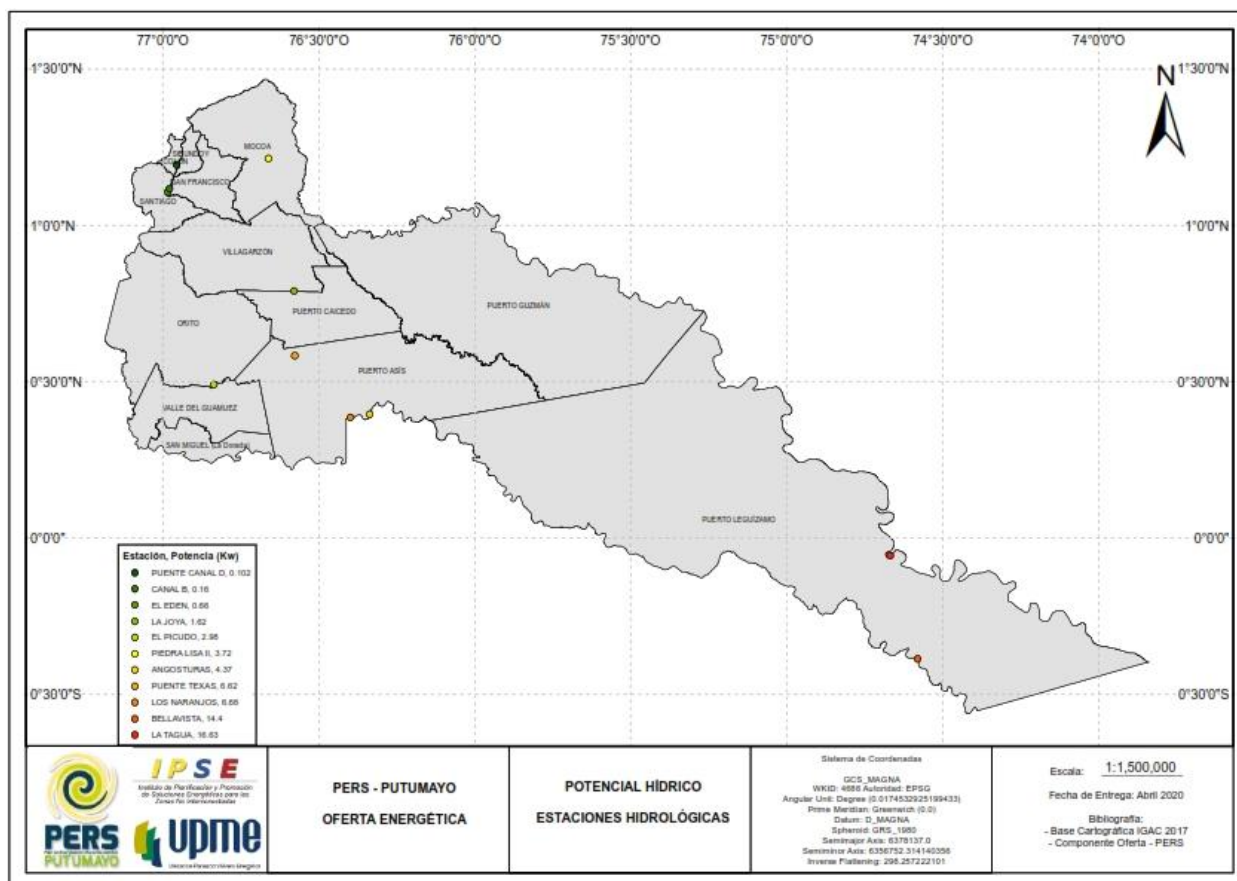


Figura 57. Centrales hidráulicas propuestas por el PERS para el Putumayo. Fuente: Propia.



6. ENERGÍA DE BIOMASA

6.1. METODOLOGÍA PARA RECONOCIMIENTO DE POTENCIAL DE BIOMASA

Para estudiar el potencial energético de la biomasa producida por el sector rural, se hizo una división de la fuente en tres grupos. El primero de ellos abarca toda la biomasa residual producida por la actividad agrícola. El segundo grupo tiene en cuenta el potencial energético forestal, y, por último, el tercer grupo está conformado por los residuos de la actividad pecuaria de la región.

73

La biomasa significa masa biológica, y corresponde a la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre por organismos de un tipo específico. (Anirebis Martínez Romero A. M., 2016)

La importancia de la biomasa radica en que esta pueda ser aprovechable para ser transformada en energía, ya sea, eléctrica o como fuente de calor, dado que las sustancias orgánicas se dan de la materia vegetal, al quemarse producen energía y algunos otros compuestos como CO₂ y agua H₂O que, a diferencia de los compuestos producidos por los combustibles fósiles, no alteran la composición de la atmósfera y la mantiene a niveles constantes. (Serrato, 2016)

6.2. BIOMASA AGRÍCOLA

En la agricultura orgánica, se da un gran valor a toda la biomasa, no solo a los cultivos recolectados, porque los subproductos y los residuos son indispensables para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la alimentación de animales, y otros usos. Está definida como materia biológica no fósil, de origen vegetal, encontrada por encima o por debajo de la vegetación rasante, que incluye los productos y subproductos desechables agrícolas, el estiércol, la fauna edáfica y la biomasa microbiana, empleada como alimento, combustible o enmienda del suelo.

El tipo de producción se puede clasificar desde varios puntos de vista, como la destinación de la propia actividad agropecuaria: para la alimentación directa o para insumos industriales, que a su vez pueden destinarse a la alimentación (caña de azúcar) o a materias primas para uso industrial (algodón). Tipo de cultivo: perennes (árboles frutales) o cíclicos (maíz). La cría de animales: consumo alimenticio humano o aprovechamiento de sus productos derivados, etc. En todo caso, lo mejor es centrar la atención en los productos específicos y explorar las contribuciones diferenciadas de machos y hembras a la producción agrícola y la cría de animales.

En el ámbito específico de la producción se deben recoger los siguientes datos:



- Nombre específico y tipo los cultivos producidos precisando si son perennes o temporales. Aclarar si son hortalizas, flores para venta o granos, árboles frutales, nopal, magueyes, plantaciones
- Área cultivada de árboles en producción y número de ellos
- Ciclos de explotación y producción
- Especies menores y especies mayores de animales: colmenas, tipo de aves, cerdos, borregos, cabras, conejos, burros, caballos, ganado vacuno, etc. y diferenciación de su utilización: consumo, transporte, trabajo, valorización de los productos derivados (el cuero o la lana). (FAO, 2009)

3.1.6. Principales Cultivos

A continuación, en la Tabla 15, Tabla 16 y Figura 58 se presentan los principales cultivos agrícolas trabajados en el departamento de Putumayo, especificando área sembrada, área cosechada, la producción total y el rendimiento que tuvieron dichos cultivos durante el periodo comprendido entre el año 2016 y año 2017.

Tabla 15. Área Sembrada, Área Cosechada, Variaciones y Participaciones de los Cultivos en el Departamento del Putumayo Año 2016-2017

Cultivo	Área sembrada (ha)		Variación	Participación	Área cosechada (ha)		Variación	Participación
	2016	2017	%	%	2016	2017	%	%
Total	29.898	31.106	4,0	100	26.676	25.115	-5,9	100
Plátano	7.754	8.182	5,5	26,3	6.454	7.488	16	29,8
Maíz Tradicional	5.522	6.219	12,6	20	5.511	3.329	39,6	13,3
Cacao	4.480	4.524	1	14,5	4.095	4.329	5,7	17,2
Chontaduro	2.146	2.349	9,5	7,6	1.839	2.045	11,2	8,1
Yuca	2.282	2.255	1,2	7,2	2.171	2.094	3,5	8,3
Arroz	1.518	1.502	-1,1	4,8	1.487	1.093	26,5	4,4
Caña Panelera	1.357	1.437	5,9	4,6	1.028	1.151	11,9	4,6
Pimienta	1.002	1.244	24,2	4	804	969	20,4	3,9
Fríjol	871	855	-1,9	2,7	950	508	46,5	2
Caucho	605	605	0	1,9	430	430	0	1,7
Otros cultivos	2.362	1.935	-18,1	6,2	1.908	1.678	12	6,7

Fuente: (Agricultura, 2016)

Tabla 16. Producción, Rendimiento y Variaciones de los Cultivos en el Departamento del Putumayo. Año 2016-2017

Cultivo	Producción (t)		Variación	Participación	Rendimiento (t/ha)		Variación
	2016	2017	%	%	2016	2017	%
Total	95.758	73.219	-23,5	100	3,59	2,92	-18,8
Plátano	37.981	27.572	27,4	37,7	5,88	3,68	37,4
Maíz Tradicional	6.032	3.745	37,9	5,1	1,09	1,12	2,8
Cacao	1.760	2.091	18,8	2,9	0,43	0,48	12,4
Chontaduro	8.690	8.875	2,1	12,1	4,73	4,34	8,2
Yuca	19.163	13.570	-29,2	18,5	8,83	6,48	26,6
Arroz	3.169	2.091	-34	2,9	2,13	1,91	10,2
Caña Panelera	2.999	2.803	-6,5	3,8	2,92	2,44	16,5
Pimienta	671	812	21	1,1	0,83	0,84	0,5
Fríjol	1.577	1.168	-25,9	1,6	1,66	2,30	38,6
Caucho	278	278	0	0,4	0,65	0,65	0
Otros cultivos	13.436	10.214	-24	13,9	7,04	6,09	13,6

Fuente: (Agricultura, 2016)

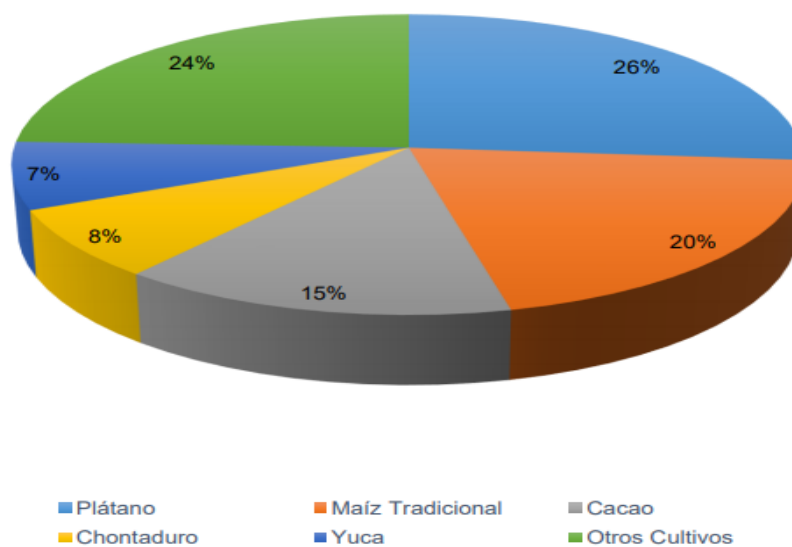


Figura 58. Participación de los cultivos en el departamento de Putumayo. Fuente: (Agricultura, 2016)



6.2.1.1. Cultivo de Plátano

El plátano es el producto agrícola con más área sembrada y producción en el departamento de Putumayo, siendo el municipio de Puerto Leguízamo el que más participación de este cultivo tiene en su territorio. Esto se evidencia en la Tabla 17, donde se muestran los datos correspondientes al área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de plátano en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017.

Tabla 17. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Plátano en Putumayo Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Plátano en Putumayo, Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total	8.182	7.488	27.572	3,7
Puerto Leguízamo	2.134	2.122	10.610	5
Puerto Guzmán	1.808	1.798	6.832	3,8
Mocoa	1.219	1.219	2.682	2,2
Orito	1.200	860	2.924	3,4
San Miguel	585	335	1.508	4,5
Valle del Guamuez	570	560	1.287	2,3
Puerto Asís	276	249	623	2,5
Puerto Caicedo	267	242	847	3,5
Villagarzón	124	104	260	2,5

Fuente: (Agricultura, 2016)

6.2.1.2. Cultivo de Caña Panelera

De igual forma, se recopilamos los datos en relación con los cultivos de caña panelera en este mismo departamento, los cuales se pueden observar en la Tabla 18, anexando datos como el área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos en cada uno de los municipios durante el año 2017.

Tabla 18. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Caña Panelera en Putumayo Año 2017

Área Sembrada, Área cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Caña Panelera en Putumayo, Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/a)
Total	1.437	1.151	2.803	2,4
San Miguel	356	206	412	2
Puerto Leguízamo	300	296	740	2,5
Valle Del Guamuez	230	215	430	3,5
Orito	172	114	398	3,7
Mocoa	112	102	379	2,3
Puerto Caicedo	108	88	202	1,9



Puerto Asís	100	85	162	1,9
Villagarzón	36	26	47	1,8
Puerto Guzmán	23	19	34	1,8

Fuente: (Agricultura, 2016)

6.2.1.3. Cultivo de Maíz Tradicional

De la misma forma, los datos recopilados como el área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de maíz tradicional en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017, se pueden observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Maíz Tradicional en Putumayo Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Maíz Tradicional en Putumayo, Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/a)
Total	6.219	3.329	3.745	1,1
Puerto Guzmán	2.540	1.010	1.062	1,1
Puerto Leguizamo	750	402	684	1,7
Orito	600	145	143	1
Puerto Asís	545	189	208	1,1
Sibundoy	290	290	319	1,1
Puerto Caicedo	287	283	307	1,1
San Francisco	260	240	240	1
San Miguel	215	99	89	0,9
Mocoa	210	194	182	0,9
Valle del Guamez	197	167	182	1,1
Otros Municipios	325	310	330	1,1

Fuente: (Agricultura, 2016).

6.2.1.4. Cultivo de Cacao

De igual forma, los datos del área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de cacao en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017, se pueden observar en la Tabla 20.

Tabla 20. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Cacao en Putumayo Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Cacao en Putumayo, Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total	4.524	4.329	2.091	0,5



San Miguel	2.060	2.000	800	0,4
Valle del Guamuez	1.200	1.122	673	0,6
Orito	318	318	159	0,5
Puerto Leguísimo	271	261	157	0,6
Puerto Asís	259	254	127	0,5
Mocoa	205	193	96	0,5
Puerto Guzmán	108	100	40	0,4
Villagarzón	84	64	32	0,5
Puerto Caicedo	20	18	7	0,4

Fuente: (Agricultura, 2016).

6.2.1.5. Cultivo de Chontaduro

La Tabla 21 muestra los datos recopilados que hacen referencia al área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de chontaduro en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017.

Tabla 21. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Chontaduro en Putumayo Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Chontaduro en Putumayo Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total	2.349	2.045	8.875	4,3
Villagarzón	1.028	987	4.442	4,5
Puerto Caicedo	354	279	1.200	4,3
San Miguel	300	150	630	4,2
Puerto Guzmán	271	246	1.033	4,2
Orito	220	220	880	4,0
Puerto Asís	125	120	540	4,5
Mocoa	51	43	151	3,5

Fuente: (Agricultura, 2016).

6.2.1.6. Cultivo de Yuca

La Tabla 22 muestra los datos de acuerdo con el área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de yuca en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017.



Tabla 22. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Yuca en Putumayo
Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Yuca en Putumayo Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total	2.255	2.094	13.570	6,5
Puerto Guzmán	950	930	6.510	7,0
Orito	410	400	1.600	4,0
Puerto Asís	360	340	2.550	7,5
San Miguel	150	80	400	5,0
Valle del Guamuez	120	120	780	6,5
Mocoa	110	91	686	7,5
Puerto Leguízamo	70	60	480	8,0
Villagarzón	63	53	424	8,0
Puerto Caicedo	22	20	140	7,0

Fuente: (Agricultura, 2016).

6.2.1.7. Cultivo de Arroz

Los datos del área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de arroz en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017, se pueden observar en la Tabla 23.

Tabla 23. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Arroz en Putumayo
Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Arroz en Putumayo Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total	1.502	1.093	2.091	1,9
Orito	460	121	224	1,8
Puerto Asís	311	341	614	1,8
Puerto Guzmán	245	200	309	1,5
Puerto Leguízamo	230	210	495	2,4
Puerto Caicedo	110	103	144	1,4
Valle del Guamuez	80	63	124	2,0
Villagarzón	66	55	181	3,3

Fuente: (Agricultura, 2016).



6.2.1.8. Cultivo de Pimienta

Por último, las informaciones recopiladas correspondientes al cultivo de pimienta se pueden ver en la Tabla 24. Se tomaron datos como el área sembrada, área cosechada y rendimiento que tuvieron los cultivos de pimienta en cada uno de los municipios del departamento de Putumayo durante el año 2017.

Tabla 24. Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Pimienta en Putumayo Año 2017

Área Sembrada, Área Cosechada, Producción y Rendimiento del Cultivo de Pimienta en Putumayo Año 2017				
Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
Total	1.244	969	812	0,8
Orito	393	193	97	0,5
Valle del Guamuez	315	283	283	1,0
Puerto Asís	248	238	238	1,0
Puerto Caicedo	124	120	48	0,4
Villagarzón	83	63	56	0,9
San Miguel	55	50	75	1,5
Puerto Guzmán	26	22	15	0,7

Fuente: (Agricultura, 2016).

Una vez cuantificadas las áreas correspondientes a los cultivos agrícolas del departamento del putumayo, se procede a realizar la cuantificación del potencial energético de estos cultivos agrícolas, lo cual se desarrolla mediante la identificación del PCI y la determinación del porcentaje de desechos de cada cultivo. Con esto se obtiene la información necesaria para la creación de los mapas de potencial energético por cultivo y municipio.

6.2.1.9. Principales Cultivos de Putumayo

En los datos recolectados en los años 2016 y 2017, se consolida la producción agrícola en el departamento de Putumayo en cultivos transitorios, permanentes y anuales con un total de área cosechada de 95.758 hectáreas para el año 2016 y 73.219 hectáreas para el año 2017. Según los datos reportados por los municipios productores del Departamento para el año 2017, los cultivos más relevantes son los cultivos de plátano con una participación de 29,8% y un total de 27.572 hectáreas, los cultivos de cacao con una participación de 17,2% y un total de 1.760 hectáreas, y por último los cultivos de maíz con una participación de 13,3% y un total de 6.032 hectáreas.

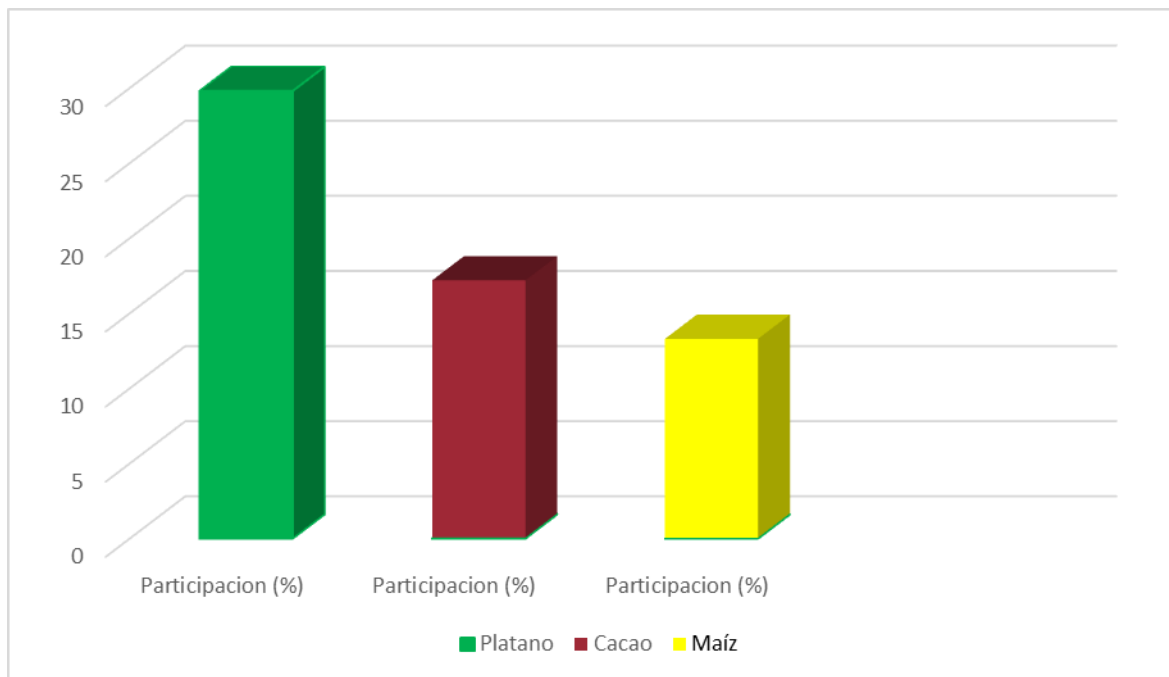


Figura 59. Participación de principales cultivos en el departamento de Putumayo. Fuente: (2016).

3.1.7. Potencial energético de la Biomasa Agrícola por municipio

Con el fin de determinar el potencial energético de la biomasa agrícola del departamento del Putumayo, es necesario antes especificar detalles acerca del procedimiento que se utilizó para obtener el mismo, así como detallar la fundamentación matemática y científica del método utilizado.

6.2.1.10. *Biomasa primaria agrícola*

Para la obtención de la biomasa primaria agrícola es necesario saber, el factor de residuo que tiene cada cultivo, este factor de residuo (RPR) o índice de residuo, es la relación residuo a cultivo, es decir, es la relación existente entre la cantidad de residuos producidos y la cantidad del producto principal obtenido de la cosecha (FAO, Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluación rápida (residuos agrícolas y ganaderos), 2014). Estos índices de residuos fueron recopilados de varias investigaciones previas. Los índices de residuo provenientes de vegetales, tubérculos, hortalizas, frutas y legumbres fueron obtenidos del Instituto Europeo de investigación Sostenible, SERI por sus siglas en inglés (S.E.R.I., 2005) y los índices de residuos provenientes de cultivos con alto valor energético como la caña panelera, caña de azúcar, palma de aceite, café, banano (plátano) y cereales (maíz, cebada y arroz), fueron tomados del atlas de biomasa residual en Colombia (UPME, UPME, 2011). En la Tabla 25 se puede observar el factor o índice de residuo de los cultivos más relevantes de la región, es decir, de los cultivos que más residuos dejan en relación con el producto principal. Para determinar el total de residuos que genera el departamento de Putumayo se partió de la ecuación más básica, implementada en otros estudios como lo expone en su investigación el instituto europeo de investigación sostenible (S.E.R.I., 2005) y es basado en la producción de cosecha.



Es importante aclarar que no toda la biomasa residual será aprovechada ya que intervienen varios factores. Por ejemplo, la tecnología aplicada para que finalmente funcione como fuente alternativa de energía. En conclusión, la obtención de biomasa residual a partir de desechos agrícolas resultó de la siguiente ecuación:

$$Biomasa_{agricola} = Produccion_{agricola}(ton) * Factor\ de\ residuo\ (RPR)$$

Ecuación 2

Tabla 25. Factor de residuo de los cultivos más relevantes en Putumayo

No.	Fuente de biomasa	Tipo residuo (primario)	Factor de residuo
1	Plátano	Raquis de plátano	1
		Vástago de plátano	5
2	Maíz	Rastrojo	0,93
		Tusa	0,27
		Capacho	0,21
3	Café	Tallos	3,02
4	Arroz	Tamo	2,35
5	Caña panelera	Hojas – Cogollo	3,75
6	Cacao	Hojas	0,45
7	Yuca	Tallos	0,13
8	Frijol	Tallos, Hojas	1,4

Fuente: (UPME U. I., 2011)

Para el departamento de Putumayo se consideró el total de residuos que genera cada cosecha y a su vez se determinó el potencial energético total que se podría obtener.

6.2.1.11. Poder calorífico de residuos agrícolas

La biomasa representa una fuente de energía basada en carbono de origen renovable. En general las transformaciones de biomasa suponen un balance energético neutro en CO₂ y a la vez favorecen la diversificación energética. La composición de la biomasa varía según su procedencia. En forma general, la biomasa (en base seca, porcentaje en masa) están constituida por carbono de 45- 52%, hidrogeno de 4-7% y oxígeno de 42-50%, con cantidades menores de nitrógeno y azufre. En cuanto a su composición, contiene una gran cantidad de materia volátil 70-80%, cenizas de 0.5-5%, siendo el resto carbono fijo (Carbon, 2014).

Para determinar el potencial energético que tienen los desechos orgánicos es necesario conocer de ante mano el poder calorífico que tienen. Del atlas de biomasa residual en Colombia se extrajeron algunos residuos con su respectivo poder calorífico inferior (PCI). En la Tabla 26 se pueden observar los residuos orgánicos que tienen mayor valor energético y el tipo de residuo primario producto de los procesos de cosecha.



Tabla 26. Poder calorífico inferior para biomasa agrícola

No.	Cultivo	Tipo residuo (primario)	Pci(mj/ton)
1	Palma de aceite	Raquis	16823,864
	Caña de azúcar	Hojas y cogollo	1513,856
2	Caña panelera	Hojas y cogollo	1513,856
	Café	Hojas y tallo	18342,656
	Maíz	Rastrojo	14356
		Tusa	14193
		Capacho	15972
3	Arroz	Tamo	13870
4	Banano	Raquis	7568,856
		Vástago	8501,888
5	Plátano	Raquis	7568,856
		Vástago	8501,888

Fuente: (UPME U. I., 2011)

6.2.1.12. Estimación del potencial energético

Una vez obtenida la masa residual orgánica y el poder calorífico de cada uno de los desechos agrícolas, se podría estimar el potencial energético. De esta forma es posible estimar la energía que podría tener el departamento de Putumayo a partir de estos residuos primarios sin tener en cuenta la tecnología aplicada. Se debe aclarar que la tecnología o el proceso de conversión energética que debería tener la biomasa, influirían en la determinación de potencial reduciendo este valor. Según el estudio realizado por la UPME en el atlas de biomasa residual en Colombia, todas las tecnologías: térmicas y biológicas pueden ser aplicadas a los residuos orgánicos agrícolas (UPME, UPME, 2011). Es así como se estima un potencial energético base que tendría la región y cada provincia del departamento del Putumayo:

$$\text{Potencial energético}(MJ) = \text{Biomasa}_{\text{Agrícola}}(\text{ton}) * PCI \left(\frac{MJ}{\text{ton}} \right)$$

Ecuación 3

Debido a las características de los residuos, generados por los cultivos en procesos de cosecha, las tecnologías que mejor son aplicadas para la conversión energética son los procesos termoquímicos, como pirolisis y gasificación. El proceso de la gasificación es una combustión que se realiza en atmosfera con bajo volumen de oxígeno, en el cual se genera una corriente gaseosa y un residuo sólido con propiedades combustibles. Por medio del proceso de gasificación se puede llegar a una eficiencia de 81% o más, dependiendo de las características del residuo (Rentizelas, 2009). Para los procesos de gasificación integrados a la producción de energía eléctrica se tienen eficiencias entre el 28 y 36% (Gomez, 2013). El proceso de pirolisis se denomina al calentamiento de un material biomédico en ausencia total de oxígeno y agentes oxidantes, a temperaturas que alcanzan los 700 °C. De acuerdo con la temperatura y velocidad, para producir descomposición térmica de la biomasa pueden obtenerse tres productos principales: solido, líquido y gas (Carbon, 2014).

Existen cuatro tipos de pirolisis los cuales se denominan pirolisis rápida, intermedia, lenta o carbonización y gasificación. Para la pirolisis rápida se tiene una temperatura de 500°C, donde los resultados finales pueden ser líquido con una eficiencia de 75%, producto solido con una eficiencia 12% y gas con una eficiencia de 13%. El proceso de pirolisis intermedia usa un rango de temperatura de hasta 500 °C donde el producto final es líquido con una eficiencia de 50%, solido con una eficiencia 20% y gas con una eficiencia de 20%. El proceso de pirolisis lenta o carbonización se tiene un rango de temperaturas de hasta 400°C, donde el resultado final puede ser líquido con eficiencia de 30%, solido con una eficiencia de 35% y gas con una eficiencia de 30%. El proceso de gasificación usa rangos de temperaturas de hasta 800°C y el resultado final puede ser líquido con una eficiencia 5%, solido con una eficiencia 10% y gas con una eficiencia de 85% (Barrera, 2012). De lo anterior se observa que del proceso de pirolisis para una aplicación de conversión energética resulta factible la producción de gas, y el uso de gas para la producción de energía eléctrica se registra una eficiencia de 43% (Barrera, 2012). De esta manera, dependiendo del uso final que se requiera, a la biomasa como fuente energética debe aplicarse los factores de corrección o eficiencia que presenta cada tecnología o proceso de conversión.

Con el fin de realizar la estimación del potencial energético, se analizaron cada uno de los cultivos que tienen mayor influencia y producción en el departamento de Putumayo, teniendo en cuenta tanto los cultivos permanentes (caña panelera, plátano, etc.) como los cultivos transitorios (arroz, maíz, etc.). Esto llevó a identificar el tipo de residuo utilizado en el proceso de la estimación. Los datos como el factor de residuo (RPR) y el poder calorífico inferior (PCI) se tomaron del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (UPME, UPME, 2011).

6.2.1.13. Colon

Basándose en la base de datos escogida, que fue la correspondiente a las evaluaciones agropecuarias municipales correspondientes al año 2017 del ministerio de agricultura, para el municipio de Colon no se registra participación importante y/o considerable de alguno de los cultivos que se tienen como casos de estudio en el presente trabajo. (Rural, 2017)

6.2.1.14. Mocoa

El municipio de Mocoa se caracteriza por ser un municipio en el cual se han destinado grandes extensiones de tierra para los cultivos de plátano, que llegan a ser hasta 5 veces más grandes en comparación con los demás cultivos que están presentes en este municipio. Esto representa que sea el cultivo con mayor potencial de aporte de biomasa agrícola para la generación de energía debido a su alta producción, su alto factor de residuo y PCI, tal como se observa en la Tabla 27.

Tabla 27. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Mocoa, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	2.682	Raquis	1	2.682,0	7.568,86	20.299.671,79	5,639



			Vástago	5	13.410,0	8.501,888	114.010.318,08	31,670
2	Caña panelera	379	Bagazo	2,53	958,9	4.456	4.272.724,72	1,187
			Hojas, Cogollo	3,75	1.421,3	15.413,86	21.906.942,84	6,085
3	Maíz tradicional	182	Rastrojo	0,93	169,3	14.356	2.429.896,56	0,675
			Tusa	0,27	49,1	14.193	697.444,02	0,194
			Capacho	0,21	38,2	15.972	610.449,84	0,170
4	Cacao	96	Hojas	1	96,0	8.995,60	863.577,60	0,240
5	Yuca	686	Tallo	0,13	89,18	9.001	802.709,18	0,223
6	Total	3.586	-	-	18.913,98	-	165.893.734,63	46,083

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.15. Orito

El municipio de Orito se caracteriza por ser un municipio en el cual la extensión de tierra para los cultivos de plátano llega a ser hasta 2 veces más grandes en comparación con los demás cultivos que están presentes en este municipio. El cultivo de yuca también representa una participación importante en cuanto a producción, pero debido al bajo factor de residuo que tiene, su aporte de biomasa agrícola para la generación de energía eléctrica es mínimo en la estimación del potencial energético, lo cual hace que el cultivo de plátano y su alto factor de residuo y producción sea quien aporte más biomasa para la generación de energía eléctrica, como se puede observar en la Tabla 28.

Tabla 28. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Orito, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	2.924	Raquis	1	2.924,0	7.568,86	22.131.334,94	6,148
			Vástago	5	14.620,0	8.501,888	124.297.602,56	34,527
2	Caña panelera	398	Bagazo	2,53	1.006,9	4.456	4.486.924,64	1,246
			Hojas, Cogollo	3,75	1.492,5	15.413,86	23.005.180,08	6,390
3	Maíz tradicional	143	Rastrojo	0,93	133,0	14.356	1.909.204,44	0,530
			Tusa	0,27	38,6	14.193	547.991,73	0,152
			Capacho	0,21	30,0	15.972	479.639,16	0,133
4	Cacao	159	Hojas	1	159,0	8.995,60	1.430.300,40	0,397



5	Arroz	224	Tamo	2,35	526,4	13.870	7.301.168,00	2,028
6	Yuca	1.600	Tallo	0,13	208,0	9.001	1.872.208,00	0,520
7	Total	5.448	-	-	21.138,49	-	187.461.553,95	52,077

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.16. Puerto Asís

El municipio de Puerto Asís se caracteriza por ser un municipio que ha destinado una considerable extensión de tierra para darle un fin productivo usando cultivos de yuca. Esta extensión llega a ser hasta 4 veces más grande en comparación con los demás cultivos que tienen participación en este municipio. Sin embargo, su aporte en energía es muy bajo debido a su factor de residuo, lo cual hace que el cultivo de plátano sea el cultivo que más aportaría biomasa agrícola en la estimación del potencial energético, ya que tiene un factor de residuo alto, en comparación con los demás cultivos tomados en este caso de estudio, tal como se puede observar en la Tabla 29.

Tabla 29. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Asís, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	623	Raquis	1	623,0	7.568,86	4.715.399,78	1,310
			Vástago	5	3.115,0	8.501,888	26.483.381,12	7,3565
2	Caña panelera	162	Bagazo	2,53	409,86	4.456	1.826.336,16	0,507
			Hojas, Cogollo	3,75	607,5	15.413,86	9.363.919,95	2,601
3	Maíz tradicional	208	Rastrojo	0,93	193,44	14.356	2.777.024,64	0,7714
			Tusa	0,27	56,16	14.193	797.078,88	0,2214
			Capacho	0,21	43,68	15.972	697.656,96	0,1938
4	Cacao	127	Hojas	1	127,0	8.995,60	1.142.441,2	0,317
5	Arroz	614	Tamo	2,35	1.442,9	13.870	20.013.023,0	5,559
6	Yuca	2.550	Tallo	0,13	331,5	9.001	2.983.831,50	0,829
7	Total	4.284	-	-	6.950,04	-	70.800.093,19	19,667

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.17. Puerto Caicedo

El municipio de Puerto Caicedo es un municipio en el cual el cultivo de plátano y el cultivo de maíz son por excelencia los cultivos de mayor participación, siendo el primero el que mayor producción por área

sembrada posee. Esto hace que el cultivo de plátano sea el que más aporte biomasa agrícola para la generación energía, debido a su factor de residuo alto en comparación con los demás cultivos tomados en este caso de estudio, tal como se puede observar en la Tabla 30.

Tabla 30. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Caicedo, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	847	Raquis	1	847,0	7.568,86	6.410.824,42	1,7807
			Vástago	5	4.235,0	8.501,888	36.005.495,68	10,0015
2	Caña panelera	202	Bagazo	2,53	511,06	4.456	2.277.283,36	0,6325
			Hojas, Cogollo	3,75	757,5	15.413,86	11.675.998,95	3,2433
3	Maíz tradicional	307	Rastrojo	0,93	285,51	14.356	4.098.781,56	1,1385
			Tusa	0,27	82,89	14.193	1.176.457,77	0,3267
			Capacho	0,21	64,47	15.972	1.029.714,84	0,2860
4	Cacao	7	Hojas	1	7,0	8.995,60	62.969,2	0,0175
5	Arroz	144	Tamo	2,35	338,4	13.870	4.693.608,0	1,303
6	Yuca	140	Tallo	0,13	18,2	9.001	163.818,2	0,0455
7	Total	1.647	-	-	7.147,03	-	67.594.951,98	18,7763

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.18. Puerto Guzmán

El municipio de Puerto Guzmán se caracteriza por ser un municipio que ha destinado una considerable extensión de tierra para darle un fin productivo usando cultivos de plátano, siendo así como este cultivo es el que tendría el aporte más alto en cuanto a biomasa agrícola para la estimación del potencial energético, debido a su alto factor de residuo y PCI, tal como se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 31. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Guzmán, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	6.832	Raquis	1	6.832,0	7.568,86	51.710.451,52	14,364



			Vástago	5	34.160,0	8.501,888	290.424.494,1	80,673
2	Caña panelera	34	Bagazo	2,53	86,02	4.456	383.305,12	0,106
			Hojas, Cogollo	3,75	127,5	15.413,86	1.965.267,15	0,546
3	Maíz tradicional	1.062	Rastrojo	0,93	987,66	14.356	14.178.846,96	3,938
			Tusa	0,27	286,74	14.193	4.069.700,82	1,130
			Capacho	0,21	223,02	15.972	3.721.795,44	1,0338
4	Cacao	40	Hojas	1	40,0	8.995,60	359.824,0	0,0999
5	Arroz	309	Tamo	2,35	726,15	13.870	10.071.700,5	2,797
6	Yuca	6.510	Tallo	0,13	846,3	9.001	7.617.546,3	2,116
7	Total	14.787	-	-	44.315,39	-	384.206.077,11	106,724

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.19. Puerto Leguízamo

El municipio de Puerto Leguízamo es un municipio en el cual el cultivo de plátano y el cultivo de caña panelera han sido los cultivos de mayor participación, siendo el primero el que mayor producción por área sembrada posee. Esto hace que el cultivo de plátano sea el que más aporte tenga en cuanto a biomasa agrícola para generación de energía, debido a su factor de residuo alto en comparación con los demás cultivos tomados, tal como se puede observar en la Tabla 32.

Tabla 32. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Puerto Leguízamo, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	10.610	Raquis	1	10.610,0	7.568,86	80.305.604,6	22,307
			Vástago	5	53.050,0	8.501,888	451.025.158,4	125,284
2	Caña panelera	740	Bagazo	2,53	1.872,2	4.456	8.342.523,2	2,317
			Hojas, Cogollo	3,75	2.775,0	15.413,86	42.773.461,5	11,881
3	Maíz tradicional	684	Rastrojo	0,93	636,12	14.356	9.132.138,72	2,536
			Tusa	0,27	184,68	14.193	2.621.163,24	0,728
			Capacho	0,21	143,64	15.972	2.294.218,08	0,637
4	Cacao	157	Hojas	1	157,0	8.995,60	1.412.309,2	0,392



5	Arroz	495	Tamo	2,35	1.163,25	13.870	16.134.277,5	4,481
6	Yuca	480	Tallo	0,13	62,4	9.001	561.662,4	0,156
7	Total	13.166	-	-	70.654,29	-	614.602.516,84	170,723

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.20. San Francisco

El municipio de San Francisco es un municipio en el cual el cultivo de maíz tradicional es el cultivo que más participación tiene, según las bases de datos que se tomaron para la recopilación de los datos (Rural, 2017). Esto hace que este cultivo sea el que aporte en cuanto a biomasa agrícola para generación de energía se trata, tal como se puede observar en la Tabla 33.

Tabla 33. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de San Francisco, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Maíz tradicional	240	Rastrojo	0,93	223,2	14.356	3.204.259,2	0,89
			Tusa	0,27	64,8	14.193	919.706,4	0,255
			Capacho	0,21	50,4	15.972	804.988,8	0,223
2	Total	240	-	-	338.4	-	4.928.954,4	1,37

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.21. San Miguel

San Miguel es un municipio en el cual el cultivo de plátano y el cultivo de cacao han sido los cultivos de mayor participación, siendo el primero el que más producción por área sembrada posee. Esto hace que el cultivo de plátano sea el que más aportaría en cuanto a biomasa agrícola para generación de energía se trata, debido a su factor de residuo alto en comparación con los demás cultivos tomados, tal como se puede observar en la Tabla 34.

Tabla 34. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de San Miguel, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	1.508	Raquis	1	1.508,0	7.568,86	11.413.840,88	3,17
			Vástago	5	7.540,0	8.501,888	64.104.235,52	17,806
2		412	Bagazo	2,53	1.042,36	4.456	4.644.756,16	1,29



	Caña panelera		Hojas, Cogollo	3,75	1.545,0	15.413,86	23.814.413,7	6,615
3	Maíz tradicional	89	Rastrojo	0,93	82,77	14.356	1.188.246,12	0,33
			Tusa	0,27	24,03	14.193	341.057,79	0,094
			Capacho	0,21	18,69	15.972	298.516,58	0,083
4	Cacao	800	Hojas	1	800,0	8.995,60	7.196.480,0	1,999
5	Yuca	400	Tallo	0,13	52,0	9.001	468.052,0	0,13
6	Total	3.209	-	-	12.612,85	-	113.469.598,75	31,519

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.22. Santiago

De acuerdo con las evaluaciones agropecuarias municipales correspondientes al año 2017 del Ministerio de Agricultura, para el municipio de Santiago no se registra participación importante y/o considerable de alguno de los cultivos que se tienen como casos de estudio en el presente trabajo. (Rural, 2017)

6.2.1.23. Sibundoy

Sibundoy es un municipio en el cual el cultivo de maíz tradicional es el que más participación tiene (Rural, 2017). Esto hace que este cultivo sea el que aportaría al potencial de biomasa agrícola para generación de energía, tal como se puede observar en la Tabla 35.

Tabla 35. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Sibundoy, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Maíz tradicional	319	Rastrojo	0,93	296,67	14.356	4.258.994,52	1,183
			Tusa	0,27	86,13	14.193	1.222.443,09	0,339
			Capacho	0,21	66,99	15.972	1.069.964,28	0,297
2	Total	319	-	-	449,79	-	6.551.401,89	1,819

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.24. Valle de Guamuez

Valle de Guamuez es un municipio en el cual el cultivo de plátano y el cultivo de yuca han sido los cultivos de mayor participación y producción, siendo el primero el de mayor relación por área sembrada. Esto hace que el cultivo de plátano sea el que más aporte potencial tenga, debido a su factor de residuo alto en comparación con los demás cultivos tomados en el caso de estudio, tal como se puede observar en la Tabla 36.



Tabla 36. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Valle de Guamez, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	1.287	Raquis	1	1.287,0	7.568,86	9.741.122,82	2,705
			Vástago	5	6.435,0	8.501,888	54.709.649,28	15,197
2	Caña panelera	430	Bagazo	2,53	1.087,9	4.456	4.847.682,4	1,346
			Hojas, Cogollo	3,75	1.612,5	15.413,86	24.854.849,25	6,904
3	Maíz tradicional	182	Rastrojo	0,93	169,26	14.356	2.429.896,56	0,675
			Tusa	0,27	49,14	14.193	697.444,02	0,193
			Capacho	0,21	38,22	15.972	610.449,84	0,169
4	Cacao	673	Hojas	1	673,0	8.995,60	6.054.038,8	1,681
5	Arroz	124	Tamo	2,35	291,4	13.870	4.041.718,0	1,122
6	Yuca	780	Tallo	0,13	101,4	9.001	912.701,4	0,253
7	Total	3.476	-	-	11.744,82	-	108.899.552,37	30,249

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

6.2.1.25. Villagarzón

El municipio de Villagarzón se caracteriza por ser un municipio que ha destinado una considerable extensión de tierra para fin productivo usando cultivos de yuca. Sin embargo, pero para el interés del presente estudio, su aporte en energía es muy bajo debido a su factor de residuo, lo cual hace que el cultivo de plátano sea el cultivo que más aporta biomasa agrícola, ya que tiene un alto factor de residuo en comparación con los demás cultivos , tal se puede observar en la Tabla 37.

Tabla 37. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el municipio de Villagarzón, departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	260	Raquis	1	260,0	7.568,86	1.967.903,6	0,546
			Vástago	5	1.300,0	8.501,888	11.052.454,4	3,070
2		47	Bagazo	2,53	118,91	4.456	529.862,96	0,147



	Caña panelera		Hojas, Cogollo	3,75	176,25	15.413,86	2.716.692,825	0,754
3	Cacao	32	Hojas	1	32,0	8.995,60	287.859,2	0,079
4	Arroz	181	Tamo	2,35	425,35	13.870	5.899.604,5	1,638
5	Yuca	424	Tallo	0,13	55,12	9.001	496.135,12	0,137
6	Total	944	-	-	2.367,63	-	22.950.512,61	6,375

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

92

La Tabla 38 muestra el compilado general para cada uno de los cultivos que tienen participación en los municipios del departamento del Putumayo. Con estos datos recopilados se determinó la energía total tanto en MJ como en GWH. El cultivo de plátano es el producto con mayor participación y producción en, y, por consiguiente, es el cultivo que más energía proporciona al estudio de la estimación del potencial energético.

Tabla 38. Producción, residuo generado y potencial energético de cultivos en el departamento de Putumayo

No.	Cultivo	Producción (Ton)	Tipo de residuo	Factor de residuo (RPR)	Cantidad de residuo (Ton)	PCI (MJ/Ton)	Energía total (MJ)	Energía total (GWH)
1	Plátano	27.572	Raquis	1	27.572,0	7.568,86	208.688.497,63	57,969
			Vástago	5	137.860,0	8.501,888	1.172.070.279,68	325,575
2	Caña panelera	2.803	Bagazo	2,53	7.091,6	4.456	31.600.125,04	8,778
			Hojas, Cogollo	3,75	10.511,3	15.413,86	162.018.893,88	45,005
3	Maíz tradicional	3.745	Rastrojo	0,93	3.482,9	14.356	49.999.794,60	13,889
			Tusa	0,27	1.011,2	14.193	14.351.251,95	3,986
			Capacho	0,21	786,5	15.972	12.561.179,40	3,489
4	Cacao	2.091	Hojas	1	2.091,0	8.995,60	18.809.799,60	5,225
5	Arroz	2.091	Tamo	2,35	4.913,9	13.870	68.155.099,50	18,932
6	Yuca	13.570	Tallo	0,13	1764,1	9.001	15.878.664,10	4,411
7	Frijol	1.168	Tallo, hoja	1,4	1635,2	9.001	14.718.435,20	4,088
8	Total	53.040	-	-	198.719,4	-	1.768.852.020,58	491,348

Fuente: Adaptación propia con información de (UPME U. I., 2011) y (PERS Cundinamarca , 2017)

La tabla anterior se puede observar gráficamente en la Figura 60.

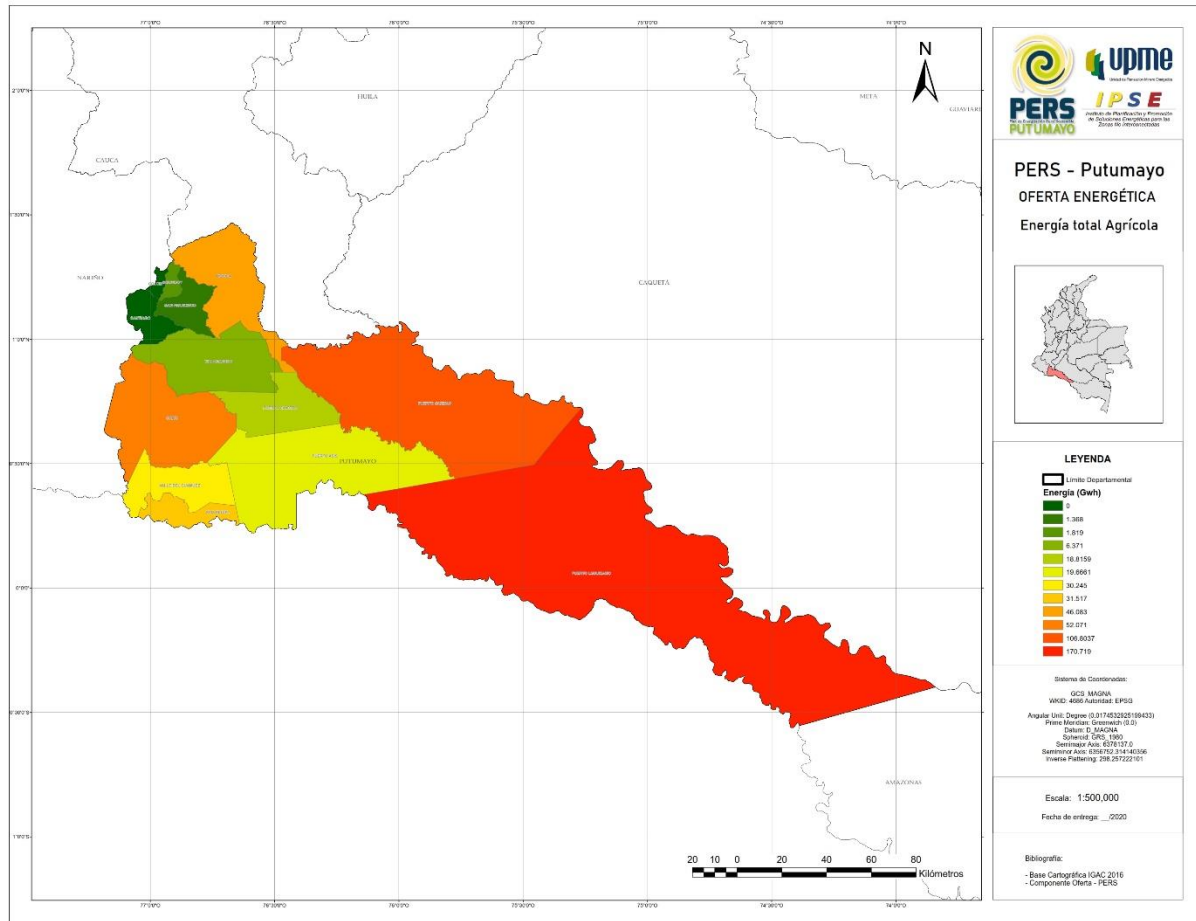


Figura 60. Potencial energético Agrícola Total del Putumayo. Fuente: Propia.



3.1.8. Potencial energético de la Biomasa Agrícola por Cultivo

6.2.1.26. Arroz

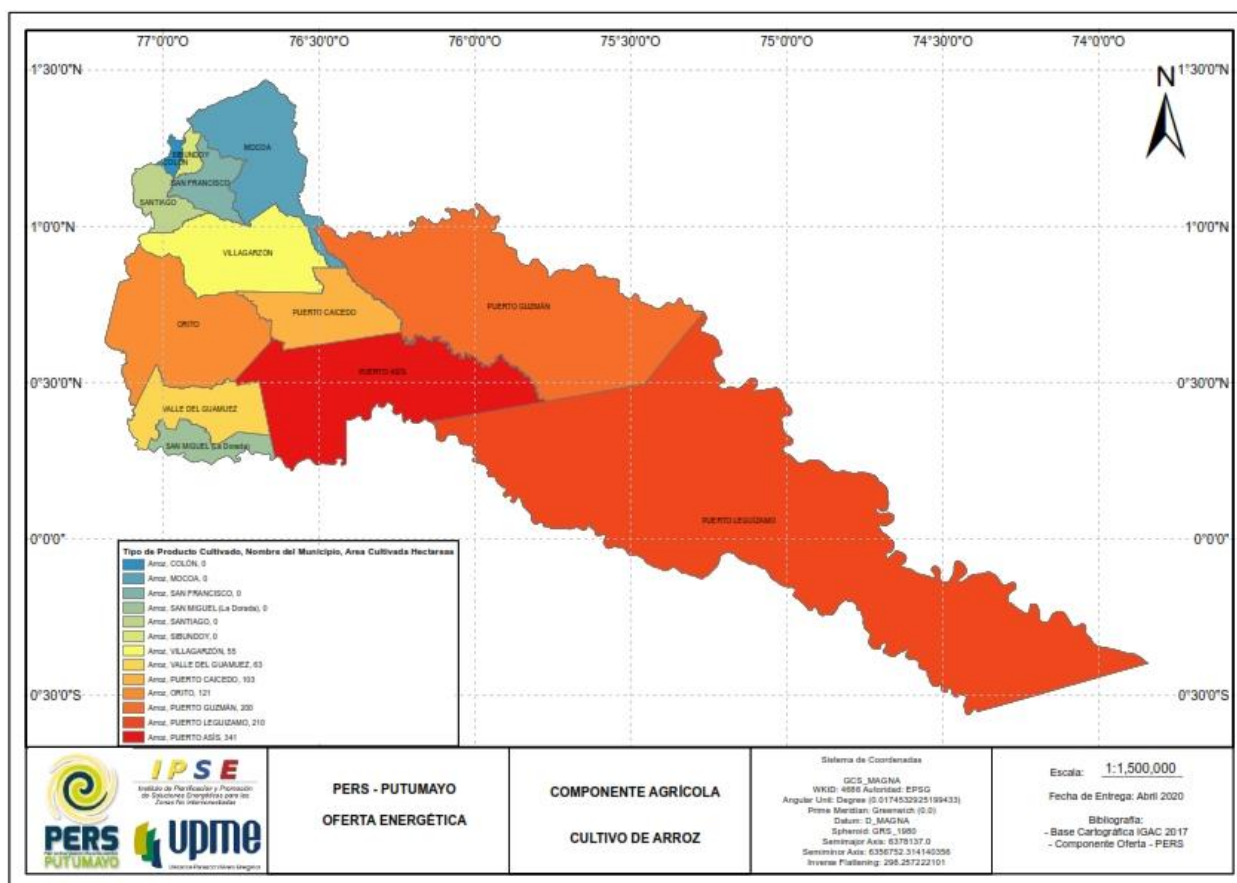


Figura 61. Potencial energético de los cultivos de Arroz en el Putumayo. Fuente: Propia.

En la anterior figura se puede observar que los municipios con mayor potencial energético a partir de los cultivos de arroz son Puerto Asís, Puerto Leguizamó y Puerto Guzmán. Además, se observa que no existe participación representativa de los municipios Colon, Mocoa, San Francisco, San Miguel, Santiago y Sibundoy.



6.2.1.27. Cacao

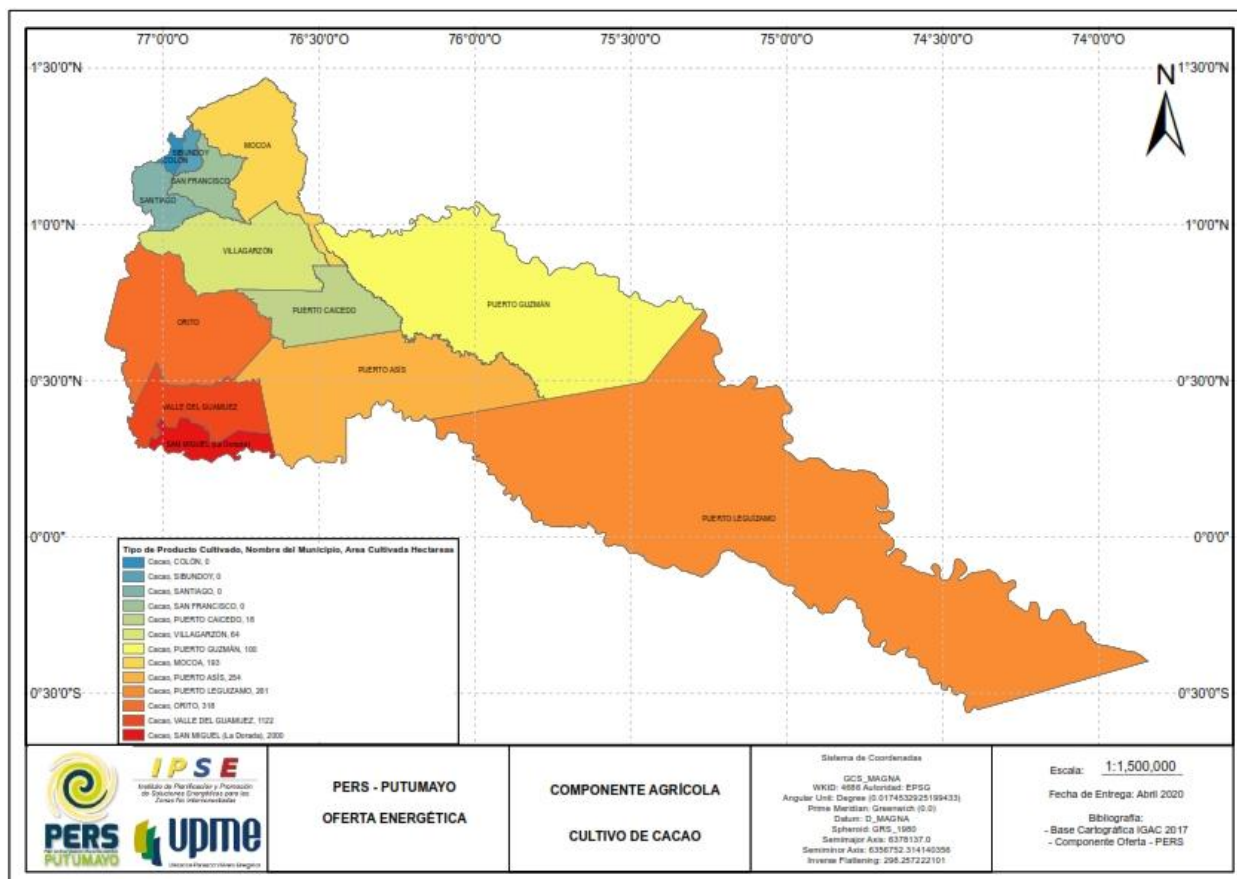


Figura 62. Potencial energético de los cultivos de Cacao en el Putumayo. Fuente: Propia.

La Figura 62 muestra que los municipios con mayor potencial energético a partir de los cultivos de cacao son San Miguel, Valle de Guamuez, Orito y Puerto Leguizamo. Además, se observa que no existe participación representativa de los municipios Colon, San Francisco, Santiago y Sibundoy.



6.2.1.28. Caña Panelera

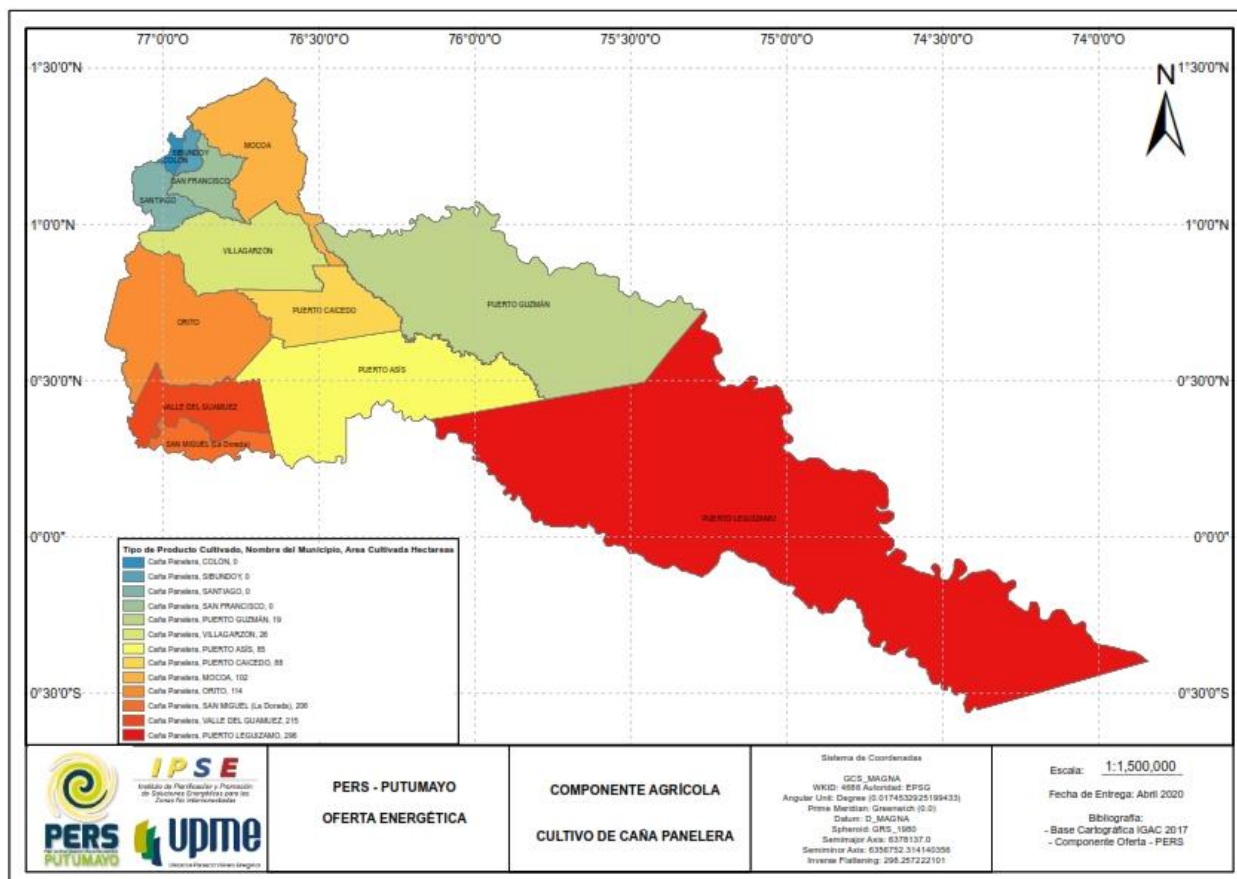


Figura 63. Potencial energético de los cultivos de Caña Panelera en el Putumayo. Fuente: Propia.

La Figura 63 muestra que los municipios con mayor potencial energético a partir de los cultivos de Caña Panelera son Puerto Leguizamo, Valle de Guamuez y San Miguel. No existe participación representativa de los municipios Colon, Santiago y Sibundoy.



6.2.1.29. Maíz

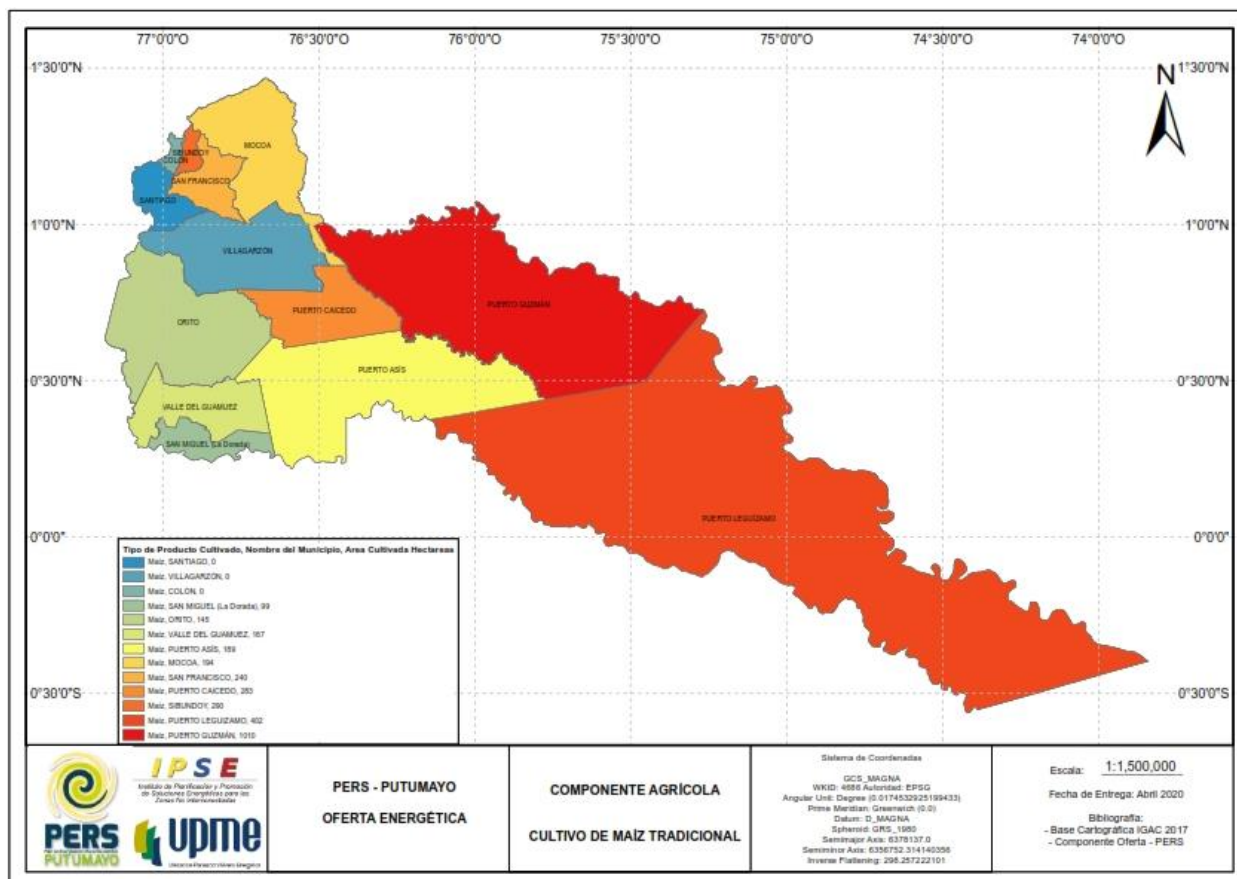


Figura 64. Potencial energético de los cultivos de Maíz en el Putumayo. Fuente: Propia.

La Figura 64 muestra que los municipios con mayor potencial energético a partir de los cultivos de Maíz son Puerto Guzmán, Sibundoy y Puerto Caicedo. No existe participación representativa de los municipios Colon, Santiago y Villagarzón.



6.2.1.30. Plátano

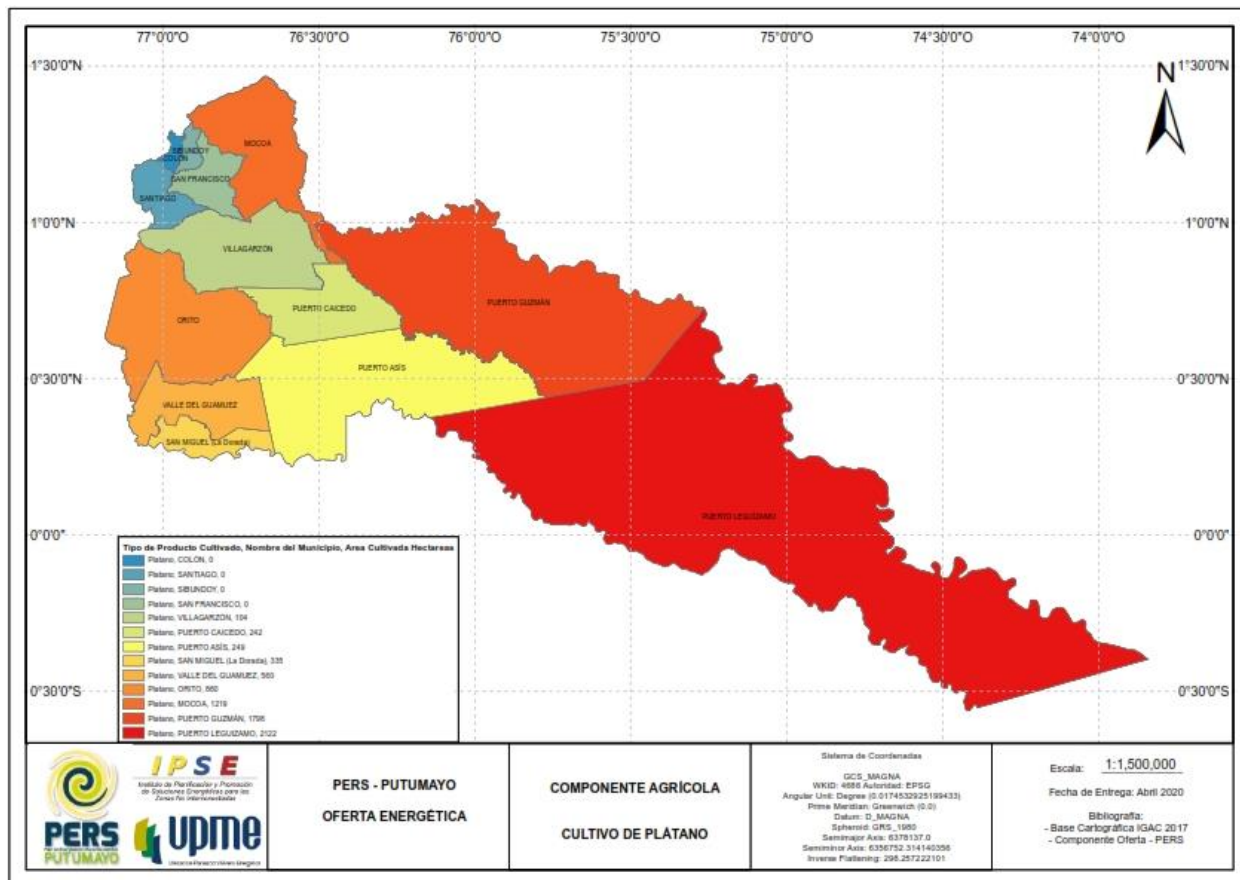


Figura 65. Potencial energético de los cultivos de Plátano en el Putumayo. Fuente: Propia.

La Figura 65 muestra que los municipios con mayor potencial energético a partir de los cultivos de Maíz son Puerto Leguizamón, Puerto Guzmán, y Orito. No existe participación representativa de los municipios Colon, San Francisco, Santiago y Sibundoy.



6.2.1.31. Yuca

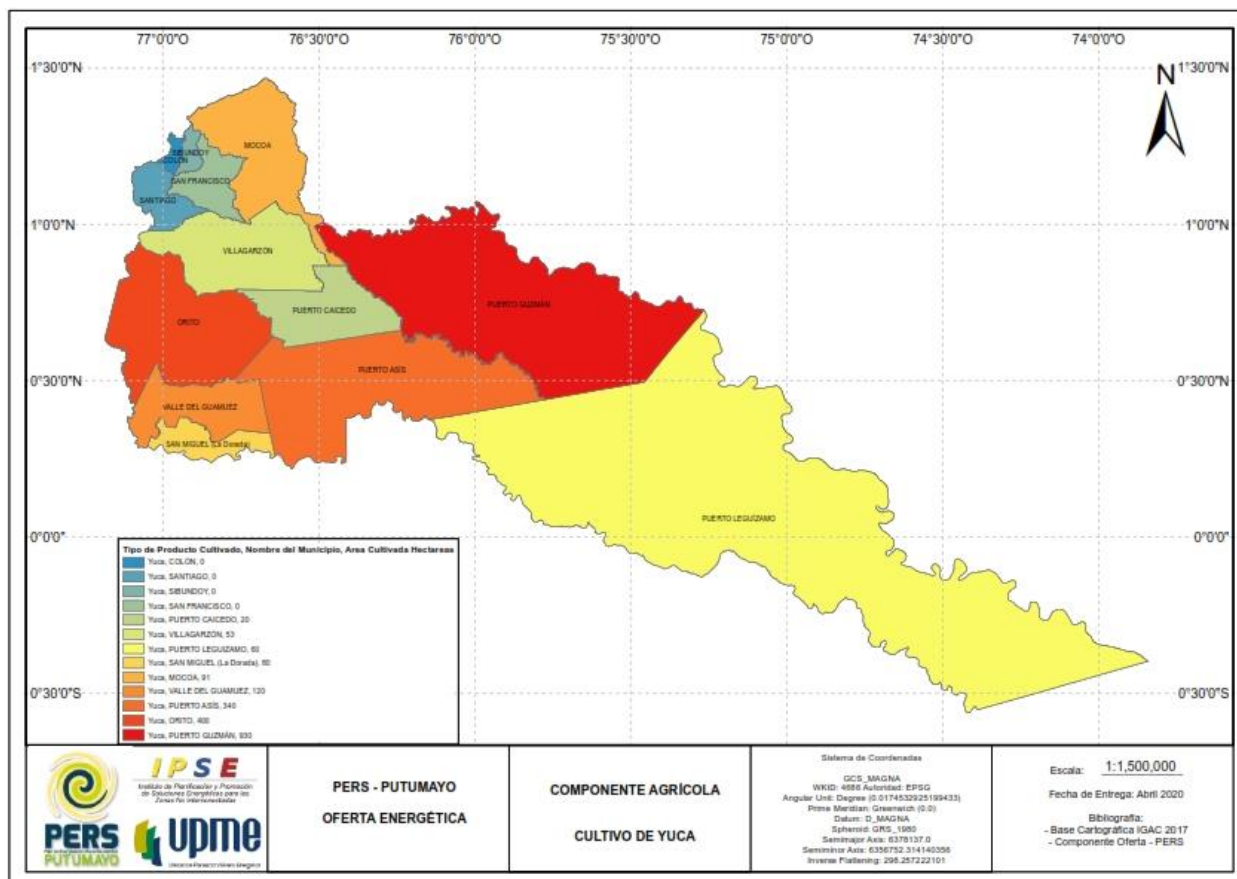


Figura 66. Potencial energético de los cultivos de Plátano en el Putumayo. Fuente: Propia.

La Figura 66 muestra que los municipios con mayor potencial energético a partir de los cultivos de Maíz son Puerto Guzmán, Puerto Asís y Orito. No existe participación representativa de los municipios Colon, San Francisco, Santiago y Sibundoy.



6.3. BIOMASA FORESTAL

Corresponde a la equivalencia de materia orgánica en un ecosistema forestal, por encima y por debajo del suelo. Es común realizar su caracterización por medio de sus componentes, tales como fuste, ramas, hojas, cortezas, raíces, hojarasca y madera muerta. Esta información permite determinar la cantidad de carbono y los elementos químicos existentes en sus componentes (Schlegel, 2000).

La biomasa forestal se encuentra conformada por los residuos de bosques, bien sea formados de manera natural, o por medio de plantaciones de bosques destinadas a la repoblación de zonas ya utilizadas.

Con el fin de determinar el potencial energético de la biomasa forestal del departamento del Putumayo, es necesario antes especificar detalles acerca del procedimiento que se utilizó para obtener el mismo, así como detallar la fundamentación matemática y científica del método utilizado.

100

3.1.9. Potencial de la Biomasa

Es la cantidad de recursos de biomasa forestal con los que cuenta una zona, destinadas para la obtención de calor y electricidad. Dentro de las principales fuentes de biomasa forestal se tienen los productos resultantes del raleo, plantaciones energéticas, residuos de aserrado, desechos del mantenimiento de parques naturales y potencial maderable no utilizado del manejo forestal (Andrade, 2009).

3.1.10. Sistema de zonas de vida Holdridge

Es un esquema utilizado para la clasificación de las diferentes áreas terrestres, a partir de su comportamiento bioclimático. Está basado en la vegetación y fisionomía. Fue desarrollado por el botánico y climatólogo Leslie Holdridge, quien definió el concepto de zona de vida como: *“Una zona de vida es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, que se hacen teniendo en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, y que tienen una fisionomía similar en cualquier parte del mundo”* (Holdridge, 1967).

La determinación de la zona de vida se lleva a cabo por medio del diagrama de Holdridge, donde se ubica en primera instancia la biotemperatura promedio anual del territorio que se desea evaluar. A continuación, se localiza el punto de unión entre dicha biotemperatura y la precipitación anual. Luego se procede con la visualización del piso altitudinal y se obtiene la región latitudinal.

3.1.11. Energía y exergía

Se entiende por energía a todo aquello que puede ser transformado en movimiento. También se define como la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo, de tal manera que se conserva mientras se transfiere dicha capacidad (Silvestrini, 2000).

La exergía por su parte es una medida de la desviación de equilibrio termodinámico con relación al medio ambiente, y representa la capacidad máxima de energía para realizar un trabajo útil (Prins, 2005).

Por medio de la Tabla 39 se presentan las diferencias presentes entre energía y exergía.



Tabla 39. Diferencias entre energía y exergía

Energía	Exergía
Depende solamente de los parámetros de flujo de materia o de energía, y es independiente de los parámetros de entorno, alrededores o ambiente	Depende tanto de los parámetros de flujo de materia o de energía, como de los parámetros del entorno.
Toma valores diferentes de cero	Es igual a cero (en el equilibrio con el entorno)
Se guía por la primera ley de la termodinámica para todos los procesos	Se guía por la primera ley de la termodinámica para procesos reversibles sólo (en los procesos irreversibles que se destruye parcial o completamente)
Está limitado por la segunda ley de la termodinámica para todos los procesos (incluidos los procesos reversibles)	No está limitada por los procesos reversibles, debido a la segunda ley de la termodinámica.
Es la capacidad para producir el movimiento	Es la capacidad para producir trabajo
Se conserva siempre en un proceso, por lo que tampoco se puede destruir o producido.	Siempre se conserva en un proceso reversible, pero siempre se consume en un proceso irreversible.
Es una medida de la cantidad de la capacidad para producir movimiento	Es una medida de la cantidad y calidad debido a la entropía, de la capacidad de producir trabajo
Para vacío ideal es igual a cero	Para vacío ideal es positivo
En caso de gas ideal no depende de la presión	Siempre depende de la presión
Puede ser calculada sobre la base de cualquier estado de referencia	El estado de referencia este impuesto por el ambiente, el cual puede variar
Se incrementa con un aumento en la temperatura	Para procesos isobáricos alcanza un mínimo a la temperatura del ambiente; a temperaturas más bajas se incrementa con la caída de la temperatura

Fuente: (Lozano, 2014)

3.1.12. Análisis próximo y elemental

El análisis próximo es el método utilizado para determinar el contenido de humedad, ceniza y materia volátil de un biocombustible. En el análisis elemental se toma el contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre del elemento en estudio. El contenido de oxígeno se halla como la diferencia de 100% y los porcentajes máxicos en base seca de los elementos mencionados (García, 2012).

3.1.13. Poder calorífico

Corresponde a la energía liberada por unidad de masa o volumen del combustible al quemarse. El poder calorífico puede ser superior o inferior, el primero se determina suponiendo que todos los elementos de la combustión son tomados a 0°C, al igual que los gases de combustión, bajo condiciones de condensación total del vapor de agua. El poder calorífico inferior considera que el vapor de agua presente en los gases de combustión no se condensa, lo que implica que no existe un aumento de calor por condensación de vapor y se dispone únicamente del calor de oxidación propio del combustible (Estrada, 2007).

3.1.14. Metodología

La caracterización de la oferta energética en materia de biomasa forestal para el departamento de Putumayo se desarrolló en cuatro etapas fundamentales: recolección de información en cuanto a los recursos forestales presentes, verificación y corrección de la información obtenida, caracterización de la biomasa forestal, y cálculo del potencial energético junto con su ubicación geográfica.

Para la primera etapa, se lleva a cabo el análisis de información presentada por fuentes secundarias, principalmente de entes gubernamentales como lo es Corpoamazonía, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Censo nacional agropecuario, y la Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito (UNODC). Se toma una primera división de los recursos en: parques naturales nacionales, reservas forestales y áreas en ordenación forestal.

En cuanto a la segunda etapa, se realiza una verificación de los recursos forestales reportados por la gobernación de Putumayo. Una vez hecho el contraste de datos se realiza la clasificación específica de los recursos por municipio.

Posteriormente, por medio del diagrama de Holdridge y con la información corregida, se procede a la caracterización del recurso con el fin de obtener una equivalencia en biomasa forestal para cada municipio.

Por último, se procede con la conversión de la biomasa a energía en unidades de GWh, así como con su ubicación geográfica por medio de la herramienta ArcGIS, con el fin de identificar la oferta energética en cuanto a biomasa forestal del departamento de Putumayo. La siguiente figura ilustra la metodología empleada.

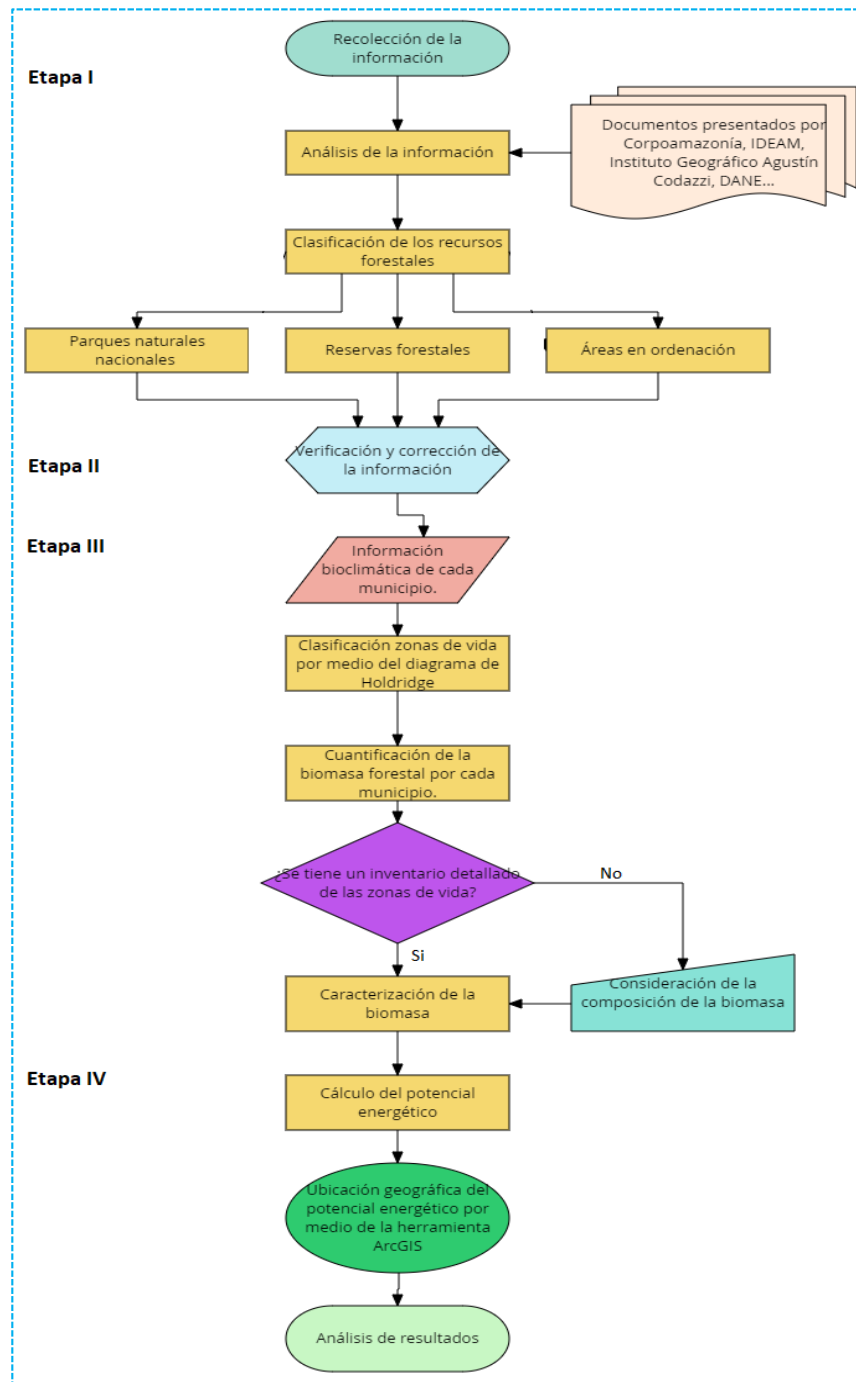


Figura 67. Metodología. Fuente: Propia.

3.1.15. Parques Naturales

En la zona de influencia del departamento de Putumayo se encuentran tres parques naturales en estado de protección, los cuales se encuentran representados gráficamente por medio de la Figura 68, y descritos en la Tabla 40.

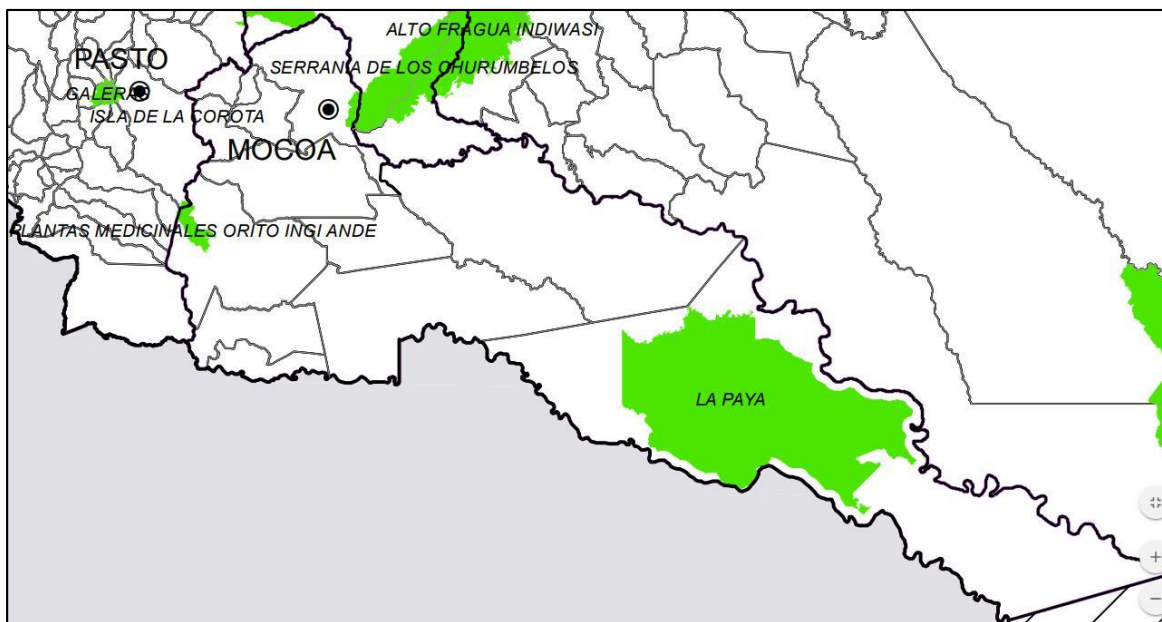


Figura 68. Ubicación, parques naturales nacionales de Putumayo. Fuente: (IGAC, 2019)

Tabla 40. Ubicación de parques naturales del Putumayo.

Zona	Municipio	Nombre	ÁREA	
			Total (ha)	Propia (ha)
Medio Putumayo	Mocoa	Serranía de los churumbelos AukaWasi	97.189,6	4.330,3
Bajo Putumayo	Orito	Santuario de Flora Plantas Medicinales Orito Ingi – Ande	10.204,2 6	9.317,4
	Puerto Leguízamo	La Paya	422.000	422.000
Áreas de interés				435.647,7

Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

6.3.1.1. *La Paya*

Fue creado mediante el acuerdo 015 de 1984 y aprobado mediante la resolución No. 160 de 1984. Cuenta con un área aproximada de 422.000 hectáreas y se encuentra ubicado en el municipio de Leguízamo en el Departamento del Putumayo, tal como se observa en la Figura 69.

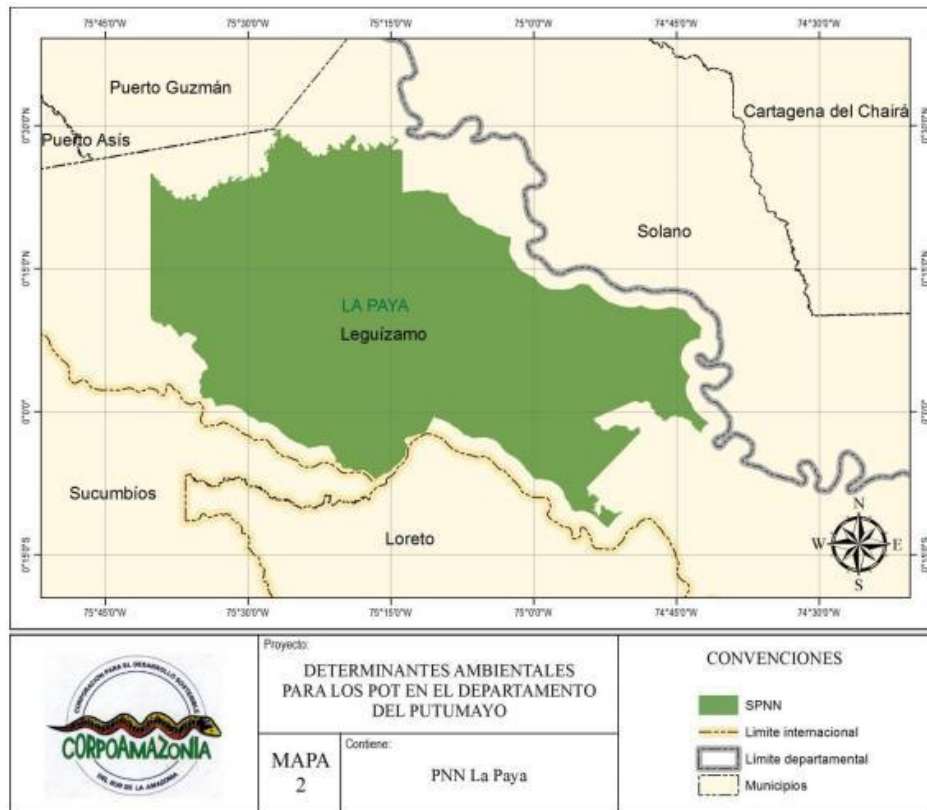


Figura 69. Zona del parque natural nacional La Paya. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

La cobertura vegetal original de la zona corresponde a Bosque Húmedo Tropical. Actualmente, en el Parque se identifican varios tipos de estos bosques: primarios intervenidos, secundarios tempranos tales como los potreros abandonados en los cuales ha comenzado la recuperación del ecosistema, y los bosques de varzea que se inundan periódicamente en el año.

6.3.1.2. Serranía de los churumbelos AukaWasi

Se declara como área protegida pública del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia mediante la resolución 1311 de 2007. Tiene una extensión aproximada de 97.189,6 hectáreas, tal como se observa en la Figura 70, y se encuentra ubicada en los departamentos de Caquetá (municipio de San José del Fragua), Cauca (municipios de Piamonte y Santa Rosa), Huila (municipios de Acevedo y Palestina) y Putumayo (municipio de Mocoa).

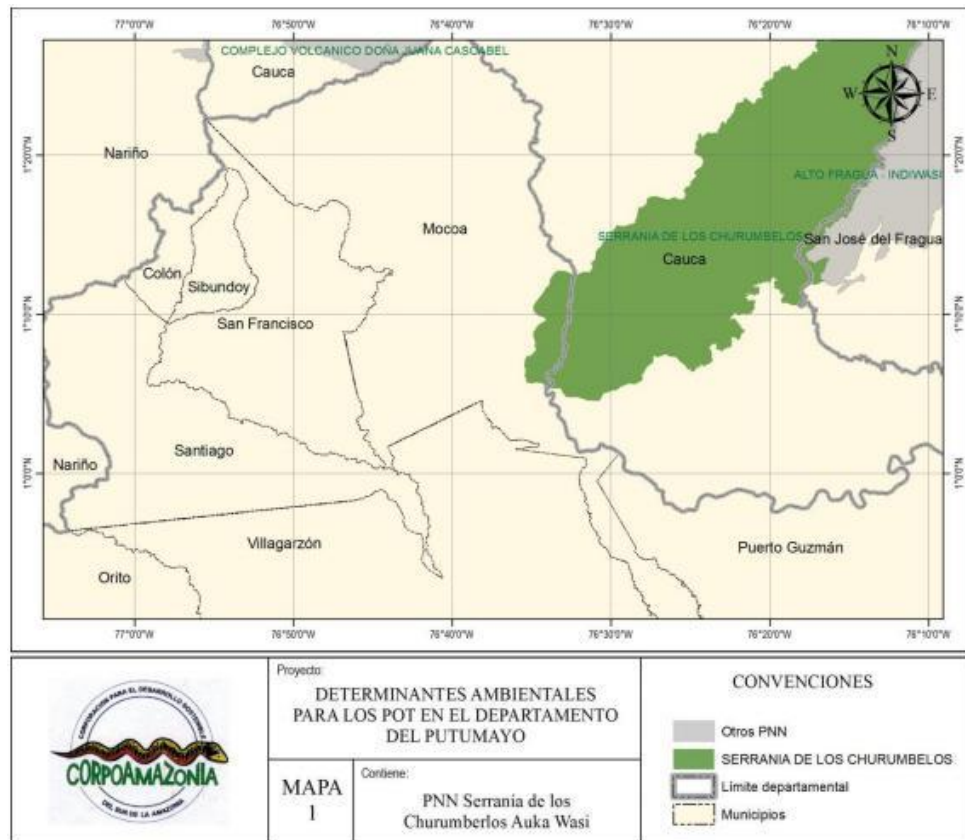


Figura 70. Zona del parque natural nacional Serranía de los Churumbelos Auka - Wasi. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

La vegetación de la Serranía de los Churumbelos se caracteriza por presentar elementos florísticos amazónicos, distribuidos entre 350 a 700 msnm; elementos florísticos andinos y amazónicos, entre 700-1100 msnm; andinos, entre los 1100-1450 msnm; y entre 1450 hasta 2500 m se presenta una composición propia de vegetación de alta montaña. Se encuentra cubierta por vegetación boscosa en un 72%, de los cuales el 48% no presenta rasgos de intervención, los rastrojos representan el 19% del total, mientras que los pastos y cultivos suman el 9%.

6.3.1.3. Santuario de Flora Plantas Medicinales Orito Ingi – Ande

Fue creado por medio de la resolución No. 994 de 2008, cuenta con un área aproximada de 10.204 hectáreas y está ubicado en el municipio de Orito, Putumayo, en su zona noroccidental, Pasto en su zona sur, y municipio de Funes en la zona sur oriental, tal como se observa en la Figura 71.

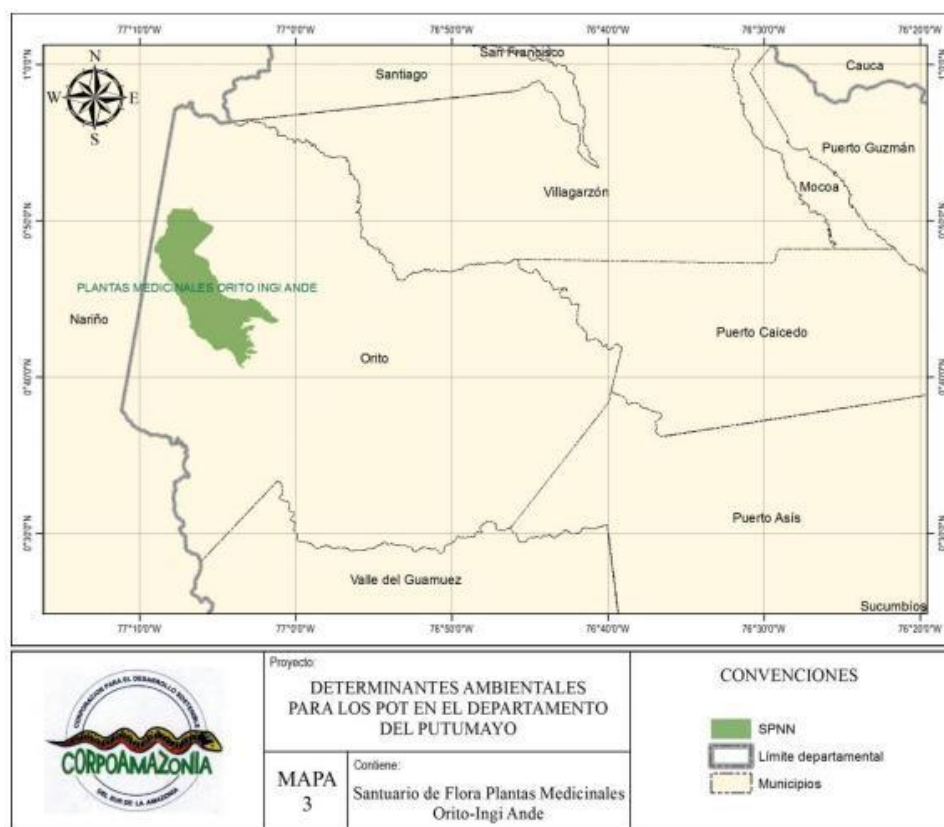


Figura 71. Santuario de Flora Plantas Medicinales Orito Ingi – Ande. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

El santuario presenta vegetación boscosa característica de tierras bajas de la amazonia, además de vegetación característica de la zona andina como bosque andino, alto andino y páramo.

3.1.16. Reservas naturales

Las reservas forestales presentes en el departamento de Putumayo se encuentran divididos en tres grupos: la reserva protectora del alto río Mocoa, la reserva forestal de ley 2° de 1959 y las reservas privadas o de la sociedad civil. Por medio de la Tabla 41 se ilustra el área abarcada por cada reserva.

Tabla 41. Ubicación de las reservas naturales del Putumayo.

Nombre	Municipio	Zona	Área (ha)
El Naranjo*	Colón	Alto Putumayo	0,5
La Despena *	Colón	Alto Putumayo	0,1
Laporta *	Sibundoy	Alto Putumayo	3,1
Paz Verde *	Santiago	Alto Putumayo	36,0
Reserva forestal de Ley 2° Amazonia	Leguízamo	Bajo Putumayo	384.960,0
	Orito	Bajo Putumayo	
	Valle del	Bajo Putumayo	



	Guamuez		
	Villagarzón	Medio Putumayo	
Reserva forestal de Ley 2° Central	Colón	Alto Putumayo	44.789,0
	Mocoa	Medio Putumayo	
	San Francisco	Alto Putumayo	
	Santiago	Alto Putumayo	
	Sibundoy	Alto Putumayo	
	Mocoa	Alto Putumayo	
Reserva forestal protectora del Alto Río Mocoa	San Francisco	Alto Putumayo	32.713,0
Santa Lucía *	Santiago	Alto Putumayo	30
Total área de interés			462.531,7
* Reservas de la sociedad civil			

Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

6.3.1.4. Reserva forestal protectora del Alto Río Mocoa

Esta reserva se encuentra ubicada entre los municipios de Mocoa y San Francisco, rodeando la Cuenca Alta del Río Mocoa, tal como se observa en la Figura 72.

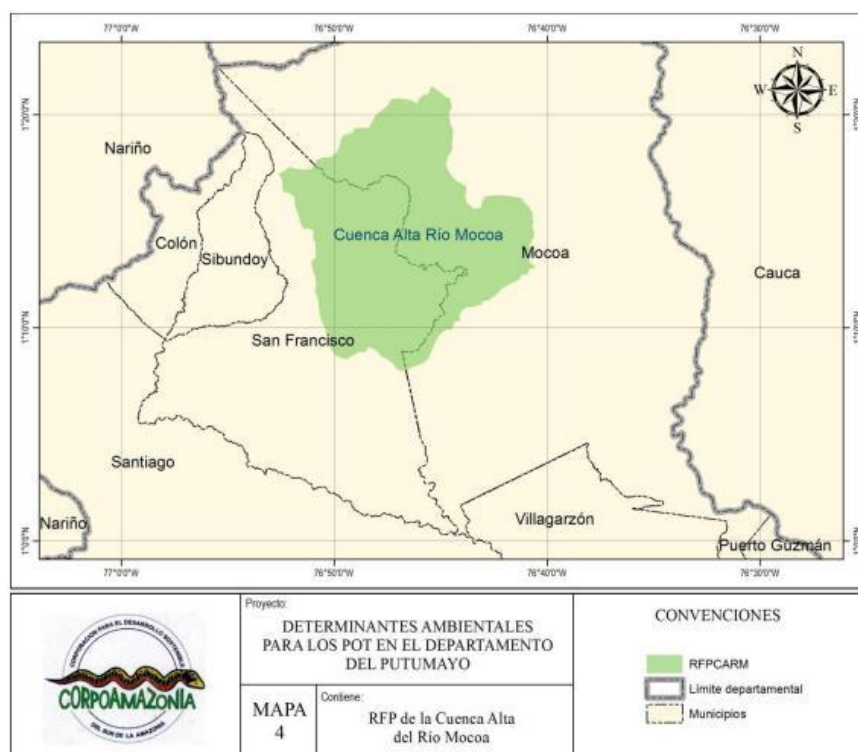


Figura 72. Reserva forestal protectora de la Cuenca Alta del Río Mocoa. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

Las zonas de vida existentes en la reserva natural son las siguientes:



- Bosque pluvial montano (bp-M)
- Bosque muy húmedo montano bajo (bmhMB)
- Bosque pluvial montano bajo (bpMB)
- Bosque pluvial subtropical (bp-ST)
- Bosque muy húmedo subtropical (bmh - ST)

6.3.1.5. Reserva forestal de Ley 2° Central

El área total de esta reserva corresponde a 44.789 hectáreas, ubicada en los municipios de Mocoa, San Francisco, Sibundoy, Colón y Santiago. Por medio de la Figura 73 se presenta la región de influencia de la reserva.

109

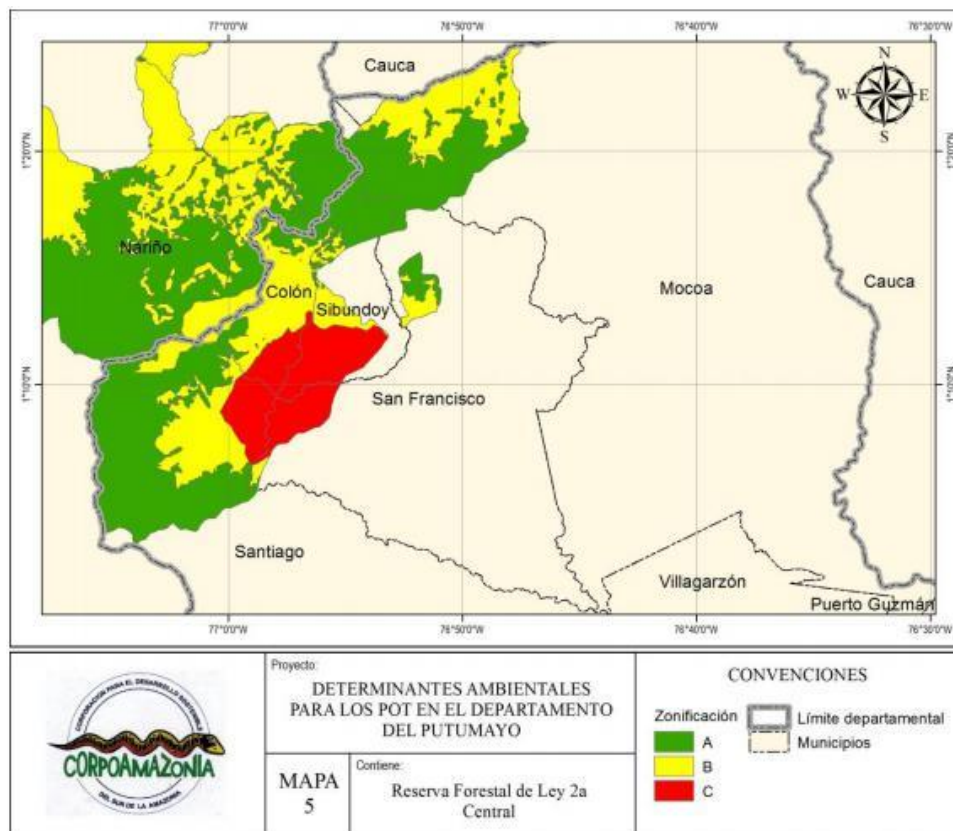


Figura 73. Reserva forestal de Ley 2° Central. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

De acuerdo con la zonificación ilustrada en la figura anterior, las zonas corresponden a:

- Zona Tipo A: Zonas que garantizan el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados principalmente con la regulación hídrica y climática, la asimilación de contaminantes del aire y del agua, la formación y protección del suelo, la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural, y el soporte a la diversidad biológica. Área aproximada = 21.884 hectáreas.



- Zona Tipo B: Zonas que se caracterizan por tener coberturas favorables para un manejo sostenible del recurso forestal mediante un enfoque de ordenación forestal integral y la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Área aproximada = 15.173 hectáreas.
- Zona Tipo C: Zona que por sus características biofísicas ofrecen condiciones para el desarrollo de actividades productivas agroforestales, silvopastoriles y otras compatibles con los objetivos de la Reserva Forestal, que deben incorporar el componente forestal, y que no impliquen la reducción de las áreas de bosque natural presentes en sus diferentes estados sucesionales. Área aproximada = 7.732 hectáreas.

6.3.1.6. Reserva forestal de Ley 2° Amazonia

Se encuentra ubicada en los municipios de Leguízamo, Villagarzón, Orito y Valle del Guamuez. El área aproximada es de 384.960 Hectáreas, tal como se observa en la Figura 74. Al momento no se encuentra zonificada como en el caso de la reserva central, por lo que el territorio descrito se encuentra bajo la categoría de protección en suelo rural, en la subcategoría área de conservación y protección ambiental.

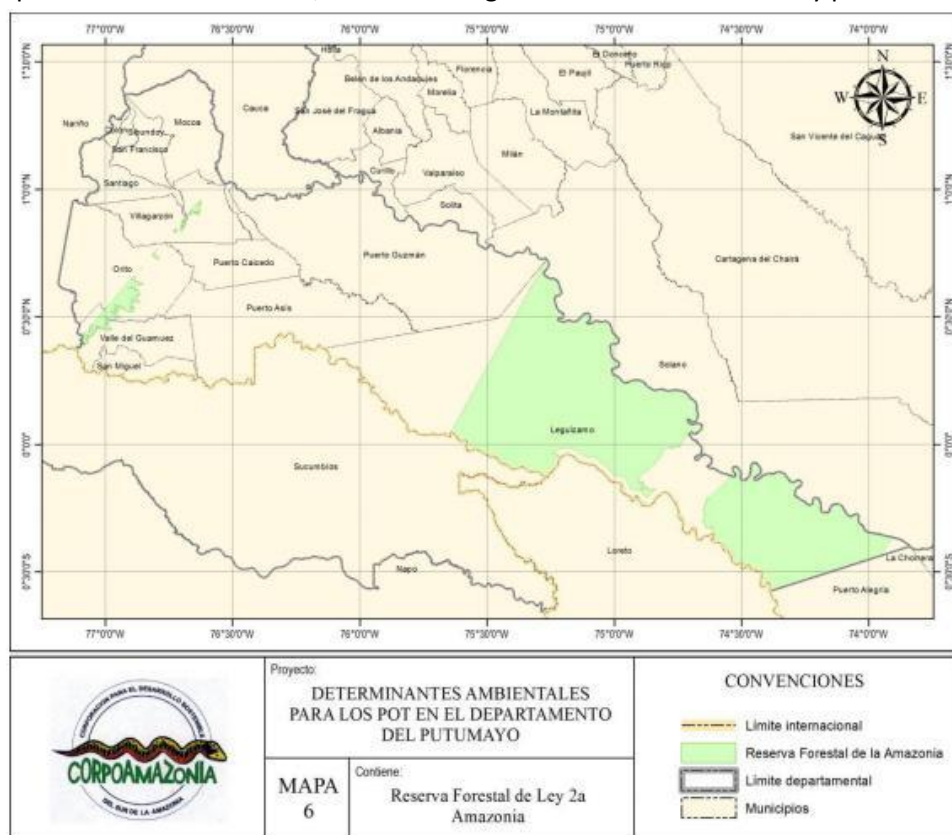


Figura 74. Reserva forestal de Ley 2° Amazonía. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

6.3.1.7. Reservas de la sociedad civil

Estas reservas corresponden a iniciativas de grupos de personas y/u organizaciones no gubernamentales, propietarias de áreas con ecosistemas naturales, interesadas en su protección y conservación, amparadas

bajo la Ley 99 de 1993, la cual reconoce las reservas naturales de la sociedad civil y les otorga el derecho a participar en los procesos de desarrollo y la posibilidad de beneficiarse de incentivos económicos.

3.1.17. Áreas forestales en ordenación

Por medio de la formulación de planes de ordenación forestal con directrices de sostenibilidad del recurso forestal, se espera incorporar inicialmente a la región de la Amazonia alrededor de 2'031.218 hectáreas en ordenación de bosque natural que serán declaradas como “áreas forestales productoras”, incluyendo áreas del estado, de propiedad privada y territorios indígenas que han manifestado interés de participar en estos procesos, para lo cual se apoyaran a las comunidades que deriven el sustento de los bosques. Las secciones encerradas en morado en la Figura 75 corresponden a las áreas forestales en ordenación, presentadas también en la Tabla 42.

111

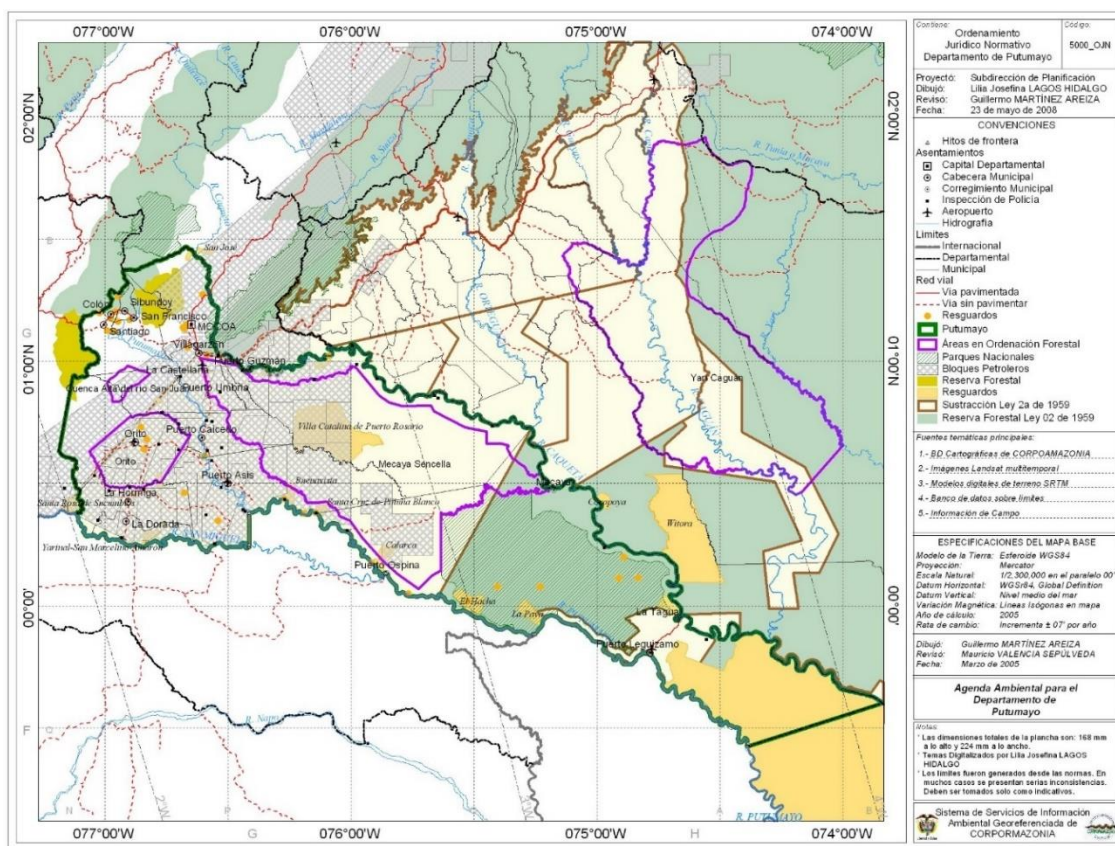


Figura 75. Ordenación jurídico normativo de Putumayo. Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)



Tabla 42. Áreas forestales en ordenación del departamento de Putumayo

Nombre	Municipio	Zona	Área (ha)
Unidad de Ordenación Forestal de Orito	Orito	Bajo Putumayo	25.313,00
Unidad de Ordenación Forestal Mecaya-Sencella	Mocoa	Medio Putumayo	676.181,32
	Puerto Guzmán	Medio Putumayo	
	Villagarzón	Medio Putumayo	
	Puerto Asís	Bajo Putumayo	
	Puerto Caicedo	Bajo Putumayo	
Unidad de Ordenación Forestal San Juan	Puerto Leguízamo	Bajo Putumayo	527,72
	Villagarzón	Medio Putumayo	
	Orito	Bajo Putumayo	
Total área de interés			702.022,04

Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

6.3.1.8. Unidad de ordenación forestal de Orito

Se encuentra localizada en el Municipio de Orito, con una superficie de 25.313 hectáreas. Se registran la existencia de 129 especies con características maderables, correspondiente a 36 familias, siendo las más destacada en cuanto a la presencia de cantidad de individuos la Arecaceae, Myristicaceae, Mimosaceae, Lauraceae, Cecropiaceae, Lecythidaceae, Compositae, Sterculiaceae, Sapotaceae, Burseraceae, Meliaceae, Anacardiaceae, Moraceae y Tiliaceae, entre otras. Los bosques naturales se encuentran sometidos a una gran presión por parte de los pobladores de la zona, afectados continuamente por talas ilegales que han ido degradando su estructura actual y su potencial de regeneración, ocasionando que este ecosistema disminuya su productividad.

6.3.1.9. Unidad de ordenación forestal Mecaya-Sencella

Se encuentra localizada en los Municipios de Leguízamo, Mocoa, Puerto Asís, Puerto Caicedo, Puerto Guzmán y Villagarzón, en jurisdicción del Departamento del Putumayo. Los bosques encontrados corresponden a los biomas higrofiticos o zonobiomas húmedos ecuatoriales, equivalentes al bosque ombrófilo, incluyendo una variedad de ecosistemas de llanuras aluviales inundables, diques y complejo de orillares, terrazas y colinas bajas, entre los más destacados. Se ha registrado la existencia de 156 especies maderables que pertenecen principalmente a los géneros Allophylus, Apeaba, Brosimum, Brownea, Casearia, Cecropia, Cedrela, Clarisia, Cordia, Couratari, Dendrobangia, Eugenia, Euterpe, Guarea, Gustavia, Hevea, Inga, Iryanthera, Jacaranda, Lecythis, Miconia, Minquartia, Nectandra, Ochroma, Ocotea, Ormosia, Pachira, Parkia, Persea, Yarina, Piper, Platymiscium, Pourouma, Pouteria, Protium, Pseudolmedia, Psychotria, Pterocarpus, Purouma, Qualea, Schweilera, Simarouba, Sterculia, Tabebuia, Terminalia, Virola, Vismia, y Zanthoxylum, entre otros.



6.3.1.10. Unidad de ordenación forestal San Juan

Comprende una superficie aproximada de 15.176 hectáreas, localizadas en los municipios de Villagarzón, Puerto Caicedo y Orito, y al interior de la subcuenca del Río San Juan y de las microcuencas Vides y Chaluayaco. La cobertura boscosa se estima en 9.342 hectáreas, representada principalmente por:

- Bosque alto bien desarrollado sobre colinas accesibles, correspondiente a bosque natural primario, con una intervención baja y una superficie de 6.383 hectáreas.
- Bosque alto bien desarrollado sin intervención en superficies disectadas, con una extensión de 2.886 hectáreas.
- Bosque con vegetación poco desarrollada en paisaje aluvial inundado y vega de ríos pequeños, con una extensión de 73 hectáreas.

113

Ya habiendo cuantificado las áreas forestales correspondientes del departamento del Putumayo, se procede a realizar la cuantificación del potencial energético de estas hectáreas, lo cual se realiza mediante la identificación del PCI y la determinación del porcentaje de desechos de cada cultivo. Con esto se obtiene la información necesaria para la creación de los mapas de potencial energético por recurso forestal y municipio.

3.1.18. Bosques naturales

La distribución de la cobertura y el uso de la tierra en el territorio de Putumayo se presentan por medio de la Tabla 43.

Tabla 43. Distribución de cobertura y uso de la tierra en Putumayo

Distribución y uso de tierra		Área (ha)
Bosques	Andino	156.657
	Amazónico	1.573.813
Agroecosistemas	Basal	808.610
	Andino	16.926
Total		2.556.006

Fuente: (CorpoAmazonia, 2014)

Se estima que, por medio de la aplicación del Certificado de Incentivo Forestal, se plantó una superficie de 235 hectáreas en el departamento de Putumayo, distribuidas en: 201 hectáreas en el municipio de Mocoa, 9 hectáreas en Leguízamo y 25 hectáreas en Villagarzón. Las principales especies plantadas son Caucho (*Hevea brasiliensis*), Nogal (*Cordia alliodora*), Cedro (*Cesdrela odorata*), Tara o Marfil (*Simarouba amara*), Amarillo (*Nectandra sp.*), Pino Colombiano (*Podocarpus sp.*), Granadillo (*Platysmicium pinnatum*), entre otras.

3.1.19. Potencial energético de la Biomasa Forestal por municipio

Una vez realizada la clasificación de los recursos forestales para cada municipio, se estima la cantidad de biomasa con la que se cuenta para cada área, la cual se presenta por medio de la Tabla 44.



Tabla 44. Biomasa aérea para cada municipio

Municipio	Parques naturales nacionales (T)	Reservas forestales (T)	Áreas en ordenamiento (T)	Áreas sin clasificación (T)	Total Biomasa (T)
Colón	-	395.588,69	-	-	395.588,69
Mocoa	745.677,66	4.006.766,82	952.558,74	-	5.705.003,22
Orito	1.604.456,28	5.527.423,69	5.247.423,05	-	12.379.303,02
Puerto Asís	-	-	31.912.172,88	-	31.912.172,88
Puerto Caicedo	-	-	4.158.784,98	-	4.158.784,98
Puerto Guzmán	-	-	46.303.477,92	-	46.303.477,92
Puerto Leguísimo	120.101.200,00	88.675.623,60	49.031.507,29	36.090.120,31	293.898.451,20
San Francisco	-	1.402.927,77	-	-	1.402.927,77
San Miguel	-	-	-	1.040.070,78	1.040.070,78
Santiago	-	7.397.981,70	-	-	7.397.981,70
Sibundoy	-	737.132,04	-	-	737.132,04
Valle del Guamuez	-	3.220.105,56	-	-	3.220.105,56
Villagarzón	-	5.859.898,21	7.789.853,69	-	13.649.751,90
Total en el departamento	122.451.333,94	117.223.448,09	145.395.778,55	37.130.191,09	422.200.751,66

Fuente: Propia.

Debido a que no se cuenta con un inventario detallado de especies forestales de los bosques en el departamento, que relacione las características físicas y químicas de estas zonas, se toma como consideración que la biomasa forestal generalmente se encuentra constituida por corteza y ramas de árboles, hojas secas, hojas frescas, madera dura y madera blanda. Al realizar esta consideración inicial, se procede a realizar tres combinaciones de los componentes mencionados (A, B, C), las cuales se ilustran en la Tabla 45.

Tabla 45. Composición de la biomasa para el caso de estudio

Biomasa B (%)	A	B	C
Corteza de árboles	8	12	12
Ramas de árboles	12	8	15
Hojas frescas	15	10	8
Hojas secas	10	15	10
Madera blanda	25	35	18
Madera dura	30	20	37

Fuente: Propia.

Se realiza entonces un análisis próximo y elemental de la biomasa, el cual se presenta en la Tabla 46.



Tabla 46. Análisis próximo y análisis elemental de la biomasa forestal

Biomasa	Análisis elemental (%)					Análisis próximo (%)		
	C	H	N	O	S	CF	MV	Cz
Corteza de árboles	53,10	6,10	0,20	40,60	-	31,80	66,60	1,60
Ramas de árboles	48,65	6,56	2,59	42,19	0,01	16,95	80,01	3,04
Hojas frescas	42,58	5,42	12,33	39,65	0,02	13,51	74,67	11,82
Hojas secas	46,35	5,65	6,40	41,60	-	19,02	75,25	5,73
Madera blanda	52,70	6,30	0,20	40,80	-	28,30	70,00	1,70
Madera dura	50,20	6,20	0,01	43,50	-	25,00	72,30	2,70
A	49,34	6,09	2,87	41,67	0,00	23,08	72,84	4,07
B	49,96	6,09	2,50	41,43	0,00	24,28	72,11	3,61
C	49,77	6,14	2,08	41,97	0,00	23,69	72,84	3,47

Fuente: (Nhuchhen, Salam 2012; Miranda, 2009)

Dónde: C: Carbono; H: Hidrógeno; N: Nitrógeno; O: Oxígeno; S: Azufre; CF: Carbono fijo; MV: Material volátil; Cz: Cenizas.

La evaluación del potencial energético se lleva a cabo por medio del cálculo del poder calorífico superior e inferior para cada componente, así como para las combinaciones A, B y C. Haciendo uso de la Ecuación 4 se realiza el cálculo del poder calorífico superior por análisis elemental, mientras que con la Ecuación 5 se realiza el cálculo del poder calorífico superior por análisis próximo.

$$PCS \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211Cz.$$

Ecuación 4

$$PCS \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 0.3536CF + 0.1559MV - 0.0078Cz.$$

Ecuación 5

Para el cálculo del poder calorífico inferior, se toma como base la Ecuación 6.

$$PCI \left[\frac{MJ}{kg} \right] = PCS - 21.978H.$$

Ecuación 6

Debido a que el proceso de aprovechamiento del poder calorífico no presenta una eficiencia unitaria, por medio de la Ecuación 7 se lleva a cabo el cálculo de la exergía química (ϵ_q).

$$\epsilon_q \left[\frac{kJ}{kg} \right] = \beta * PCI.$$

Ecuación 7

Donde,

$$\beta = \frac{1.0412 + 0.2160 \frac{H_2}{C} - 0.2499 \frac{O_2}{C} \left[1 + 0.7884 \frac{H_2}{C} \right] + 0.0450 \frac{N_2}{C}}{1 - 0.3035 \frac{O_2}{C}}$$

Ecuación 8

A continuación, por medio de la Tabla 47 se presentan los resultados obtenidos para el poder calorífico superior e inferior.

Tabla 47. Poder calorífico superior e inferior

Biomasa	PCS (MJ/kg)		PCI (MJ/kg)	
	Ecuación (6)	Ecuación (7)	Ecuación (6)	Ecuación (7)
Corteza de árboles	21,49	21,61	20,15	20,27
Ramas de árboles	20,25	18,44	18,81	17,00
Hojas frescas	16,72	16,33	15,53	15,13
Hojas secas	18,32	18,41	17,08	17,17
Madera blanda	21,56	20,91	20,18	19,52
Madera dura	20,28	20,09	18,91	18,73
A	19,96	19,49	18,62	18,15
B	20,22	19,80	18,88	18,46
C	20,17	19,70	18,82	18,35

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar, las variaciones en ambos casos son mínimas ante el uso de la ecuación (6) o (7). De igual manera, se presenta una discrepancia mínima entre las combinaciones A, B y C. Al realizar el promedio del poder calorífico superior, se tiene un PCS igual a 20.117,07 MJ/T. Por su parte, haciendo el mismo ejercicio para el poder calorífico inferior, se tiene un PCI igual a 18.774,79 MJ/T.

Al realizar el cálculo de la exergía, utilizando el mismo procedimiento se obtiene un promedio de 22.886,38 kJ/T como se observa en la Tabla 48.

Tabla 48. Estimación de la exergía química

Biomasa	Beta	Exergía química (kJ/kg)	
		Ecuación (6)	Ecuación (7)
Corteza de árboles	1,19	24,06	24,21
Ramas de árboles	1,22	22,98	20,77
Hojas frescas	1,30	20,12	19,61
Hojas secas	1,26	21,44	21,56
Madera blanda	1,19	24,11	23,32
Madera dura	1,22	23,03	22,80
A	1,22	22,76	22,17
B	1,22	22,97	22,46
C	1,22	22,93	22,36

Fuente: Propia.

Para el cálculo de la energía para cada municipio, se toma el producto de la cantidad de biomasa presentada en la Tabla 44, con el poder calorífico inferior calculado anteriormente. Para la presentación de los resultados obtenidos, se toman primero las áreas representadas en parques naturales nacionales,

las áreas denominadas como reserva forestal, seguida de las áreas en ordenación y áreas sin clasificación, para finalmente ilustrar el potencial energético total del departamento a partir de biomasa forestal.

Tabla 49. Potencial energético en zonas de parques naturales

Municipio	Exergía térmica (MJ)	Energía térmica (MJ)	Potencial Energético (GWh)	Energía (%)
Mocoa	17.065.862,23	13.999.942.160,71	3.888,87	0,61
Orito	36.720.196,00	30.123.331.198,35	8.367,59	1,31
Puerto Leguizamó	2.748.681.692,49	2.254.874.919.321,18	626.354,14	98,08

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar, las participaciones de los municipios de Mocoa y Orito no son representativas en parques naturales nacionales, debido a que la gran mayoría de área en esta clasificación se encuentra dentro del municipio de Puerto Leguizamó, en el parque La Paya. Cabe resaltar que estos tres municipios son los únicos que cuentan con presencia de parques naturales nacionales en el departamento, tal como se puede observar en la Figura 76.

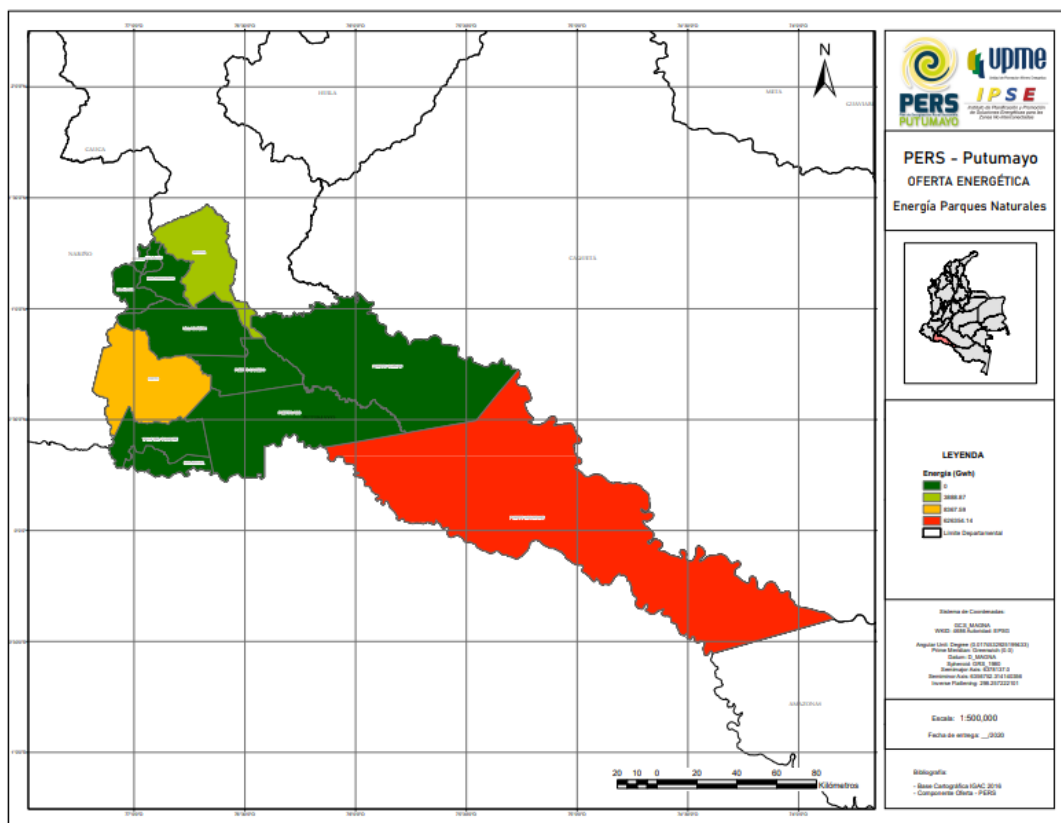


Figura 76. Potencial Energético zonas de parques naturales del Putumayo. Fuente: Propia.

Para el caso de las zonas de reserva forestal, se destaca que los municipios de Puerto Asís, Puerto Caicedo, Puerto Guzmán y San Miguel no cuentan con estas zonas, por lo que son omitidos en este caso. A partir de la Tabla 50 se presenta la distribución de potencial energético en las zonas denominadas como reservas forestales dentro del departamento de Putumayo. Estas se encuentran localizadas en nueve municipios, dentro de los cuales Puerto Leguízamo presenta la mayor participación en cuanto a potencial energético, siendo un 75.65% del total con 462.462,86 GWh, tal como se puede observar en la Tabla 50.

Tabla 50. Potencial energético en zonas de reserva forestal

Municipio	Exergía térmica (MJ)	Energía térmica (MJ)	Potencial Energético (GWh)	Energía (%)
Colón	9.053.593,05	7.427.094.945,33	2.063,08	0,34
Mocoa	91.700.387,71	75.226.209.313,36	20.896,17	3,42
Orito	126.502.718,61	103.776.224.147,24	28.826,73	4,72
Puerto Leguízamo	2.029.464.011,73	1.664.866.292.894,80	462.462,86	75,65
San Francisco	32.107.937,95	26.339.675.558,55	7.316,58	1,20
Santiago	169.313.019,85	138.895.559.652,42	38.582,10	6,31
Sibundoy	16.870.283,92	13.839.499.931,92	3.844,31	0,63
Valle del Guamuez	73.696.559,24	60.456.808.631,48	16.793,56	2,75
Villagarzón	134.111.856,79	110.018.363.746,69	30.560,66	5,00

Fuente: Propia.

En cuanto a las áreas en ordenación, al ser las zonas que se pueden llegar a aprovechar, se presentan en conjunto con las áreas sin clasificación, enfocándose así en las áreas que no se encuentran restringidas para su uso por su importancia ecosistémica. En este caso, la distribución se encuentra concentrada en ocho municipios del departamento, donde Puerto Leguízamo presenta la mayor participación con un 46.64% del potencial energético representado en 443.927,99 GWh. No obstante, también se cuenta con una participación notable de Puerto Guzmán (25.37%) y Puerto Asís (17.48%), tal como se puede observar en la Figura 78.

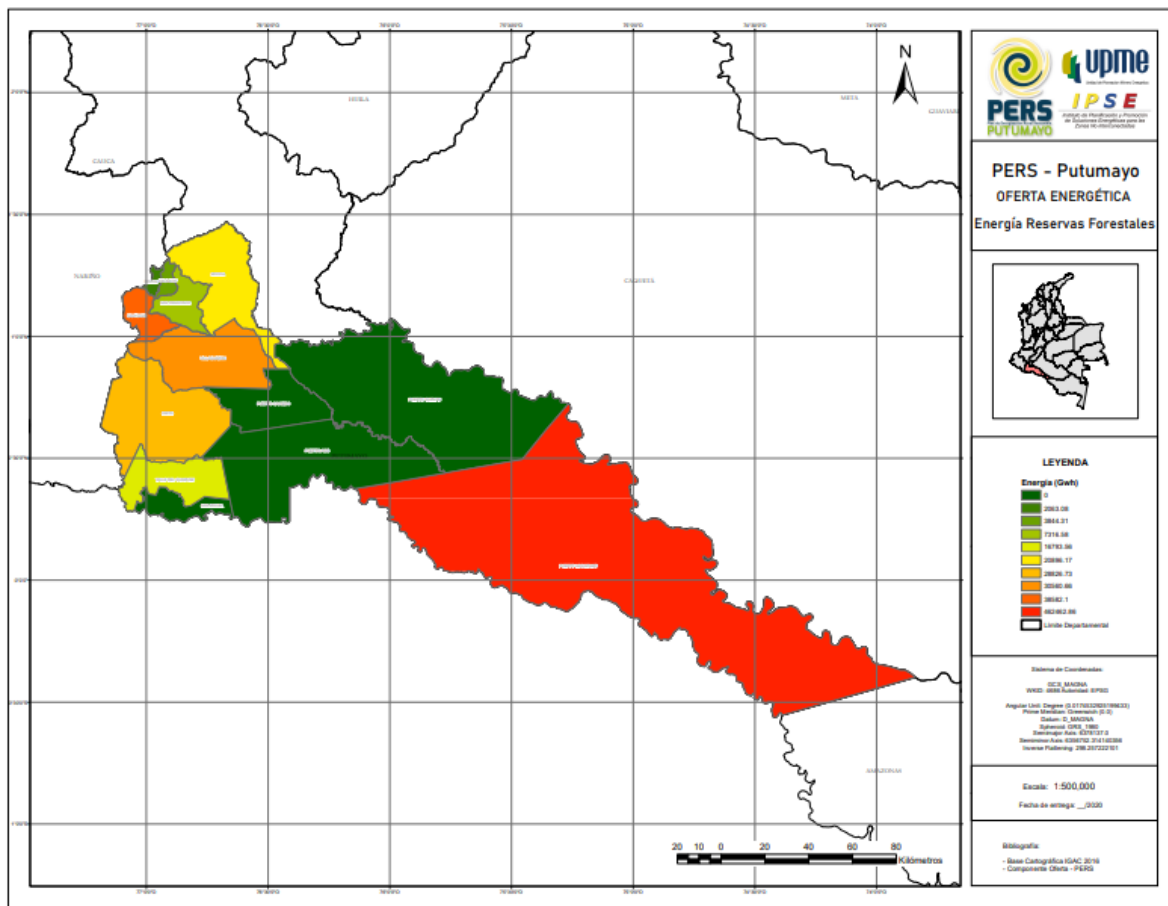


Figura 77. Potencial Energético de las zonas de reserva forestal del Putumayo. Fuente: Propia.

Por otra parte, los municipios de Colón, Sibundoy, Santiago, San Francisco y Valle del Guamuez no presentan presencia reportada de zonas de reserva forestal.

Tabla 51. Potencial energético en zonas de áreas en ordenación y zonas sin clasificación por municipio

Municipio	Exergía térmica (MJ)	Energía térmica (MJ)	Potencial Energético (GWh)	Energía (%)
Mocoa	21.800.621,22	17.884.091.183,15	4.967,80	0,52
Orito	120.094.517,50	98.519.270.598,49	27.366,46	2,87
Puerto Asís	730.354.112,72	599.144.373.646,17	166.428,99	17,48
Puerto Caicedo	95.179.533,07	78.080.318.483,51	21.688,98	2,28
Puerto Guzmán	1.059.718.987,47	869.338.116.847,71	241.482,81	25,37
Puerto Leguizamón	1.948.125.908,92	1.598.140.760.971,79	443.927,99	46,64
San Miguel	2.3803.455,02	19.527.111.437,19	5.424,20	0,57
Villagarzón	178.281.551,05	146.252.874.294,79	40.625,80	4,27

Fuente: Propia.

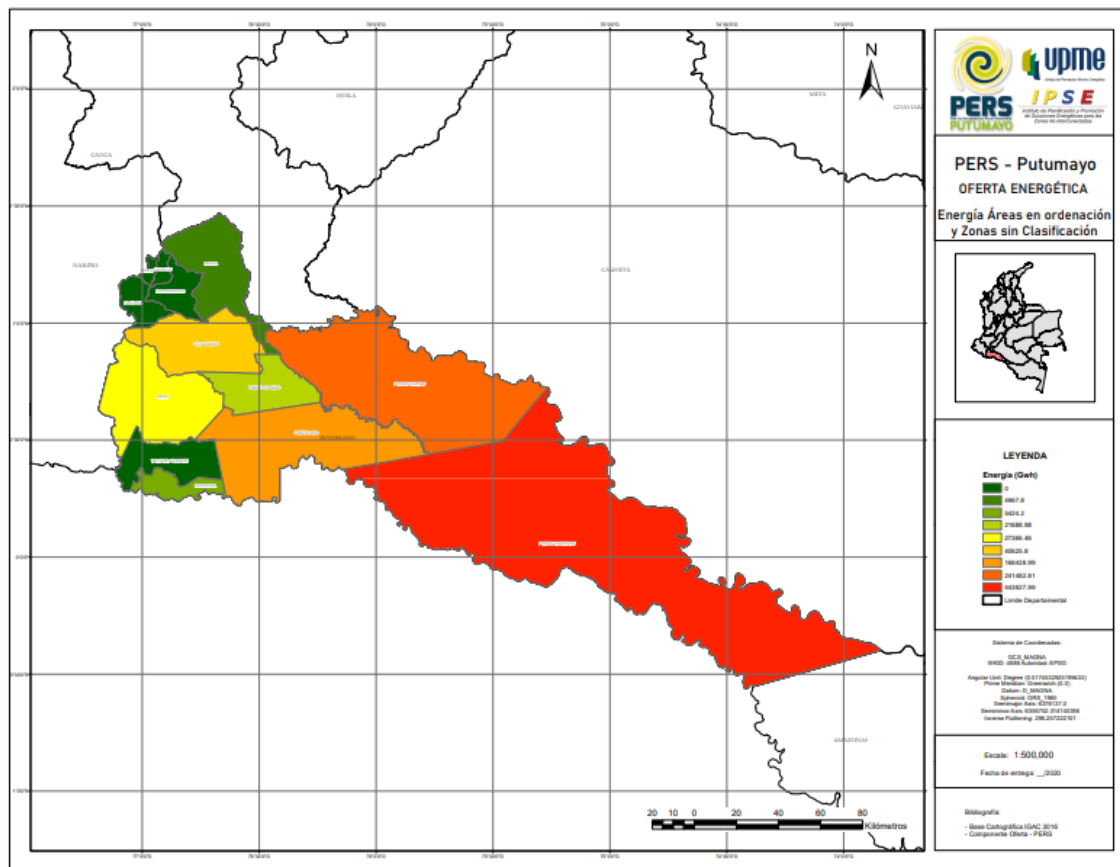


Figura 78. Potencial energético en áreas en ordenación y zonas sin clasificación de Putumayo. Fuente: Propia.

Finalmente, en la Tabla 52 se presenta el potencial energético total, a partir de biomasa forestal de los trece municipios que constituyen el departamento de Putumayo. Como se puede apreciar, la mayor participación se presenta en Puerto Leguízamo, con el 69.61% y un potencial energético de 1.532.744,99GWh. En los municipios de Colón, Mocoa, Puerto Caicedo, San Francisco, San Miguel, Santiago, Sibundoy y Valle del Guamuez, la participación individual no alcanza el 2% en ningún caso. El único municipio que cuenta con una participación considerable es Puerto Guzmán con 241.482,98GWh (10%), lo cual gráficamente se observa en la Figura 79.

Tabla 52. Potencial energético a partir de biomasa forestal por municipio

Municipio	Energía térmica (MJ)	Potencial Energético (GWh)	Energía (%)
Colón	7.427.094.945,33	2.063,08	0,09
Mocoa	107.110.242.657,23	29.752,85	1,35
Orito	232.418.825.944,08	64.560,78	2,93
Puerto Asís	599.144.373.646,17	166.428,99	7,56
Puerto Caicedo	78.080.318.483,51	21.688,98	0,99



Puerto Guzmán	869.338.116.847,71	241.482,81	10,97
Puerto Leguísimo	5.517.881.973.187,77	1.532.744,99	69,61
San Francisco	26.339.675.558,55	7.316,58	0,33
San Miguel	19.527.111.437,19	5.424,20	0,25
Santiago	138.895.559.652,42	38.582,10	1,75
Sibundoy	13.839.499.931,92	3.844,31	0,17
Valle del Guamuez	60.456.808.631,48	16.793,56	0,76
Villagarzón	256.271.238.041,47	71.186,46	3,23

Fuente: Propia.

121

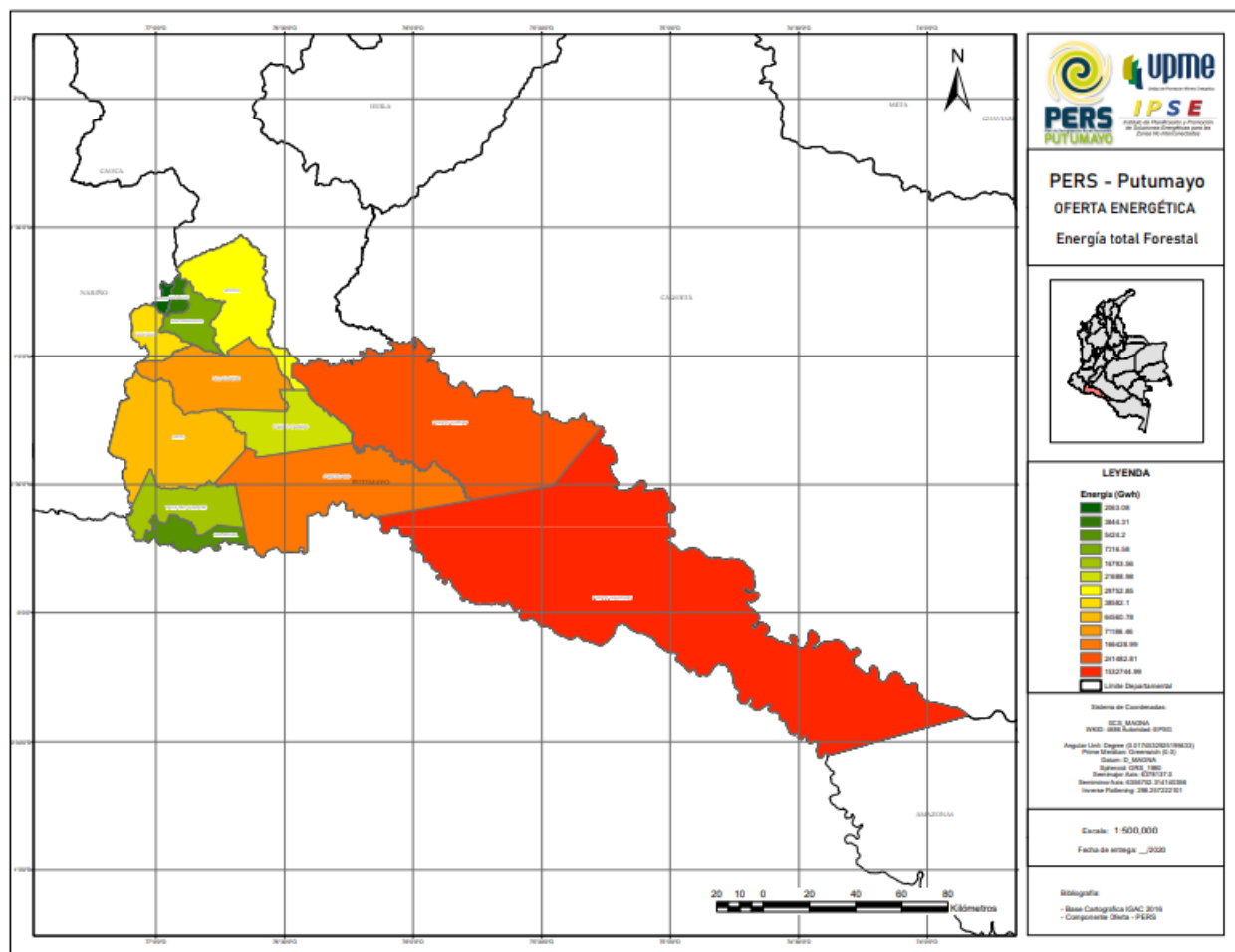


Figura 79. Potencial energético Total de la Biomasa Forestal del Putumayo. Fuente: Propia.

Con el fin de ampliar la información encontrada en la Figura 79, en donde se encuentra el potencial energético del departamento agrupado en cada uno de sus municipios, se desarrolló la Figura 80, en donde se encuentra la información del potencial energético total de la biomasa forestal sin agrupar.

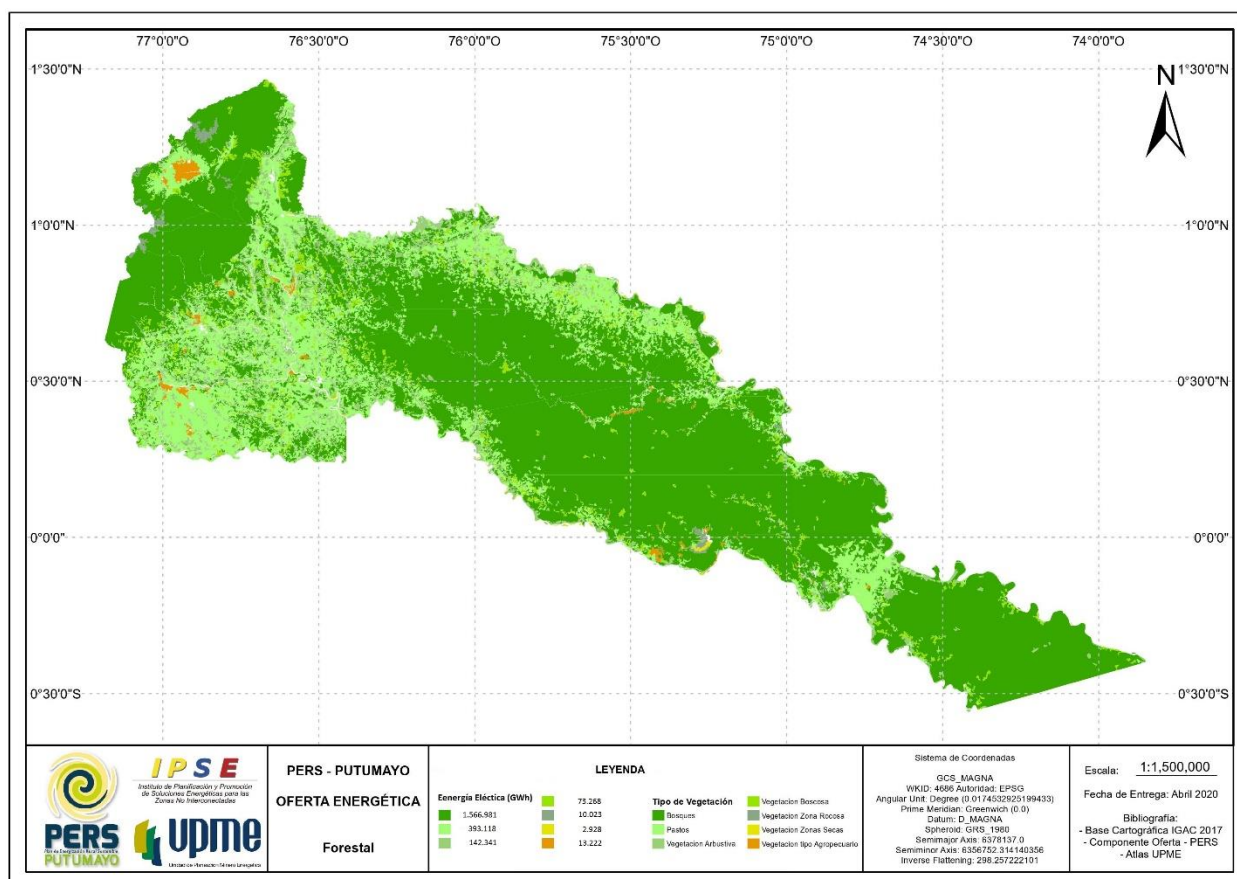


Figura 80. Potencial energético Total de la Biomasa Forestal del Putumayo sin agrupar. Fuente: Propia.

6.4. BIOMASA PECUARIA

Para la cuantificación de la biomasa pecuaria en el departamento del Putumayo se consultaron diversas fuentes de información de las entidades vinculadas a la actividad pecuaria del país, referentes al departamento del Putumayo, principalmente los documentos del ENA 2017 y el Censo Pecuario Nacional ICA 2019, Fedegan, Corpoamazonia y Porkcolombia. La cuantificación pecuaria se realizó mediante la clasificación de las especies de bovinos y porcinos, donde el primer grupo se clasifica en ganado menor a un año, entre 1 y 2 años, de 2 a 3 años y mayores a 3 años. Por otra parte, los cerdos se clasifican en lechones lactantes, levante, reproductores, hembras lactantes, traspatio, y otros, categoría dentro de la cual se encuentran cabezas de reemplazo y ceba. Por el contrario, el sector avícola se agrupa dependiendo del enfoque productivo del animal siendo estos: engorde, ponedoras, traspatio y otros, dentro de los cuales se encuentran las aves reproductoras y de levante.

Las demás especies encontradas fueron los Ovinos, Equinos, Búfalos y Caprinos, de las cuales únicamente se sabe la cantidad de animales por municipio. Estas estadísticas detalladas se pueden apreciar en los anexos y de forma virtual a través del sitio web del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).



Con el fin de determinar el potencial energético de la biomasa Pecuaria del departamento del Putumayo, es necesario detallar la fundamentación matemática y científica del método utilizado.

3.1.20. Modelo Matemático

El modelo matemático implementado es el desarrollado en el atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia, hecho por expertos de la UPME, Universidad industrial de Santander UIS y el IDEAM. Este modelo está en función del número de animales y de la tasa de producción de estiércol, entre otros parámetros.

Teniendo en cuenta las características de las deyecciones de cada una de las especies, se elige la tecnología adecuada para su transformación.

La alternativa difundida para el aprovechamiento de la energía contenida en el estiércol de bovinos, porcinos y aves de jaula se orienta hacia la digestión anaerobia, mientras que para el estiércol de aves con cama (engorde), cuyo contenido de humedad es menor al 60%, la tecnología aplicable es la termoquímica. (Humberto Escalante Hernández, 2011)

El factor que determina la tecnología adecuada para el tipo de estiércol es la humedad. La biomasa con alta humedad requiere de procesos bioquímicos (digestión anaerobia), mientras que la biomasa con bajos niveles de humedad se aprovecha mediante procesos térmicos.

Con estas referencias se desarrollaron dos modelos: el primero basado en el principio de la digestión anaerobia, y el segundo siguiendo el principio del aprovechamiento energético de la biomasa por vía térmica. (Humberto Escalante Hernández, 2011)

6.4.1.1. *Modelo para el proceso térmico.*

A través del modelo presentado en la Ecuación 9 se desarrollará el potencial energético con los recursos pecuarios de las aves de engorde. (Humberto Escalante Hernández, 2011).

$$PE_{BRAE} = NA_e * MS * PCI$$

Ecuación 9

Donde:

PE_{BRAE} = Potencial energético [TJ/AÑO]

NA_e = Número de animales de engorde [cabezas]

MS = Materia seca [Kg/ cabezas-año]

PCI = Poder calorífico inferior [TJ/KG-masa seca]

6.4.1.2. *Modelo para la digestión anaerobia.*

Con el modelo matemático presentado en la Ecuación 10 se evalúa el potencial energético para las especies bovina, porcina, y parte de la especie avícola. (Humberto Escalante Hernández, 2011)



$$PE_{BRP} = \sum_{i=1}^n NA_i * MS_i * SV * Bo_i * PCI_{CH4}$$

Ecuación 10

Donde:

PE_{BRP} = Potencial energética biomasa residual pecuaria [TJ/año]

NA= Número de animales [Cabezas]

MS= Materia seca [Kg MS/cabezas-año]

SV= solidos volátiles [kg sv/kg materia seca]

Bo= Producción de biogás [m^3 /Kg sv]

PCI_{CH4} =poder calorífico inferior del metano [TJ/ m^3]

El contador “i” hace referencia al grupo etario de cada subsector.

124

3.1.21. Potencial de la Biomasa Pecuaria

La fuente de información que se utilizó como referencia para conocer el número de cabezas por especie para la estimación del potencial energético fue el censo pecuario nacional realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA 2019. La información publicada por el ICA permite establecer el número y la localización de las aves, cabezas de ganado bovino y porcino a lo largo de los 13 municipios del departamento.

A continuación, en la Tabla 53 se evidencian las constantes necesarias para estimar el potencial energético de cada especie, según los modelos matemáticos descritos anteriormente.

Tabla 53. Constantes según especie para modelo matemático

ESPECIE	USO	Tp	%MS	PCI	%SV	Bo
Aves	Engorde	25,55	0,8	1,525E-05	---	---
	Traspato	31,94	0,35	2,24E-05	0,65	0,31
Bovinos	< 1 año	1460	0,18	2,24E-05	0,8	0,21
	1-2 años	3285				
	2-3 años	5110				
	> 3 años	6570				
Porcinos	Lechones	102,2	0,31	2,24E-05	0,75	0,32
	Levante	799,35				
	Hebras lactantes	2693,7				
	Machos reproductores	2051,3				
	Traspato	1343,8				

Fuente: (instituto colombiano agropecuario, 2019)

6.4.1.3. Sector Avícola

En el departamento del Putumayo, la biomasa residual pecuaria proveniente del sector avícola es producida por aves de traspato y de engorde, debido a que la composición química es muy diferente en ambos casos. Para las aves de traspato, la mejor opción es la tecnología bioquímica, debido a que su estiércol tiene niveles de humedad muy superiores al 50%, mientras que para las aves de engorde se utiliza el proceso térmico, ya que el porcentaje de materia seca es del 35%.

En la Tabla 54 y Tabla 55 se estima el potencial energético de las aves de traspato y engorde respectivamente.

125

Tabla 54. Potencial energético de aves de traspato

MUNICIPIO	TOTAL AVES TRASPATIO - 2019	MR (Kg/ año)	POTENCIAL ENERGETICO (TJ/año)	GWh/año
Colón	0	0	0	0
Mocoa	0	0	0	0
Orito	0	0	0	0
Puerto asís	0	0	0	0
Puerto Caicedo	0	0	0	0
Puerto Guzmán	0	0	0	0
Puerto Leguizamo	89.006	2842851	4,49	1,25
San Francisco	0	0	0	0
San Miguel	0	0	0	0
Santiago	0	0	0	0
Sibundoy	0	0	0	0
Valle del Guamuez	37.600	1200944	1,9	0,527
Villagarzón	0	0	0	0
Total	126.606	4043795	6,39	1,77

Fuente: Propia.

Tabla 55. Potencial energético de aves de engorde

MUNICIPIO	TOTAL AVES ENGORDE - 2019	MR (Kg/ año)	POTENCIAL ENERGETICO (TJ/año)	GWh/año
Colón	16.222	414472,1	5,056	1,404
Mocoa	1.026	26214,3	0,319	0,088
Orito	2.493	63696,15	0,777	0,215
Puerto asís	1.985	50716,75	0,618	0,171
Puerto Caicedo	1.276	32601,8	0,397	0,11
Puerto Guzmán	2.822	72102,1	0,879	0,244
Puerto Leguizamo	3.491	89195,05	1,088	0,302
San Francisco	762	19469,1	0,237	0,065

San Miguel	877	22407,35	0,273	0,075
Santiago	1.197	30583,35	0,373	0,103
Sibundoy	0	0	0	0
Valle del Guamuez	0	0	0	0
Villagarzón	0	0	0	0
Total	32.151	821458,1	10,021	2,783

Fuente: Propia.

Al sumar las aves de traspatio y las aves de engorde se obtiene el potencial energético del total de aves mostradas en la Tabla 56.

126

Tabla 56. Potencial energético del total de aves

MUNICIPIO	TRASPATIO	ENGORDE GWh/año	TOTAL GWh/año
	GWh/año		
Colón	0	1,404	1,404
Mocoa	0	0,088	0,088
Orito	0	0,215	0,215
Puerto asís	0	0,171	0,171
Puerto Caicedo	0	0,11	0,11
Puerto Guzmán	0	0,244	0,244
Puerto Leguízamo	1,25	0,302	1,552
San Francisco	0	0,065	0,065
San Miguel	0	0,075	0,075
Santiago	0	0,103	0,103
Sibundoy	0	0	0
Valle del Guamuez	0,527	0	0,527
Villagarzón	0	0	0
Total	1,77	2,783	4,553

Fuente: Propia.

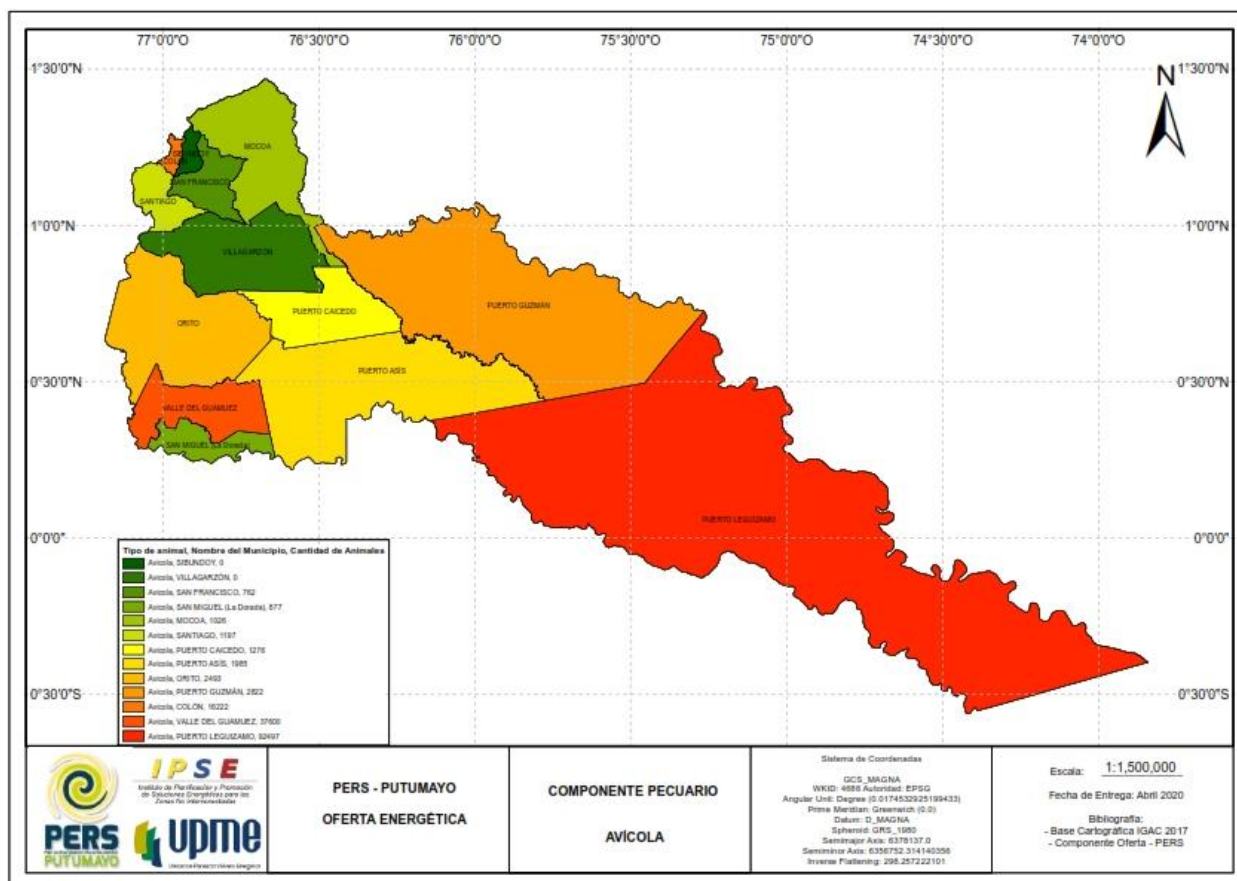


Figura 81. Potencial energético de la Biomasa Avícola del Putumayo. Fuente: Propia.

El potencial energético total del sector avícola en el departamento del putumayo es de 4,553 GWh/año, donde éste es determinado a partir del 61,1% de las aves de engorde y el 38,8% de aves de traspatio.



Potencial Energético Aviar

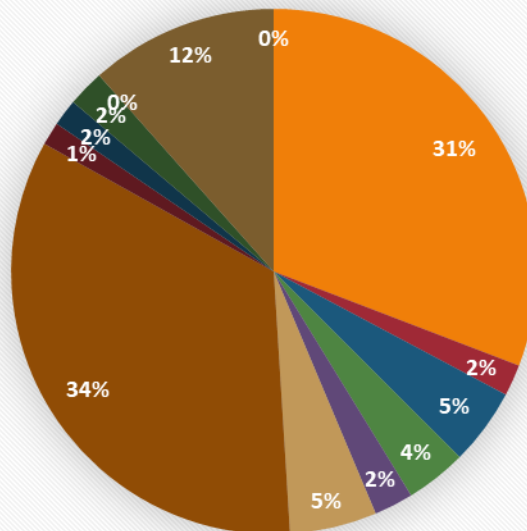


Figura 82. Potencial energético aviar en los municipios de putumayo. Fuente: Propia.

6.4.1.4. Sector Bovino

La población bovina del putumayo está clasificada por el ICA según grupo etario y sexo. Sin embargo, la clasificación predominante para el estudio de potencial energético de la biomasa pecuaria es la del grupo etario, pues la cantidad de residuos pecuarios dependen principalmente de la edad del animal. De esta manera se tienen cuatro grupos de estudio: terneros menores a un año, bovinos entre uno y dos años, bovinos entre dos y tres años, y bovinos mayores a tres años.

La distribución de cabezas de ganado bovino en las fincas del departamento es la siguiente: el 85,93% de las fincas con bovinos en putumayo tienen entre 1 a 50 bovinos, el 8,66% de las fincas con bovinos poseen entre 51 a 100 cabezas y el 5,16% de las fincas con bovinos tienen entre 101 a 500 cabezas.

El 0,23% de las fincas con bovinos tienen 501 o más cabezas, y solamente tres municipios en el departamento tienen fincas con esta capacidad, que son Puerto Guzmán, Puerto Leguizamo y Puerto Asís. Esta información está clasificada en la Figura 83 y en la Tabla 57.

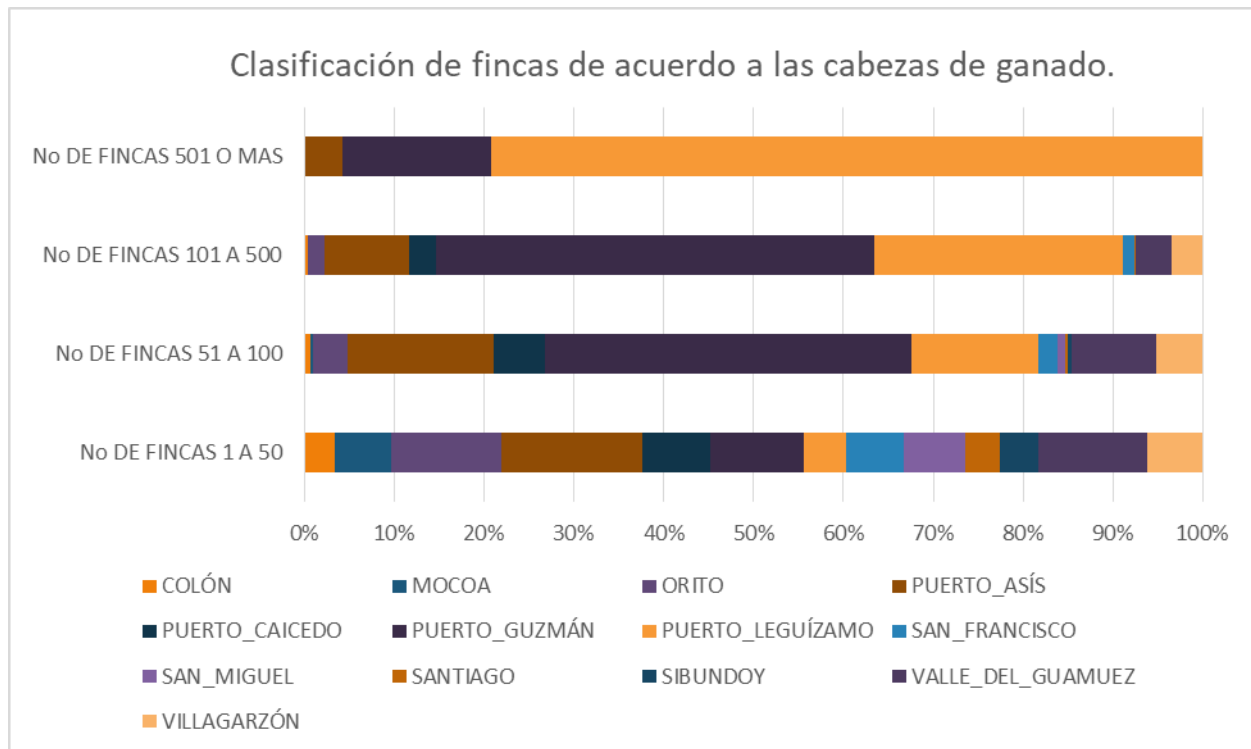


Figura 83. Clasificación de fincas de acuerdo a las cabezas de ganado. Fuente: Propia.

Tabla 57. Número de fincas de acuerdo a las cabezas de ganado

MUNICIPIO	No DE FINCAS 1 A 50	No DE FINCAS 51 A 100	No DE FINCAS 101 A 500	No DE FINCAS 501 O MAS	TOTAL FINCAS CON BOVINOS - 2019
Colón	299	6	2	0	307
Mocoa	565	3	0	0	568
Orito	1103	34	10	0	1.147
Puerto asís	1401	147	51	1	1.600
Puerto Caicedo	673	51	16	0	740
Puerto Guzmán	932	368	262	4	1.566
Puerto Leguízamo	427	128	149	19	723
San Francisco	563	19	7	0	589
San Miguel	616	8	0	0	624



Santiago	344	2	1	0	347
Sibundoy	385	4	0	0	389
Valle del Guamuez	1090	85	21	0	1.196
Villagarzón	549	47	19	0	615
Total	8947	902	538	24	10411

Fuente: (instituto colombiano agropecuario, 2019)

Tabla 58. Potencial energético biomasa residual bovina en los municipios de Putumayo.

130

MUNICIPIO	TOTAL BOVINOS – 2019	MASA DEL RESIDUO (Kg/año)	POTENCIAL ENERGETICO (TJ/año)	GWh/año
Colón	3.801	17174345	11,63348912	3,23152476
Mocoa	7.191	32382435	21,93508429	6,09307897
Orito	14.867	65094830	44,09367557	12,2482432
Puerto asís	42.091	189179500	128,145653	35,5960147
Puerto Caicedo	16.897	75965625	51,4572912	14,293692
Puerto Guzmán	95.319	420021925	284,5127715	79,0313254
Puerto Leguísimo	63.512	288477385	195,4076571	54,2799048
San Francisco	6.256	26964010	18,26477324	5,07354812
San Miguel	10.149	45441405	30,78091715	8,55025477
Santiago	3.597	15819100	10,71547868	2,97652186
Sibundoy	3.736	16203445	10,97582476	3,04884021
Valle del Guamuez	27.027	117131420	79,34201275	22,039448
Villagarzón	12.475	53714495	36,38490977	10,1069194
Total	306.918	1363569920	923,6495381	256,569316

Fuente: Propia.

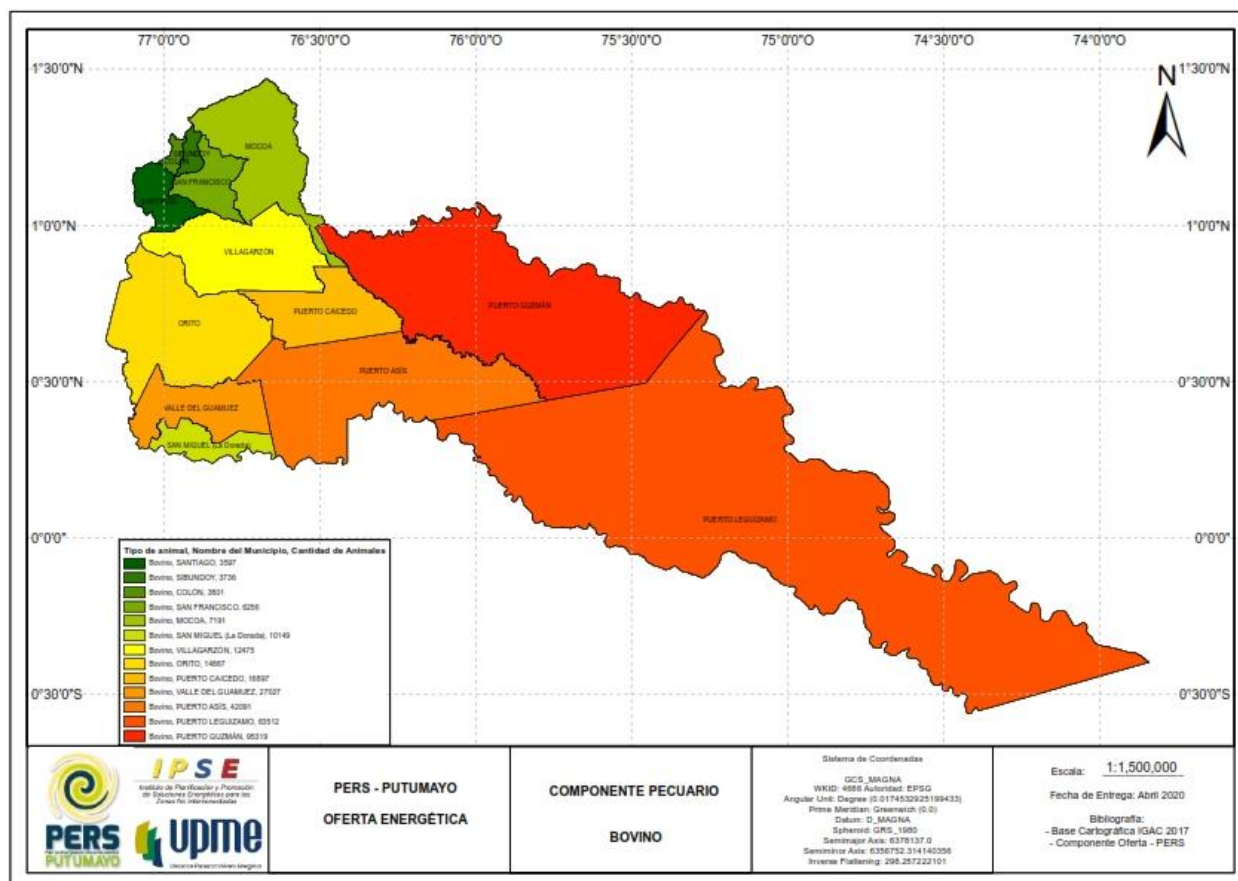


Figura 84. Potencial energético de la Biomasa Bovina del Putumayo. Fuente: Propia.

El potencial energético total del sector bovino en el departamento del putumayo es de 256,56 GWh/año

6.4.1.5. Sector Porcino

Al igual que en lo bovinos, en los porcinos se clasifican los residuos pecuarios según el grupo etario al que pertenecen debido a que la tasa de producción de estiércol varía representativamente entre cada grupo. Los cinco grupos son: lechones, levante, hembras lactantes, machos reproductores y porcinos de traspato. Estos últimos son los que predominan significativamente en el departamento, ya que sólo existen dos granjas porcinas tecnificadas, según la información obtenida en el ICA 2019.

Tabla 59. Potencial energético biomasa residual Porcina en los municipios de Putumayo.

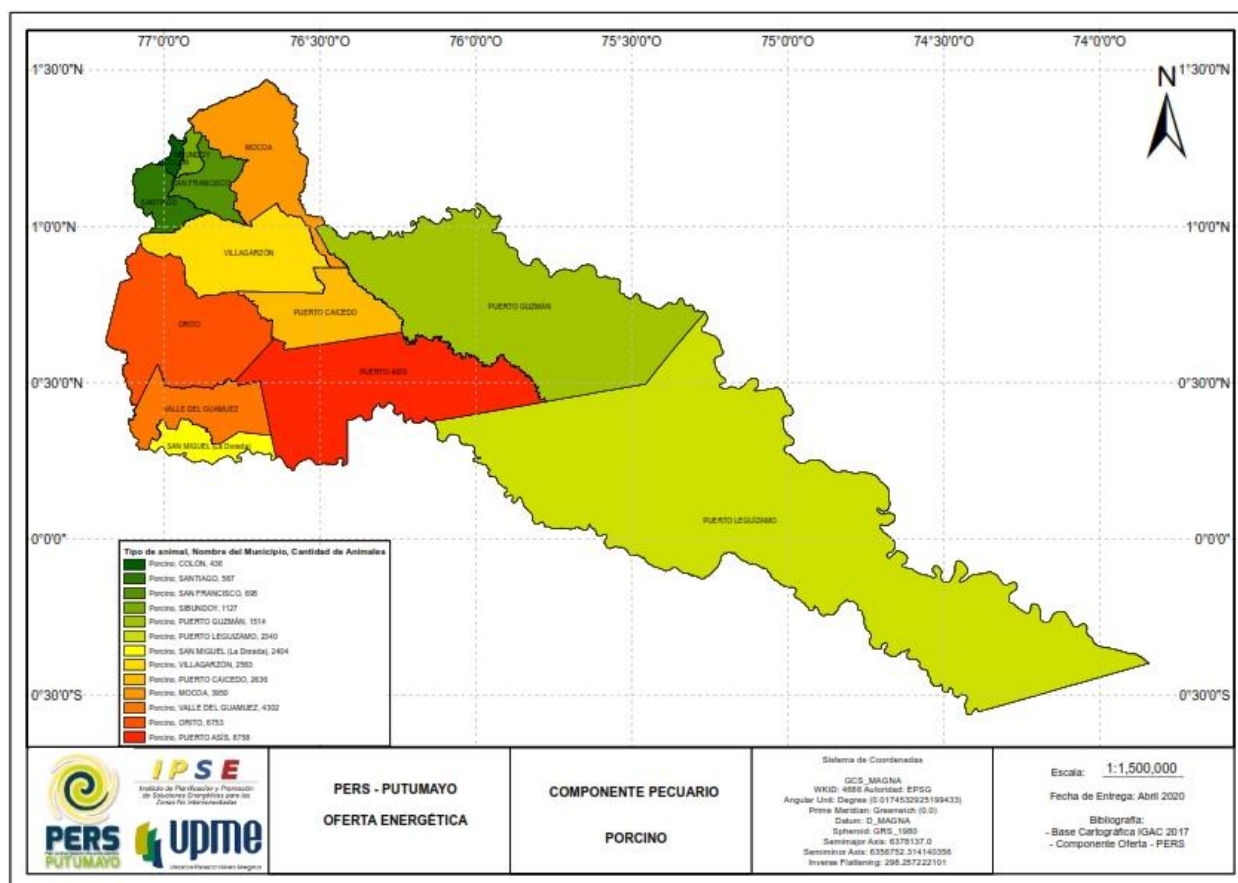
MUNICIPIO	TOTAL PORCINOS - 2019	MASA DEL RESIDUO (Kg/año)	POTENCIAL ENERGÉTICO	GWh/año
			(TJ/año)	
Colón	436	585896,8	0,95	0,264
Mocoa	3.950	5308010	8,61	2,39
Orito	6.753	9041363,7	14,7	4,07
Puerto asís	8.758	11769000,4	19,1	5,3



Puerto Caicedo	2.636	3327930,8	5,4	1,5
Puerto Guzmán	1.514	2034513,2	3,3	0,917
Puerto Leguizamó	2.340	3144492	5,1	1,42
San Francisco	695	933941	1,51	0,421
San Miguel	2.404	3230495,2	5,24	1,46
Santiago	567	761934,6	1,24	0,343
Sibundoy	1.127	1514462,6	2,46	0,682
Valle del Guamuez	4.302	5781027,6	9,38	2,6
Villagarzón	2.563	3444159,4	5,59	1,55
Total	31.292	50877227,3	82,5	22,9

Fuente: Propia.

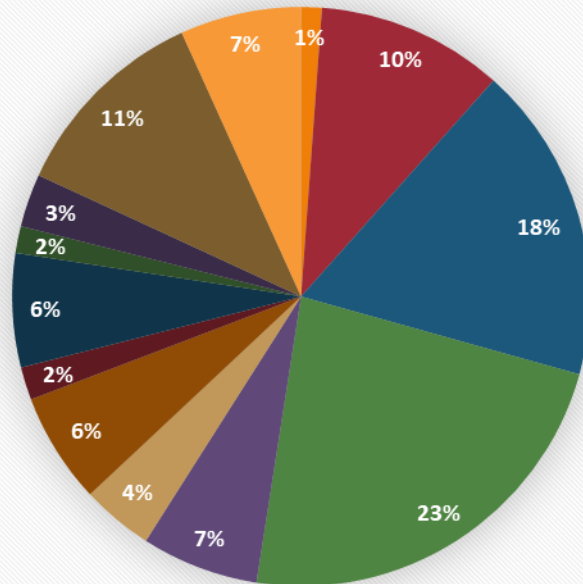
132



El potencial energético del sector porcino en el departamento del putumayo es de 22,9 GWh/año.



Potencial Energético Porcino



133

Figura 86. Potencial energético bovino en los municipios de putumayo. Fuente: Propia.

7. ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es una energía limpia y renovable, que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor interior de la tierra. En general, lo que se realiza para explotar este recurso es extraer a la superficie, mediante perforaciones y construcción de pozos, el vapor y los líquidos para aprovecharlos en generación de electricidad mediante turbinas, además de emplearse para calefacción, agua caliente sanitaria, entre otros. Esta misma variedad en los usos de energía geotérmica es una de sus mayores ventajas, tal como se puede observar en la Figura 87.

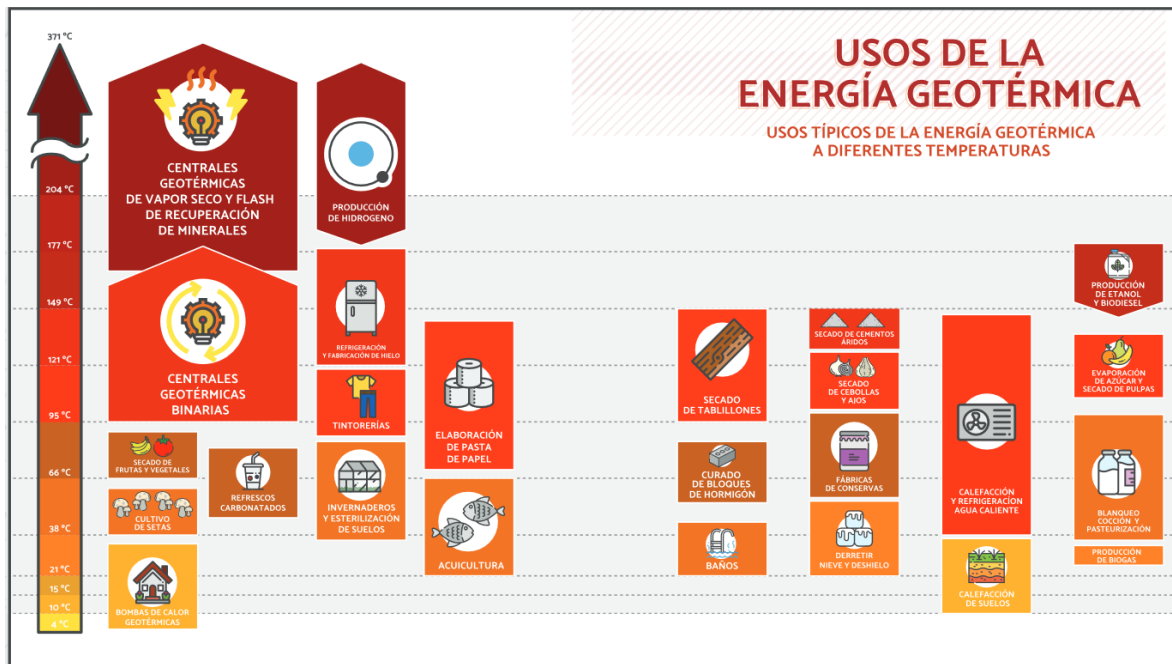


Figura 87. Usos de la energía geotérmica. Fuente: (Minminas, 2019)

7.1. ANTECEDENTES Y DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA

La geotermia en Colombia se inició a finales de la década de los sesenta, con un estudio de reconocimiento efectuado en el macizo volcánico del Ruiz, en el departamento de Caldas. Este estudio fue realizado por la Central Hidroeléctrica de Caldas, CHEC, conjuntamente con el ENEL de Italia. Posteriormente, en 1981, ICEL y OLADE realizaron el estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la república de Colombia, el cual cubrió unos 100.000 km², incluyendo áreas de las tres cordilleras y algunos territorios de la costa atlántica.



Como consecuencia de ese estudio se identificaron tres áreas prioritarias, dos en la cordillera occidental y una en la cordillera oriental. Las dos de la cordillera occidental son: Azufral de Túquerres, en el departamento de Nariño y Chiles-Cerro Negro también en el departamento de Nariño, en la frontera con el Ecuador. Posteriormente, esta área se identificó como el proyecto geotérmico binacional Chiles-Cerro Negro-Tufiño, cubriendo áreas de los dos países. Para este último proyecto se ejecutaron estudios a nivel de prefactibilidad en el 1986, desarrollados por ICEL, INECEL y OLADE, para lo cual se dispuso de un financiamiento de US\$1.1 millones donados por el gobierno italiano. En la cordillera oriental se identificó el área de Paipa-Iza que podría estar constituida por dos proyectos separados: el de Paipa y el de Iza. Estos proyectos se pueden observar en la Figura 88. (BETA, 2007)

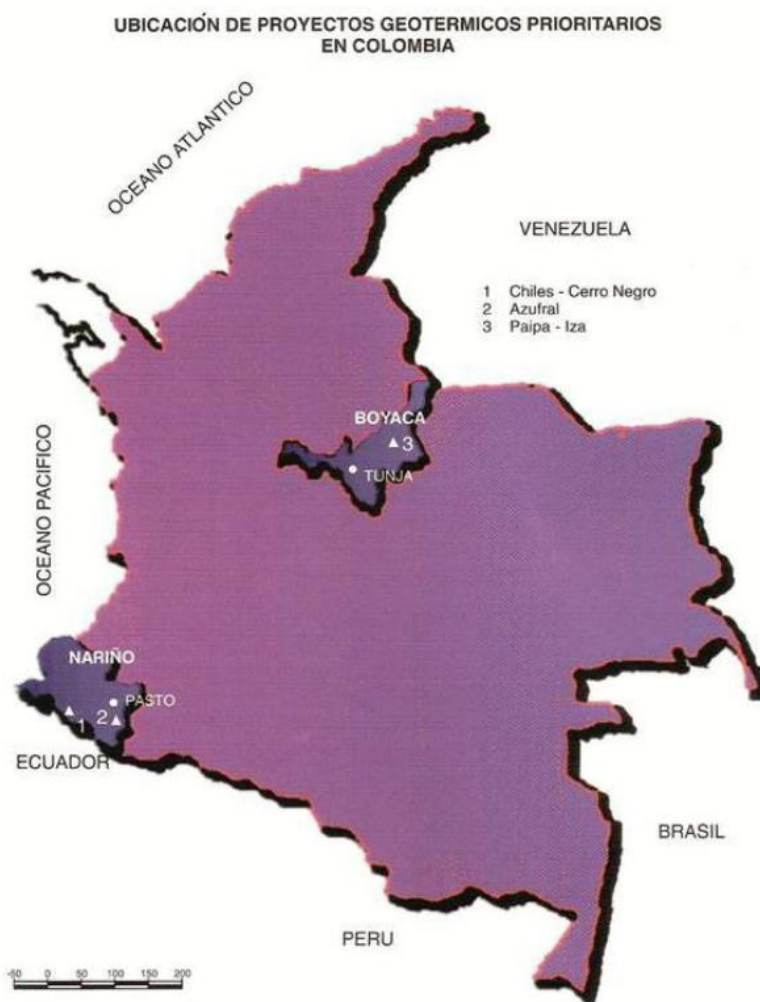


Figura 88. Proyectos prioritarios en Colombia. (Geraldyn Arias Marín, 2017)

En 1983, se realizaron estudios conocidos como de Fase II, Etapa A, en el macizo volcánico del Ruiz, equivalentes a una etapa de pre factibilidad. Más recientemente, a finales de la década de los 90, se ejecutó una perforación exploratoria profunda, para la cual parece no se obtuvo fluido geotérmico de

interés industrial. Hacia el 2002, Ingeominas estuvo haciendo trámites para conseguir financiamiento para desarrollar la etapa de prefactibilidad del proyecto geotérmico del Azufra, pero los resultados parecen que no fueron positivos. En estos dos últimos años, Isagen también ha desarrollado trámites para conseguir financiamiento y de esta manera reactivar las investigaciones geotérmicas en el país. (BETA, 2007)

7.2. DESARROLLO DE PROYECTOS DE GENERACIÓN GEOTÉRMICA

El desarrollo de los proyectos con energía geotérmica se puede dividir en cuatro fases: Exploración, Exploración profunda (perforaciones), Implementación de la planta y Monitoreo tanto de las reservas como de la operación de la planta.

136

En la fase inicial (exploración) se hace una evaluación del desempeño incluyendo el punto de vista geológico (vulcanológico), una prospección geofísica (eléctrica, gravimétrica, magnética y algunas veces sísmica), a la vez que se analiza el pozo para determinar la geoquímica de aguas y gases. Los datos de dicha valoración son comparados y usados para localizar una reserva que tenga potencial, la cual puede ser identificada plenamente por medio de la fase de perforación.

La principal actividad en la exploración profunda es la perforación de pozos. Sin embargo, en esta fase, también se desarrolla actividad geocientífica, de tal forma que se define la estratigrafía de los pozos, para ligar el perfil geológico hallado, (por medio de un registro) a los datos hallados en la etapa inicial. La forma como está compuesto el pozo por dentro, se usa además para establecer "las características termodinámicas y la medida de la productividad del pozo en términos del flujo de masa y de la entalpía.", esto permite que los ingenieros calculen el tamaño del pozo, cuanta es su reserva y que capacidad tiene de mantener la producción durante la vida útil del proyecto. Los resultados de esta exploración profunda y las características del fluido geotérmico determinan el tipo de planta a escoger:

- a) Para generación eléctrica cuando se produce fluido de alta entalpía
- b) Para calentamiento cuando se produce fluido con alta y baja entalpía.

El tamaño del recurso presente determinará el plan de perforación a ejecutar, al igual que el diseño de la planta, las tuberías y el sistema de reinyección de agua.

Las reservas geotérmicas son más dinámicas que las de hidrocarburos, y por consiguiente se desarrolla un continuo monitoreo y evaluación del comportamiento del recurso tanto en la exploración como en la implementación, con el fin de asegurar que el recurso es adecuado para entregar la energía que se le demandará. Un esquema de las fases del desarrollo de proyectos geotérmicos se puede observar en la Figura 89. (Geraldyn Arias Marín, 2017)

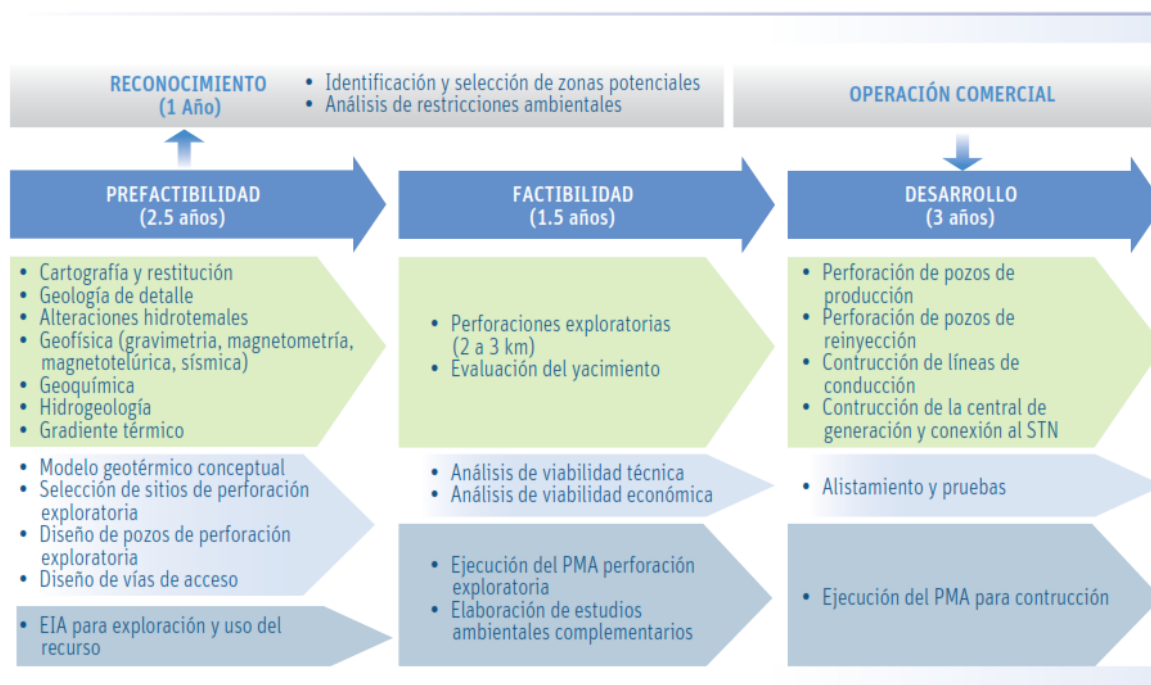


Figura 89. Fases del desarrollo de un proyecto geotérmico. Fuente: (Marzolf, 2017)

7.3. POTENCIAL GEOTÉRMICO

En el mundo existen cerca de 11.000 MW de capacidad instalada en geotermia. Algunos países como los Estados Unidos, Filipinas, Indonesia, México, Italia, nueva Zelanda, Islandia y Japón suman en conjunto, el 90% de la capacidad instalada total (Marzolf, 2017).

Según datos publicados por La Unidad de Planeación Minero Energética UPME en 2015 el potencial para desarrollo de generación eléctrica a partir del recurso geotérmico en Colombia se estima en el orden de 1 a 2 GW. Esto debido a que en las cordilleras colombianas se han identificado sistemas geotérmicos con agua caliente relacionados con volcanes en: Paipa, departamento de Boyacá. Mar de San Diego, El Escondido de Florencia y Cerro Bravo, en el departamento de Caldas. Nevado del Ruiz, entre los departamentos de Caldas y Tolima. Paramillo de Santa Rosa, departamento de Risaralda. Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Cerro Machín, departamento del Tolima. Nevado del Huila, entre los departamentos de Huila, Tolima y Cauca. Puracé (Cadena de volcanes de los Coconucos) y Sotará, departamento del Cauca. Doña Juana, Galeras, Azufral, Cumbal y Chiles – Cerro Negro, departamento de Nariño y, Sibundoy, departamento de Putumayo. Estos recursos identificados se pueden observar en la Figura 90 (Generamos, 2017) y (Minminas, 2019).

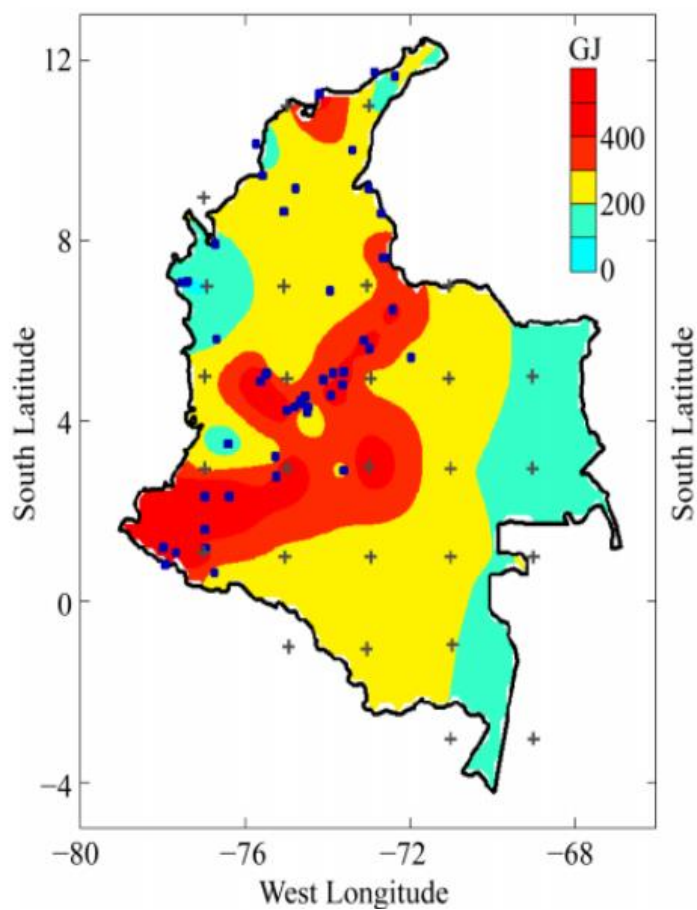
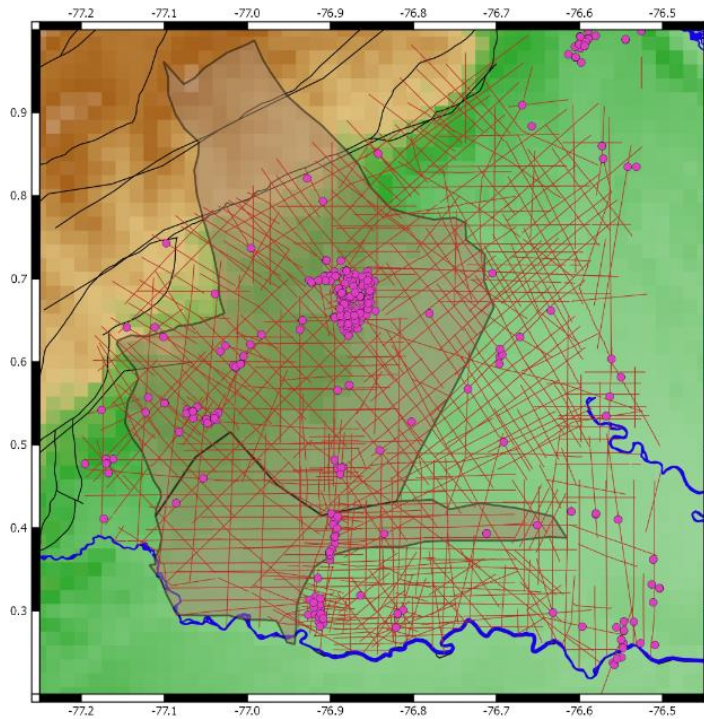


Figura 90. Distribución de los recursos geotérmicos. Adaptado de (Fábio P. Vieira, 2014)

Finalmente, la ubicación de estos recursos geotérmicos en el departamento del Putumayo determinan el potencial energético, los cuales se pueden observar en la Figura 91.



ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO



Municipios
Orito (5.169 familias)
Valle de Guamuez (8640 familias)
Gradiente Geotérmico Regional 25-35 °C/km

PROGRAMAS SÍSMICOS

PUTUMAYO-66-70
PUTUMAYO-66
ACAE NORTE-73
ACAE NORTE-74
SAN MIGUEL-93
CHURUYACO-80
PUTUMAYO OESTE-89
PUTUMAYO-84
PUTUMAYO SAN JUAN-92
PUTUMAYO SUR-87
ACAE-80
PUTUMAYO CENTRAL-92
ALEA 1848 A 2D-2009
PUTUMAYO FARMLAND-76
ACAE-90
PUTUMAYO OESTE DETALLE-90
RIO PUTUMAYO-88
PUTUMAYO OESTE-88
TEMBLON-80
PUT4 ESTE 2D-2012
PUTUMAYO PUERTO ASIS-83
PUTUMAYO OESTE DETA SJN-92
PUTUMAYO DETALLE-87
PUTUMAYO SAN JUAN-85
SANTANA A-87
SAN JUAN NORTE-96
GARZA 2D-2013
ACAE SUR-73
HELEN 2D-2007
PUTUMAYO PERFORACION
H2TAL-90
HORMIGA-80
PUTUMAYO CAIMAN TAMBOR-73
RUMIYACO 2D-2010
LORO-80
PUT4 NORTE 2D-2012
SANTANA B FRAGUA-93
PUTUMAYO CAIMAN TAMBOR-74
PUTUMAYO OESTE DETA ORI-92
MARANTA 2D-2007
GARZA 2D-2010
PUTUMAYO NORTE-87

388 Pozos

Leyenda

● POZOS EPIS
— SISMICA-2D EPIS



Figura 91. Potencial geotérmico del departamento del Putumayo. Fuente: (IPSE, 2017)



8. GAS NATURAL

El gas natural es una fuente de energía (en potencia) que circula bajo el suelo de superficie terrestre. Este aporta comodidad doméstica y provee energía a la industria y al país. El gas contribuye al desarrollo del país, y es un gran complemento a las fuentes de energía renovables. (Fernando Guerrero Suárez, 2003)

Colombia tiene actualmente uno de los mayores potenciales en gas y petróleo en América Latina, esto debido en gran parte a el hallazgo de nuevos yacimientos, especialmente en el Mar Caribe que permitiría al país en la próxima década contar entre 7 y 30 terapias cúbicos de reservas de gas, garantizando así un abastecimiento más allá del 2030. Según estimativos, esas explotaciones podrían arrancar entre los años 2024 y 2026, en unos casos, o hacia el 2028. Todo ello permitiría alejar el fantasma de un mayor agotamiento de las reservas de gas, luego de que el Ministerio de Minas señalara que las actuales permitirán solo una autosuficiencia para 9,8 años. (Pais, 2019) Son varios las regiones del país en donde existe explotación de gas natural, las cuales se pueden observar en resumen en la Tabla 60, donde se encuentran algunos de los campos de explotación más importantes del país.

140

Tabla 60. Resumen de los campos de producción de Gas Natural en Colombia.

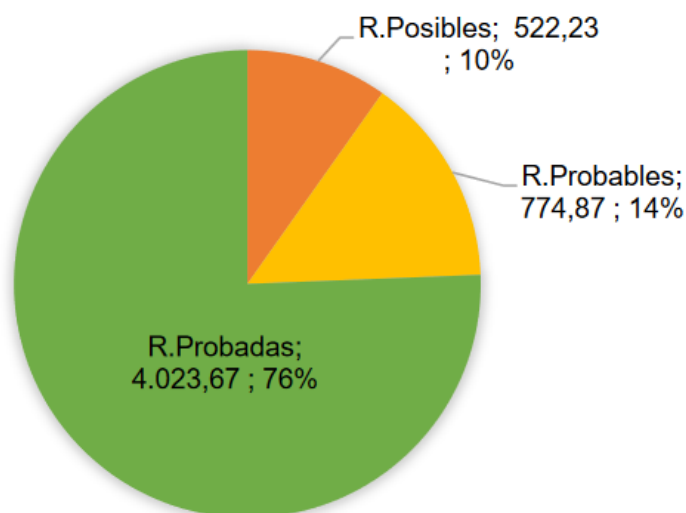
CUENCA	CAMPO
Catatumbo	Cerrito, Oripaya, Sardinata, Tibú
Cesar Ranchería	La Loma
Cordillera Oriental	Gibraltar, Guaduas, Palagua
Guajira	Ballena, Chuchupa, Cardon IV - Ven. Imp. Petromil, Imp ECP/Ballena.
Llanos Orientales	Apiay, Calona, Campo Rico, Carmentea, Centauro Sur, Cupiagua, Cusiana, Cusiana Norte, Floreña, Kananaskis, La Estancia, La Punta, Pauto Sur, Ramiriquí, Santo Domingo Centro, Santo Domingo Juape, Santo Domingo Norte
Valle Inferior del Magdalena	Arianna, Arjona, Bonga, Bullerengue, Clarinete, El Dificil, La Creciente, Mamey, Nelson Ciénada de Oro, Nelson Porquero, Nispero, Oboe, Palmer, Pedernalito, Trambón, Planta Regasificación de Cartagena.
Valle Medio del Magdalena	Bonanza Incremental, Caramelo, Compae, Corazón, Corazón West, Gala, La Cira Infantas, La Salina, Liebre, Lisama, Lisama Norte, Lisama Profundo, Llanito, Nutria, Opón, Payoa, Payoa West, Provincia, Puli, Tesoro, Toposí, Toqui-Toqui, Yarigui Cantagallo.
Valle Superior del Magdalena	Cañada N., Dina Terciario, La Hocha, Mana, Río Opía, Santa Clara

Fuente: (UPME, BALANCE DE GAS NATURAL 2017, 2017)



8.1. ESTADO DEL SECTOR EN COLOMBIA

El estado del sector de gas natural en Colombia se puede analizar desde la demanda que existe del servicio/bien, así como de su oferta. Este análisis es realizado periódicamente por la UPME, así como diferentes asociaciones públicas y privadas como el ministerio de minas y energías o ANDI, que se encargan de realizar informes del sector anacrónicamente.



141

Figura 92. Reservas Probadas, posibles y probables. Fuente: (UPME, 2017)

Las reservas probadas remanentes están concentradas en tres cuencas principalmente: Llanos Orientales con el 59% de las totales, la Guajira que contiene el 22% y le siguen en su orden Valle Inferior del Magdalena con 11% y Valle Medio del Magdalena y Cordillera Oriental con 4% cada una. Las reservas probables se localizan primordialmente en los Llanos Orientales, Valle Inferior y Valle Medio del Magdalena distribuidas con una participación del 40%, 30% y 15% respectivamente y las reservas posibles se ubican principalmente en el Valle Inferior del Magdalena, con un 42% de las reservas posibles totales. (UPME, 2017)

A continuación, se presenta la participación de cada cuenca en el volumen total de reservas por categoría.

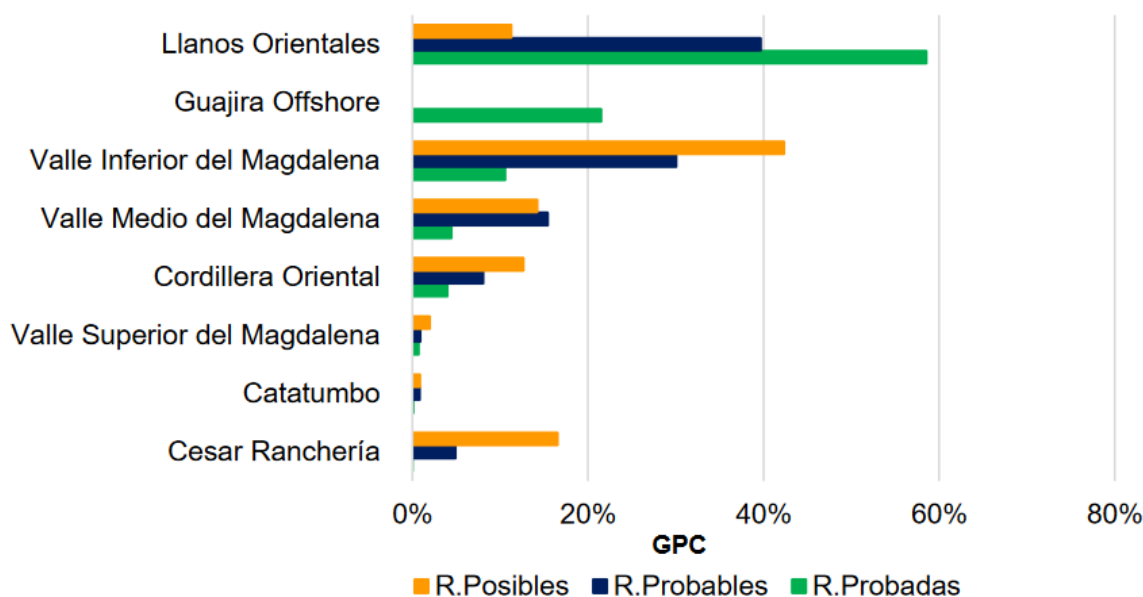


Figura 93. Participación de reservas de gas natural por cuenca. Fuente: (UPME, 2017)

Como se puede observar en la Figura 93, la participación de reservas de gas probadas se encuentran la mayoría en los llanos orientales seguidos por la Guajira. Además, se encuentra un gran potencial en el valle inferior del Magdalena, en donde se encuentra un valor significativo tanto de reservas probables como de posibles. (UPME, 2017)

En el año 2016 la demanda de gas natural tuvo una contracción del 2,4%. A pesar del decrecimiento del consumo a nivel nacional, los sectores Residencial, Terciario y Petrolero presentaron crecimientos de 1,98%, 5,81 y 44,55%, esto se puede observar en la Figura 94. (UPME, 2017)

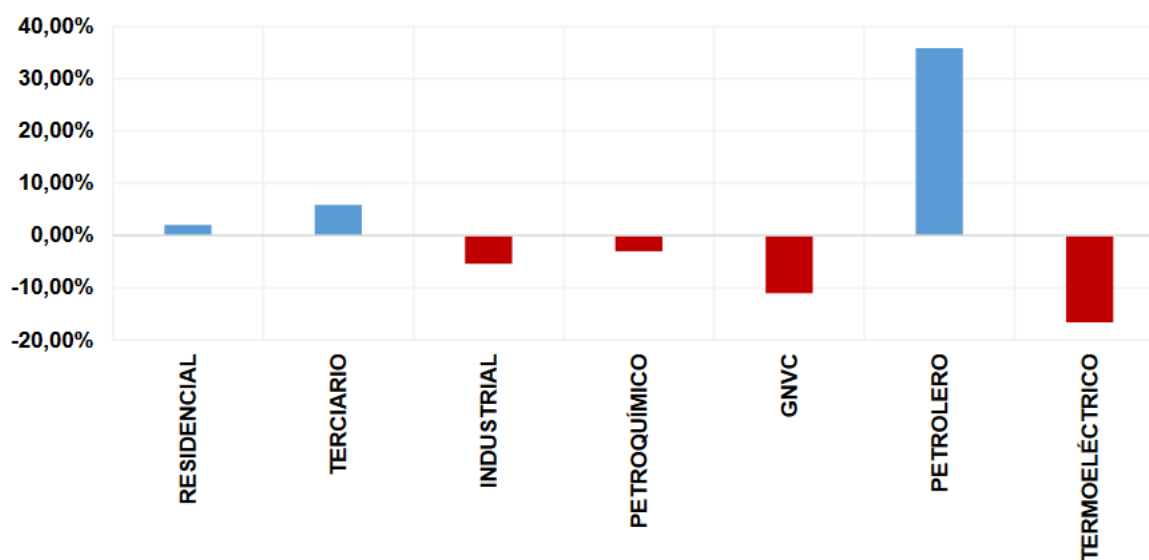


Figura 94. Crecimiento de la demanda por sectores del consumo. Fuente: (UPME, 2017)

Al realizar un análisis regional, se aprecia que las regiones Suroeste, Eje Cafetero (Caldas, Quindío Risaralda) y Costa tuvieron crecimientos positivos durante el 2016 (10,6%,5,16%, 0,56% respectivamente), mientras que las regiones restantes tuvieron decrecimientos superiores al 4%. Lo anterior se muestra en la Figura 95. (UPME, 2017)

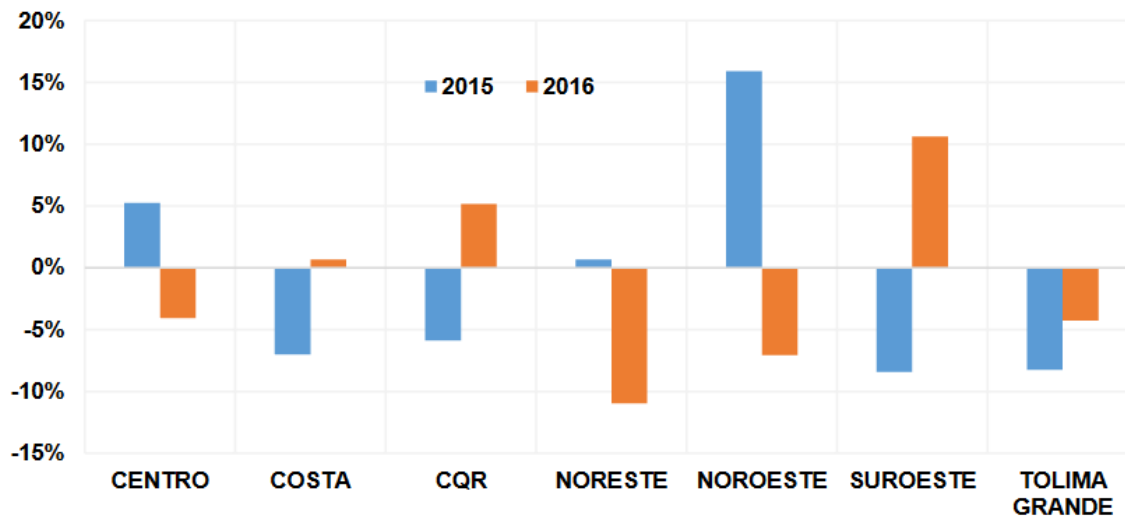


Figura 95. Crecimiento de la demanda por regiones de consumo. Fuente: (UPME, 2017).

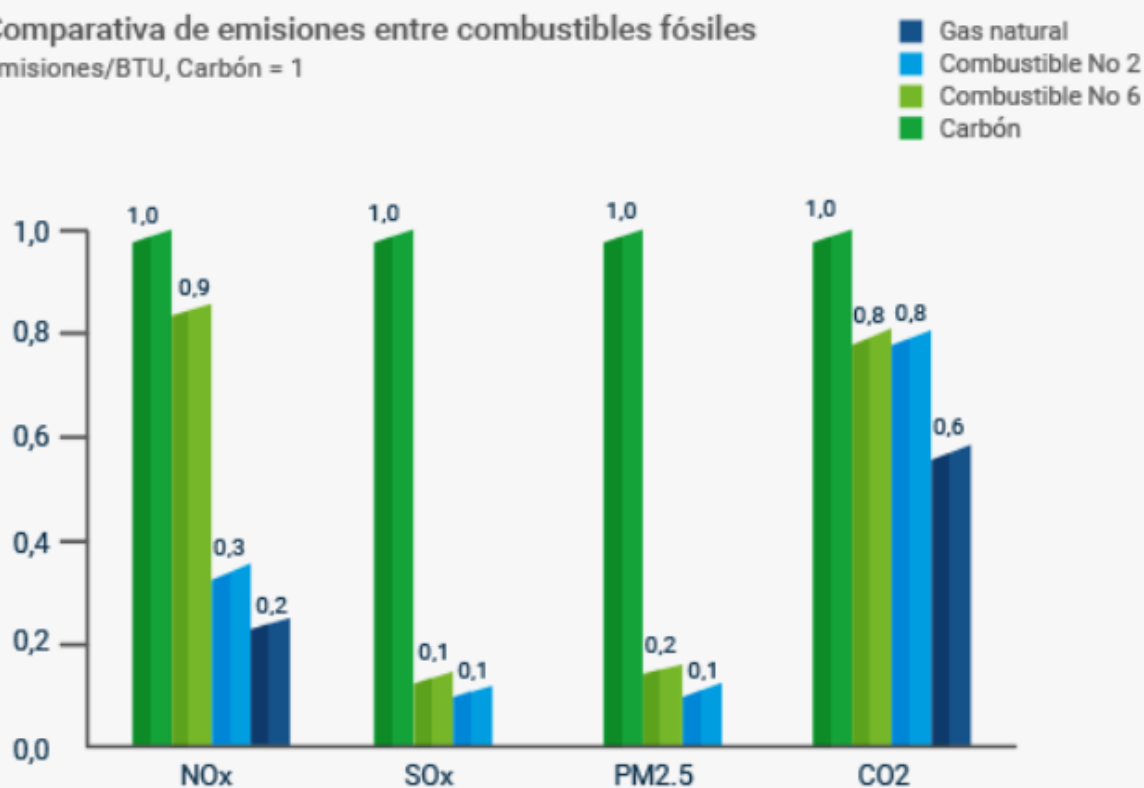
8.2. GAS NATURAL COMO COMPLEMENTO A LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Después de las energías alternativas, una de las formas de generación de energía que menos contaminan es el gas natural, emitiendo entre 20 y 40% menos emisiones de CO₂ al ambiente, lo cual se puede evidenciar en la Figura 96.



Comparativa de emisiones entre combustibles fósiles

Emisiones/BTU, Carbón = 1



Gas natural como energía complementaria para el desarrollo de energías renovables

Figura 96. Comparativa de emisiones entre combustibles fósiles. Fuente: (NATURGAS, 2020)

Además de ser menos contaminante que otras opciones, el gas natural es una gran opción debido a su versatilidad, disponibilidad, niveles de emisiones y costo. Por esto el gas natural es el mejor combustible para complementar el desarrollo de las energías renovables en el medio y largo plazo:

- **Versatilidad:** El mayor desafío de las energías renovables para la adopción masiva es la variabilidad en la energía producida. Por su flexibilidad, el gas natural puede ser la espina dorsal para asegurar el suministro de energía a hogares, industria y transporte terrestre y marítimo.
- **Disponibilidad:** Incluso si no se consiguiera facilitar el desarrollo de las fuentes nacionales, la abundancia de gas natural a nivel global y el estado de desarrollo del mercado de importación de GNL permitirían abastecer al país.
- **Costo:** El costo reducido del gas natural no está limitando la adopción de las energías renovables, ya que estas siguen siendo las fuentes energéticas de más rápido crecimiento. En realidad, el gas natural actúa como complemento cuando las energías renovables no son suficientes, reduciendo el costo total de generación energética y facilitando la adopción tanto de renovables como de gas.



8.3. POTENCIAL ENERGÉTICO DEL GAS NATURAL

El departamento del Putumayo ha sido últimamente el foco de las noticias debido a su desarrollo en términos de hidrocarburos, debido principalmente al descubrimiento de yacimientos de petróleo en Orito y en la zona del Caguan (ver la Figura 97). En gran parte, ésto se debe al uso o prospección de técnicas controvertidas como el Fracking y los Yacimiento No Convencionales -YNC-.



145

Figura 97. 8 cuencas geológicas con potencia de no convencionales. Fuente: (ANDI, 2019)

Sin embargo, este potencial de yacimientos de petróleo no se traslada necesariamente a potencial de gas natural, debido a que hasta el momento no se han encontrado en ninguno de los 3 estados (Probadas, Probables o Posibles) reservas de gas en el departamento del Putumayo. El único acercamiento que se ha realizado para producir gas natural en el departamento se detalla en (C. E. ROA DUARTE, 2010), en el cual se explora la posibilidad de utilizar el gas como subproducto para los campos de Orito y Área Sur de la empresa ECOPETROL. Lamentablemente, y aunque este estudio determinó la factibilidad para realizar esta operación, esto nunca se llevó a la práctica y a día de hoy no existe un plan en concreto de producción de gas natural en el departamento del Putumayo.



9. ESTADO DE CONEXIÓN ELÉCTRICA

El sistema eléctrico colombiano está dispuesto por una columna vertebral de líneas de transmisión denominadas el sistema de transmisión nacional (STN), el cual se encarga de conectar la oferta energética con los puntos de demanda. En el Anexo 4: Sistema de Transmisión Nacional, se encuentra el STN actual. Sin embargo, este sistema no permea todo el territorio colombiano, y por esta razón mediante el artículo 1 de la Ley 855 de 2003, se crearon las zonas no interconectadas (ZNI) las cuales son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional. (CREG, 2020)

146

Con el fin de determinar las zonas no interconectadas, es necesario realizar una estimación preliminar de la cobertura eléctrica que existe en el territorio nacional, para lo cual se debe seguir la metodología establecida por la UPME en el 2018 y así determinar el Índice de Cobertura de Energía Eléctrica (ICEE). Para el caso del departamento del Putumayo, en la Figura 98 se puede observar el ICEE de cada uno de sus municipios.

USUARIOS REPORTADOS A LA UPME										VIVIENDAS SIN SERVICIO - VSS				ÍNDICE DE COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA - ICEE		
Depto	Municipio	Usuarios Cabecera Municipal SIN	Usuarios Resto SIN	Usuarios Total SIN	Usuarios Barrios Subnormales	Usuarios Cabecera municipal	Usuarios Resto ZNI	Usuarios total ZNI	OR quien reporta información de Usuarios	VSS Cabecera Municipal	VSS Resto	VSS Totales	Fuente de información	ICEE cabecera municipal	ICEE resto	ICEE Total
Putumayo	Mocoa	7.200	3.276	10.476	5.476	-	-	-	EEPUTUMAYO - 2018	97	600	697	CNPV/18	99,24%	84,52%	95,81%
Putumayo	Colón	1.176	500	1.676	-	-	-	-	EMEVASI S.A. E.S.P. - 2018	6	13	19	CNPV/18	99,49%	97,47%	98,88%
Putumayo	Orito	3.424	900	4.324	3.523	-	56	56	EEPUTUMAYO - 2018; IPSE - 2018	425	4.480	4.905	CNPV/18	94,23%	17,59%	61,70%
Putumayo	Puerto Asís	-	-	-	-	-	69	69	IPSE - 2018	464	4.996	5.460	CNPV/18	95,55%	28,71%	68,69%
Putumayo	Puerto Caicedo	-	-	-	-	-	-	-		46	943	989	CNPV/18	96,79%	54,90%	71,95%
Putumayo	Puerto Guzmán	313	316	629	2.120	-	2.571	2.571	EEPUTUMAYO - 2018; ELECTROCAQUETA - 2018; IPSE - 2018	63	2.837	2.900	CNPV/18	97,48%	50,44%	64,72%
Putumayo	Leguízamo	-	-	-	-	3.325	236	3.561	IPSE - 2018	102	2.455	2.557	CNPV/18	97,02%	8,77%	58,21%
Putumayo	Sibundoy	3.770	1.054	4.824	-	-	-	-	EMEVASI S.A. E.S.P. - 2018	12	94	106	CNPV/18	99,68%	91,81%	97,85%
Putumayo	San Francisco	1.246	597	1.843	-	-	-	-	EMEVASI S.A. E.S.P. - 2018	6	37	43	CNPV/18	99,52%	94,16%	97,72%
Putumayo	San Miguel	-	-	-	-	-	-	-		69	1.642	1.711	CNPV/18	94,75%	38,48%	57,04%
Putumayo	Santiago	849	1.169	2.018	-	-	-	-	EMEVASI S.A. E.S.P. - 2018	10	40	50	CNPV/18	98,84%	96,69%	97,58%
Putumayo	Valle del Guamuez	-	-	-	-	-	-	-		105	1.771	1.876	CNPV/18	97,15%	58,74%	76,49%
Putumayo	Villagarzón	3.313	1.980	5.293	950	-	31	31	EEPUTUMAYO - 2018; IPSE - 2018	38	784	822	CNPV/18	99,12%	71,95%	88,42%
PUTUMAYO		21.291	9.792	31.083	12.069	3.325	2.963	6.288		1.443	#####	22.135		97,34%	48,38%	76,55%

Figura 98. Índice de cobertura energética del departamento del Putumayo. Fuente: Adaptada de (SIEL, 2019)

Como se puede observar en la anterior figura, el departamento del Putumayo tiene 8 de sus 13 (61.5%) municipios con un ICEE, inferior al 90%, de los cuales se encuentra que 2 de ellos (Puerto Leguízamo y San Miguel) tienen una cobertura menor al 60%. Estas cifras, junto con que el índice de cobertura energética del departamento que es del 76.55%, permiten afirmar que el departamento sufre de una ausencia de un suministro energético confiable, y comprehensivo, lo cual se puede soportar mediante el indicador del ICEE y el análisis del sistema de transmisión y distribución que existe actualmente en el departamento.

Los elementos del STN que corresponden al departamento del Putumayo pueden observar en la Figura 98.

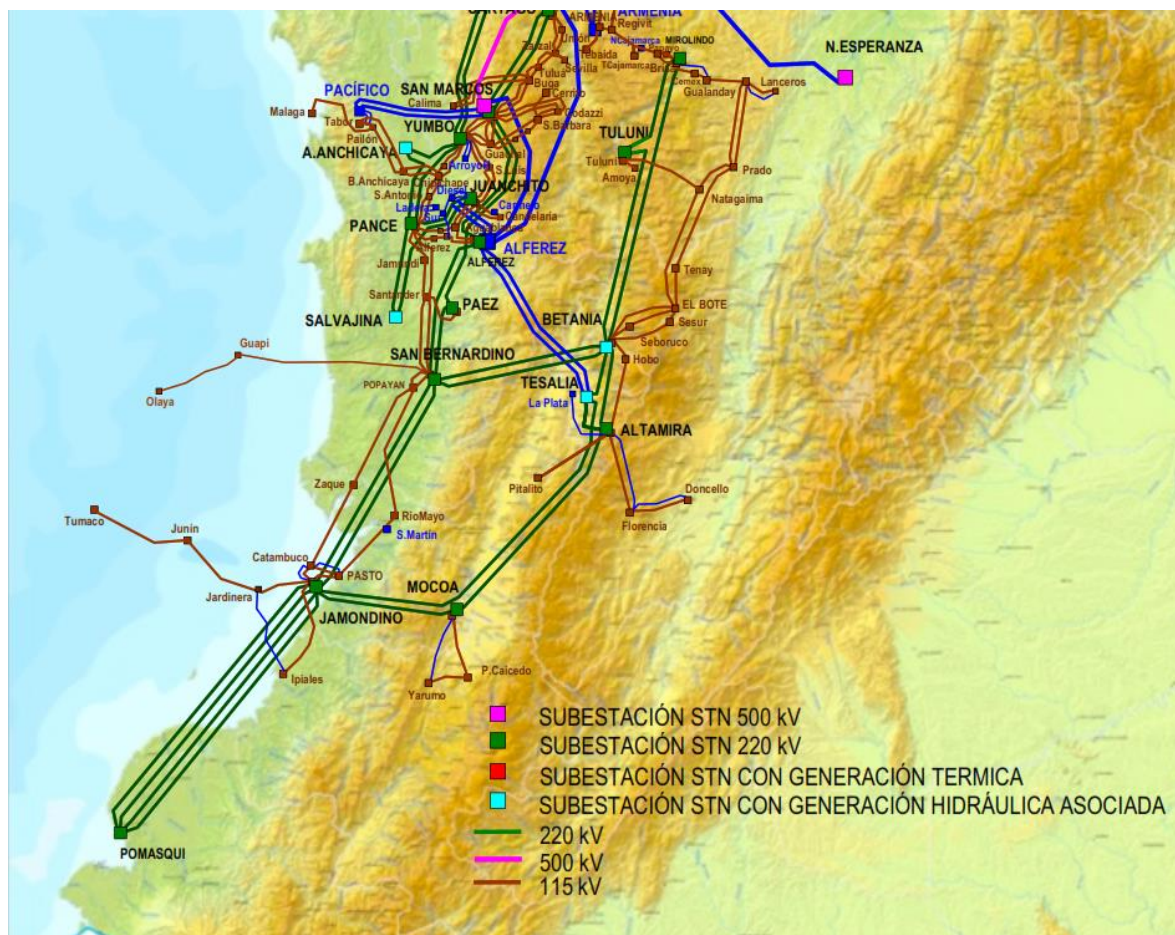


Figura 99. Sistema de transmisión nacional correspondiente al departamento del Putumayo. Fuente: Adaptado de (UPME, Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2019 - 2033, 2019)

En la anterior figura se observa que dentro del STN en el departamento del Putumayo se encuentra:

- Una (1) Subestación de 220kV en Mocoa (Realmente es de 230kV)
- Dos (2) subestación de 110 - 115 kV (pertenecen al sistema de transmisión regional)
- Dos (2) líneas de transmisión de 110 - 115 kV
- Una (1) red de STN y STR definida.

Con el fin de determinar el alcance que tiene exactamente el sistema de transmisión en el departamento del Putumayo, es necesario analizar la estructura del sistema a nivel del operador de red del departamento.

El sistema eléctrico del Putumayo, es un sistema radial, el cual se alimenta a 115 KV desde la subestación MOCOA, mediante un módulo de transformación 230/115/13,8 KV y 30/30/10 MVA, la línea de 115 KV llega hasta la subestación PUERTO CAICEDO y desde allí continua hasta la subestación YARUMO. Desde

estas dos subestaciones salen líneas de 34,5 KV hasta las subestaciones PUERTO ASIS y LA HORMIGA respectivamente, tal como se puede observar en las figuras: Figura 100 y Figura 101. (EEP, 2015)

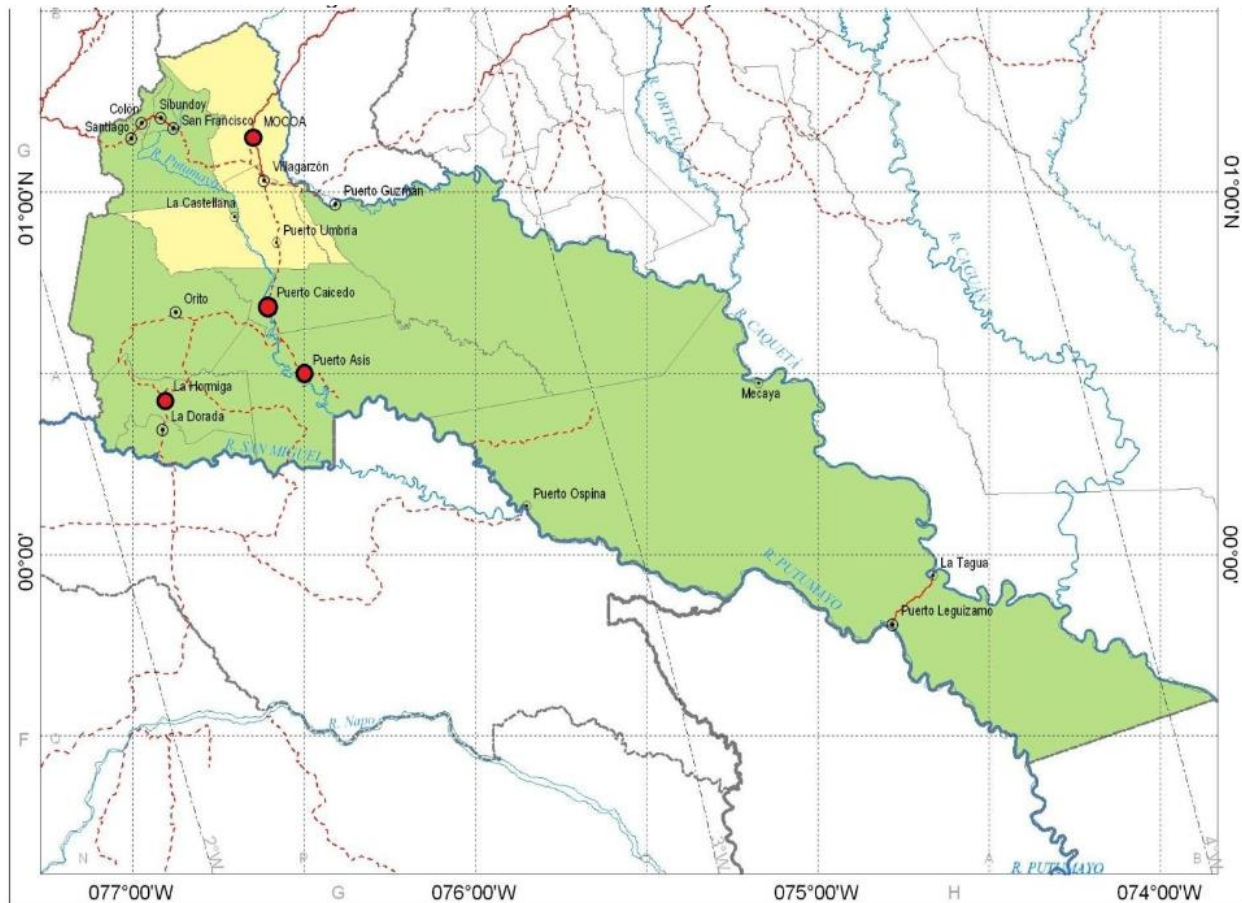


Figura 100. Ubicación de subestaciones de la empresa de energía del putumayo. Fuente: (EEP, 2015)

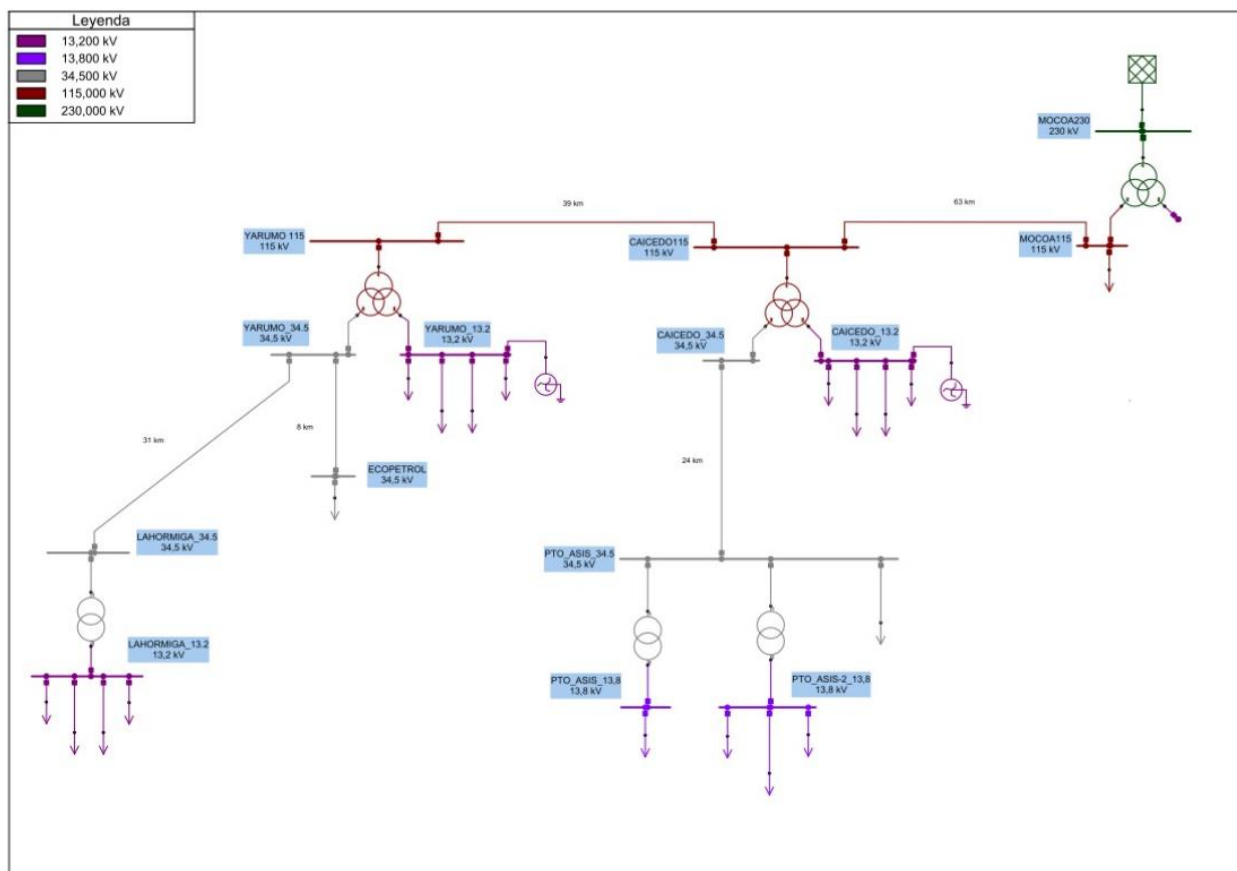


Figura 101. Diagrama unifilar del sistema de la empresa de energía del putumayo. Fuente: (EEP, 2015)

Como se muestra en la anterior figura, el sistema de transmisión del Putumayo se extiende desde una subestación de 230kV llamada “Renacer”, ubicada en el municipio del Mocoa (la cual será reinaugurada este año) (GEB, 2020) hasta por una parte a una subestación de 34.5 kV en el Valle del Guamuez y por la otra parte hasta una subestación de 34.5 kV EN Puerto Asís, junto con sus respectivas líneas de transmisión asociadas.

Al analizar el sistema de transmisión del departamento del Putumayo se encuentra que es insuficiente tanto en su radialidad, ya que deja expuesto el sistema a fallas que afectan una gran cantidad de usuarios aguas debajo de los puntos donde eventualmente se presentan los eventos, como en su deficiencia en abarcar todo el departamento. (EEP, 2015)

Dentro del Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2019-2033, se reconocen algunas de las problemáticas mencionadas anteriormente “El área de Putumayo presenta problemática relacionada con atención radial de la demanda. Atención Radial de la demanda: Se observa que la demanda está alimentada radialmente mediante desde el transformador 230/115 kV de Mocoa, lo cual produce que ante la contingencia del mismo se produzca demanda no atendida. El OR presentó el estudio del segundo transformador en Mocoa” (UPME, Plan de expansión de referencia generación - transmisión



2019 - 2033, 2019). Sin embargo, no se propone ninguna medida que permita solucionarlas. En cambio, las únicas inversiones que se realiza en el departamento son las concernientes a la reconstrucción parcial de la subestación de Mocoa (las cuales se pueden observar en la Tabla 61), anteriormente llamada Junín y ahora Renacer, la cual se realiza por atención a la emergencia que se presentó, y la cual se encuentra detallada en (Putumayo, 2017).

Tabla 61. Inversiones relacionadas para el departamento del Putumayo.

Ítem	Valor (USD) Dic 17	Observaciones
Obras de mitigación para la subestación eléctrica.	Entre 3.250.400 y 4.953.444	Valor estimado. El valor definitivo será establecido una vez finalizado el proceso constructivo y hará parte de la solicitud de remuneración ante la CREG vía cargos por uso.
Terreno para la subestación.	366.000	Valor real ejecutado.
Obras de mitigación para torres de transmisión de la línea Jamondino - Mocoa 230 kV y de la conexión de líneas a nueva subestación Mocoa "Renacer" 230 kV.	Entre 487.250 y 582.114	Valor estimado. El valor definitivo será establecido una vez finalizado el proceso constructivo y hará parte de la solicitud de remuneración ante la CREG vía cargos por uso.

Fuente: (UPME, Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2019 - 2033, 2019)



10. ANÁLISIS DE LA OFERTA ENERGÉTICA DEL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

Las siguientes tablas muestran el consolidado general del potencial energético que tiene el departamento del Putumayo, discriminado por municipio y fuente energética.

Tabla 62. Potencial energético total, incluyendo reservas y parque naturales.

151

	Biomasa Agrícola	Biomasa Forestal	Biomasa Pecuaria	Solar	Eólica	Hídrico
Municipio	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	KWh
Colón	0,0	27879,5	66,2	3000,0	60,1	2,4
Mocoa	37,6	24307,9	7,0	3500,0	69,1	89,3
Orito	27,0	33468,5	8,6	3000,0	8,9	71,5
Puerto Asís	6,9	58212,3	14,4	3500,0	15,5	423,6
Puerto Caicedo	21,8	25132,1	18,4	4000,0	15,6	0,0
Puerto Guzmán	23,3	52737,0	17,5	4000,0	8,9	0,0
Puerto Leguízamo	15,7	141240,8	5,2	4000,0	9,0	744,7
San Francisco	2,4	12972,7	9,9	3000,0	59,5	0,0
San Miguel	86,6	14901,6	27,7	3000,0	4,6	0,0
Santiago	0,0	69143,5	6,1	3000,0	13,0	19,7
Sibundoy	18,9	40044,9	38,9	3000,0	59,8	0,0
Valle de Guamuez	34,2	18975,8	27,8	3000,0	6,9	0,0
Villagarzón	4,6	51621,8	8,5	3500,0	36,1	38,9

Fuente: Propia.

En la Tabla 62 se observa el potencial energético total del departamento del Putumayo discriminado por fuente energética, y municipio. Se recalca que en esta tabla se incluye el potencial obtenido por la biomasa forestal de reservas y parques naturales, el cual como se explicó anteriormente, no puede ser utilizado debido a que son zonas protegidas por el gobierno nacional. Además, con el fin de unificar las medidas que se obtuvieron para el potencial en cada una de las fuentes energéticas, se decidió expresar el potencial en energía sobre área, por lo cual la mayoría de los potenciales están en MWh/Km², con el fin de poder realizar las conclusiones sobre unidades semejantes. Sin embargo, esto no se puede realizar con la misma precisión en el recurso hídrico.



Tabla 63. Potencial energético total, excluyendo reservas y parque naturales.

	Biomasa Agrícola	Biomasa Forestal	Biomasa pecuaria	Solar	Eólica	Hídrico
Municipio	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	KWh
Colon	0,0	0,0	66,2	3000,0	60,1	2,4
Mocoa	37,6	4058,7	7,0	3500,0	69,1	89,3
Orito	27,0	14186,9	8,6	3000,0	8,9	71,5
Puerto Asís	6,9	58212,3	14,4	3500,0	15,5	423,6
Puerto Caicedo	21,8	25132,1	18,4	4000,0	15,6	0,0
Puerto Guzmán	23,3	52737,0	17,5	4000,0	8,9	0,0
Puerto Leguísimo	15,7	40907,5	5,2	4000,0	9,0	744,7
San Francisco	2,4	0,0	9,9	3000,0	59,5	0,0
San Miguel	86,6	14901,6	27,7	3000,0	4,6	0,0
Santiago	0,0	0,0	6,1	3000,0	13,0	19,7
Sibundoy	18,9	0,0	38,9	3000,0	59,8	0,0
Valle de Guamuez	34,2	0,0	27,8	3000,0	6,9	0,0
Villagarzón	4,6	29460,3	8,5	3500,0	36,1	38,9

Fuente: Propia.

En la Tabla 63 se observa el potencial energético total del Putumayo excluyendo el proveniente por la biomasa forestal de reservas y parques naturales, es decir, este es el potencial energético teórico total aprovechable en el departamento del Putumayo.

Tabla 64. Potencial energético total agrupado.

	Biomasa	Solar	Eólica	Hídrico
Municipio	MWh/Km ²	MWh/Km ²	MWh/Km ²	KWh
Colon	66,2	3000,0	60,1	2,4
Mocoa	4103,3	3500,0	69,1	89,3
Orito	14222,4	3000,0	8,9	71,5
Puerto Asís	58233,6	3500,0	15,5	423,6
Puerto Caicedo	25172,3	4000,0	15,6	0,0
Puerto Guzmán	52777,9	4000,0	8,9	0,0
Puerto Leguísimo	40928,4	4000,0	9,0	744,7
San Francisco	12,3	3000,0	59,5	0,0
San Miguel	15015,9	3000,0	4,6	0,0
Santiago	6,1	3000,0	13,0	19,7
Sibundoy	57,8	3000,0	59,8	0,0
Valle de Guamuez	62,0	3000,0	6,9	0,0
Villagarzón	29473,4	3500,0	36,1	38,9
Total	240131,6	43500,0	367,0	1390,1

Fuente: Propia.



En la Tabla 64 están los valores teóricos totales consolidados para cada uno de los municipios del Putumayo. Se observa que el potencial total del departamento es de 283,99 TWh/Km², de los cuales el 84,6% corresponde a biomasa, 15,3% a solar y el 0,1% restante a eólica e hídrica.

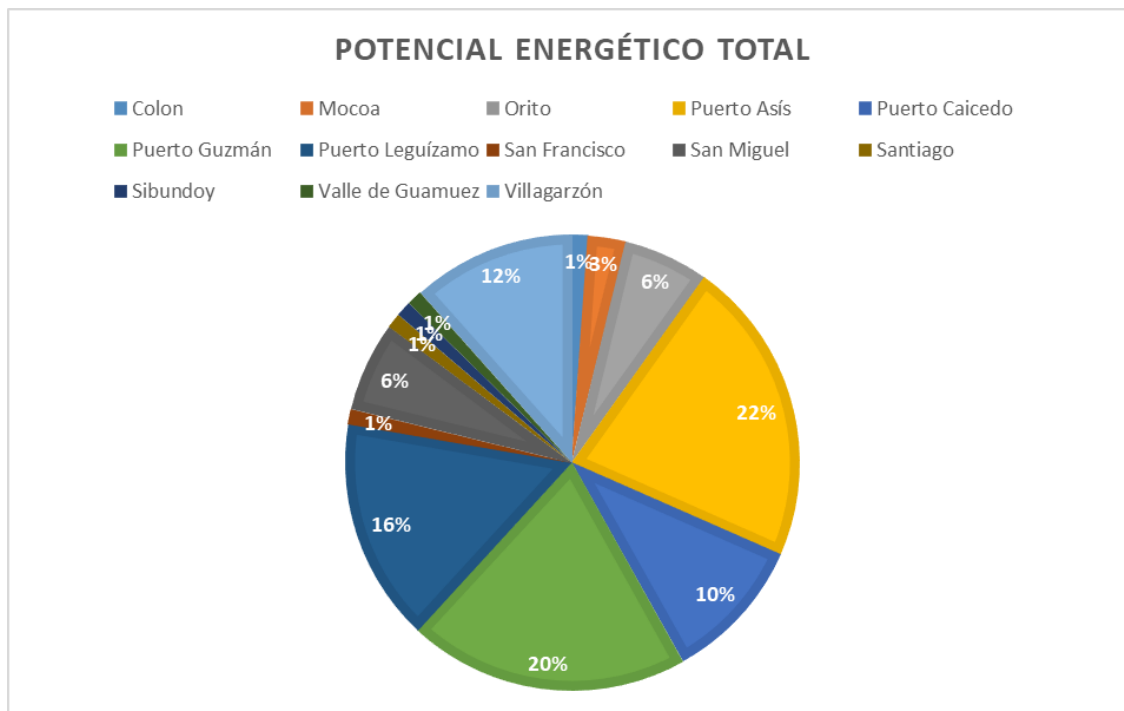


Figura 102. Potencial energético total por municipio. Fuente: Propia.

Finalmente, en la Figura 102 se observa el potencial energético total discriminado por cada uno de los municipios del departamento, en donde los municipios con mayor potencial son Puerto Asís, Puerto Guzmán, Puerto Leguízamo y Villagarzón, con el 22%, 20%, 16% y 12% respectivamente. Esto geográficamente indica que el mayor potencial del departamento se encuentra en el sur del mismo.

Este potencial energético encontrado adquiere relevancia en la medida que se vincula con las necesidades propias de la población del departamento. Estas necesidades energéticas de la población del Putumayo son analizadas en el eje de lineamiento de política del PERS de Putumayo, y en la siguiente figura se encuentran las más relevantes.

Tabla 65. Necesidades energéticas en el Putumayo.

#	Necesidades energéticas del Putumayo (orden alfabético)
1	Alumbrado Público
2	Agua (bombeo y potabilización)
3	Acuicultura (bombeo y oxigenación de estanques; refrigeración)
4	Caña (mejora trapiche, molienda, etc.)
5	Centros de Salud



6	Centros Educativos
7	Cercas eléctricas para ganadería
8	Cocción de alimentos (reemplazo de leña o mejoramiento de estufas)
9	Deshidratación de frutas
10	Lácteos (producción y refrigeración)
11	Madera (corte y transformación)
12	Refrigeración de alimentos (cadenas de frío)
13	Secado de granos (pimienta, cacao, frijol, maíz, etc.)
14	Sistemas de Riego
15	Tecnologías de información y comunicaciones (TIC)
16	Turismo (cultural, ambiental, científico, etc.)
17	Viviendas (Iluminación, TV, radio, licuadora, celular)

Fuente: Eje Lineamientos de política PERS Putumayo.

En la Tabla 65 se denotan las necesidades que tiene la población, más sin embargo a continuación se presenta la misma información por orden de priorización el cual corresponde: viviendas, centros educativos, proceso productivo sin especificación, agua, TIC, proceso productivo, alumbrado público cocción de alimentos, turismo, lácteos, transformación de materias primas, sistemas de riego, refrigeración de alimentos, secado de granos centro de salud. Sin embargo, estas necesidades de la población del Putumayo se pueden discriminar aún más por sector, lo cual se observa en la Tabla 66.

Tabla 66. Necesidades energéticas por sector.

Residencial	Productivo	Terciario (servicios)
* Viviendas (iluminación, TV, radio, licuadora, celular)	* Proceso productivo sin especificación	* Centros Educativos
* Cocción de alimentos (reemplazo de leña o mejoramiento de estufas)	* Proceso Productivo (frijol, ganadería, frutales)	* Agua (bombeo y potabilización)
* Refrigeración de alimentos (cadenas de frío)	* Turismo (cultural, ambiental, científico, etc.)	* Tecnologías de información y comunicaciones TIC
	* Lácteos (producción y refrigeración)	* Alumbrado Público
	* Proceso productivo (transformación materias primas amazónicas)	* Centros de Salud
	* Sistemas de riego	
	* Secado de granos (pimienta, cacao, frijol, maíz, etc.)	

Fuente: Eje Lineamientos de política PERS Putumayo.

En la Tabla 66 se observan de forma agrupada las necesidades de los sectores residencial, productivo y terciario del departamento del Putumayo. Estas son las necesidades sobre las cuales se deben plantear los proyectos energéticos del departamento, ya que serán las que tendrán el mayor impacto positivo sobre el bienestar y la calidad de vida de los habitantes.

Al analizar cada una de las fuentes energéticas, determinar sus potenciales, detallar las particularidades propias de la relación entre fuente de energía, municipio, estado de conexión, y las necesidades energéticas del departamento, a continuación, se realizarán las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

- La información primaria disponible de cada una de las fuentes energéticas es en general deficiente. Es necesario contar con más y mejores fuentes de información primaria en el departamento del Putumayo, debido a que las que existen actualmente se encuentran en un gran porcentaje desactualizadas o dañadas. Por lo tanto, se recomienda realizar una inversión en remodelación (o mantenimiento) y/o instalación de estaciones de medida para determinar las variables más importantes (Caudal, Temperatura, Irradiancia, Velocidad Promedio del Aire) resaltadas en este documento en las áreas de Hidrología, Solar y Eólica,
- En cuanto a la componente hídrica, se determina que es imprescindible desarrollar un proyecto encaminado a recomponer y/o restablecer la red de estaciones de medición de caudales (priorizando aquellos donde se determinen demandas puntuales importantes) y demás variables que permitan conocer en detalle el potencial de esta fuente energética. En la poca información encontrada se estima un recurso importante, sin embargo, este no pudo ser corroborado con información precisa en gran parte del departamento.
- En cuanto al potencial de biomasa, se hace también necesario desarrollar un proyecto encaminado a determinar un inventario forestal de ecosistemas y especies maderables.
- Al analizar los potenciales energéticos totales (ver Figura 102) y analizar las necesidades de la población (ver Tabla 66), se determina que las fuentes energéticas recomendadas para atender estas necesidades son las siguientes (organizadas de mayor a menor importancia)
 1. **Energía Solar.** Debido a que está presente en forma continua y relevante en todo el departamento, y dadas las necesidades puntuales, puede atender demandas energéticas pequeñas, y su implementación no es compleja.
 2. **Energía Hidráulica.** Como se mencionó anteriormente, para llevar a cabo soluciones con esta fuente, es importante conocer su verdadero potencial. Sin embargo, se destaca que, dadas las condiciones geográficas del Putumayo, muchas de las poblaciones rurales se asientan en sitios aledaños a ríos o quebradas, la solución hídrica puede resultar como una alternativa atractiva como fuente energética, aunado a que la tecnología actual está permitiendo soluciones pico y micro para demandas pequeñas, incluso como la de un hogar.
 3. **Energía de Biomasa.** Aunque es el recurso más abundante, como se mencionó en su capítulo correspondiente, no toda es posible de usar, y requiere de un nivel de logística complejo para asegurar el suministro de manera constante (cultivos, residuos, desechos, etc). Además, la implementación de un proyecto de sostenible a gran escala sería



compleja. Las soluciones en este sentido deberán identificarse de manera puntual, en sitios donde se tenga garantizada tanto la oferta energética de manera constante, como la demanda mínima que garantice la viabilidad de los proyectos.

4. Energía Eólica. Es la de más difícil implementación debido a la disponibilidad puntual del recurso, el bajo potencial energético que existe en el departamento, la complejidad tecnológica para el desarrollo de un proyecto sostenible a pequeña escala, y finalmente por los desafíos de infraestructura que requiere.

- Para el análisis y desarrollo del PERS eje oferta se desarrollaron mapas exclusivos para el departamento de Putumayo, en los cuales se consignó la información relevante de los recursos energéticos eólico, solar, hídrico y biomasa de cada uno de los trece (13) municipios que lo conforman. La información obtenida se muestra de forma detallada en mapas y en tablas municipales con cada recurso analizado, lo cual brinda una herramienta de interpretación general y exclusiva para el departamento y la nación.
- No existe el recurso ni eólico ni solar suficiente que permite explotación a gran escala, sin embargo, existen para el caso del recurso solar valores constantes de radiación los cuales pueden ser útiles para pequeños sistemas fotovoltaicos y/o microrredes implementados en soluciones de viviendas o sistemas iluminación en áreas reducidas, como también cabeceras municipales (por ejemplo, Leguízamo están trabajando un proyecto híbrido para la cabecera). En el caso del recurso eólico en el departamento se evidenció que existe una gran variabilidad en la presencia de vientos solo marcada por la característica de la zona de cordillera andina en la cual se encuentran ubicados los municipios con viento constante (Colón, Sibundoy, Santiago y San Francisco).
- El valor cuantificado del recurso eólico en Putumayo es en promedio 9,185 W/m² con un mínimo valor de 3,99 W/m² y un máximo 14,38 W/m². En cuanto a recurso solar se tiene un valor promedio de irradiancia solar global horizontal de 3,285 kWh/m² con un promedio mínimo 2,92 kWh/m² a un promedio máximo de 3,65 kWh/m² con un brillo solar promedio mínimo de 2,3 horas diarias y un máximo 3,84 horas diarias. Dicha cuantificación si bien no es la mejor por lo menos brinda, como primera medida, un rango con el cual se puede empezar a profundizar en soluciones energéticas mediante el uso de las tecnologías renovables en el departamento.
- Los municipios con valores más altos en promedio del recurso eólico están Colón con 45,29 W/m², Sibundoy con 21.65 W/m², Santiago con 8,37 W/m² y San Francisco con 8,29 W/m²; con valores mínimos están los demás municipios dado que tiene la probabilidad de tener velocidad de vientos que tienden a cero.
- Los municipios con los valores más altos de irradiancia de 3,5 kWh/m² con 4 horas promedio de brillo solar se presentan en los municipios de Puerto Guzmán y Puerto Leguízamo; los mínimos valores del recurso solar se presentan en Sibundoy con una irradiancia de 3,0 kWh/m² con 2,5 horas promedio de brillos solar.
- Al realizar los cálculos del poder calorífico inferior por medio del análisis elemental y el análisis próximo de la composición de la biomasa forestal, se encuentra que la discrepancia de datos es menor al 1%, lo que indica que ambos métodos pueden ser empleados dependiendo de la información de la que se disponga. En este aspecto, es importante destacar que la cocción con leña está representando más del 80% del consumo del departamento y teniendo en cuenta que



otros departamentos a nivel nacional se encuentran porcentajes del 54% (Nariño), 36% (Cundinamarca), 58,56% (Caldas) se puede decir que Putumayo cuenta con un buen potencial forestal (Leña) a nivel nacional.

- Al momento de llevar a cabo la cuantificación del potencial energético, a partir de biomasa forestal en el departamento de Putumayo, se encuentra una limitación en cuanto a la información de la composición química de los elementos forestales presentes en el territorio, debido a la falta de un inventario detallado de cada zona boscosa, por ende, la metodología utilizada resulta ser acertada al considerar que las áreas forestales no han sufrido grandes alteraciones por el ser humano.
- Dadas las condiciones normativas, las áreas en reserva y los parques naturales nacionales, no pueden ser tomados como fuente de energía. Esto se debe a que corresponden a zonas de conservación y preservación, por lo que la información concerniente al momento de requerir el aprovechamiento de estos recursos corresponde a las áreas en ordenación y las zonas sin clasificación, lo que indica que el potencial energético aprovechable corresponde a 951.913,03 GWh, lo que concierne a un 43.23% del potencial energético total (es importante tener presente que estas áreas pueden convertirse con el tiempo en áreas protegidas). Adicional a esto, cabe aclarar que dicho potencial es teórico, para tener una idea cercana al aprovechamiento real de estos recursos se emplea la relación entre energía y exergía, lo que implica que la exergía del proceso con estos recursos corresponde a 1.160,38 GWh.
- Al realizar la discriminación de los recursos aprovechables, Puerto Leguízamo es el municipio con mayor participación, seguido de Puerto Guzmán y Puerto Asís, por lo que, de ser utilizada la biomasa forestal en el departamento, los tres municipios mencionados son óptimos para concentrar la operación, reduciendo posible transporte de materia prima aprovechando además la proximidad que hay entre los mismos. Sin embargo, es importante tener presente que estás serían soluciones puntuales aisladas, dadas las grandes dificultades de logística para el acceso a estos municipios.
- El cultivo de plátano es el cultivo que cuenta con la mayor producción en el departamento, representando el 68% de los cultivos permanentes, los residuos generados por este cultivo poseen un alto factor de residuo y poder calorífico interno (PCI), lo que hace que sea considerado como una biomasa agrícola importante para el aprovechamiento energético. Por otro lado, el tipo de cultivo menos participativo en la estimación del potencial energético es el cultivo anual representado por el cultivo de yuca, que, aunque tiene una producción de 13.570 toneladas que es el 21,8% de la producción total de los cultivos, pero debido a su bajo factor de residuo (ya que solo se aprovecha el tallo de su planta) hace que solo proporcione 4,411 GWh de energía eléctrica.
- Los cultivos más participativos en función de la capacidad energética en sus residuos orgánicos fueron: el plátano, caña panelera y maíz tradicional. Para el cultivo de plátano, su potencial energético se estimó en 383,54 GWh, siendo el cultivo de mayor potencial energético del departamento de Putumayo, seguido por el cultivo de caña panelera y, por último, el de maíz tradicional que aportaron 53,79 GWh y 21,36 GWh respectivamente.
- En relación al potencial hídrico, con la ayuda de los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo del IDEAM, se calcula el caudal medio anual de los puntos de monitoreo, obteniendo el menor caudal el valor de 2,32 m³/s ubicado sobre el Río San Pedro en el municipio de Colón y



un caudal máximo el valor de 4921,04 m³/s ubicado sobre el Río Caquetá a la altura del municipio de Puerto Leguízamo.

- A pesar de que desde los años 1970 en Colombia se han realizado diferentes incentivos como parte de un plan de promoción para la utilización de energía geotérmica, de existir apoyo del sector privado como Enel, CHEC e Isagen y de existir la información específica de la ubicación de los recursos geotérmicos y una estimación de su potencial, no ha sido posible crear una central de generación de energía geotérmica en Colombia. Esto debido a la gran inversión en que se requiere en las diferentes etapas del proyecto, de la existencia de diferentes fuentes de energía más accesibles y del desconocimiento general que existe alrededor de esta tecnología. Con respecto al departamento del Putumayo se encuentra exploraciones geotérmicas en el municipio de Colón, como se mencionó anteriormente la explotación eléctrica a partir de este tipo de energía es más costosa que con otros energéticos presentes en la zona, más sin embargo el uso de este energético actualmente se está dando de forma turística mediante centros recreacionales de aguas termales.
- En este momento, no se han encontrado proyectos o estudios de producción de gas natural en ninguno de los 3 estados (Probadas, Probables o Posibles) de reservas de gas en el departamento del Putumayo, por lo tanto, se determina que no existe potencial de producción de gas natural en el departamento, sin embargo, cabe resaltar la importancia de este energético en su uso final para realizar actividades de cocción ya que para la población del Putumayo se presentan subsidios a la compra del GLP desplazando de cierta manera otras formas de llevar esta actividad como lo es la cocción con leña o electricidad.
- Se observa que la intención del gobierno nacional es atender la demanda proveniente de las ZNI del Putumayo a través de proyectos de generación autónomos y no conectados a la red, esto debido a que, en los diferentes planes y programas futuros de interconexión a la red en el territorio colombiano, no se encuentra ninguno que relacione a los municipios con menor ICEE en el departamento del Putumayo. Esto es debido a la inaccesibilidad de las zonas y las restricciones ambientales.
- Se recomienda realizar el estudio de manera comparativa, una vez se disponga de un inventario de las especies forestales para cada zona, debido a que la aproximación realizada puede presentar discrepancias por la intervención del ser humano en el desarrollo del bioma en estudio.
- Se recomienda la actualización de los datos meteorológicos e hidrológicos del IDEAM en el departamento del Putumayo, ya que de las pocas estaciones meteorológicas de las cuales se recibió información, ninguna tenía datos actualizados, o por lo menos de los últimos años, los más recientes son del año 2015, y por motivos de cambio climático se puede pensar que las cuencas han podido sufrir afectaciones en su caudal.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Valencia, N. (2016). *Cuantificación del Potencial Hidroenergético de Cundinamarca*.
- Agricultura, M. d. (2016). Evaluaciones agropecuarias Municipales.
- Agugliario, M. (2007). *Gasificación de residuos de invernadero para la obtención de energía eléctrica en el sur de España*. España.
- ANDI. (10 de 2019). *Expectativas del Fracking en Colombia*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/Expectativas%20del%20Fracking%20en%20Colombia.%20Octubre%201%202019.pdf>
- Anirebis Martínez Romero, A. L. (2014). La biomasa de los cultivos en el oecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*.
- Anirebis Martínez Romero, A. M. (2016). *Selección de mutantes de arroz de buen comportamiento agronómico en condiciones de bajo suministro de agua*.
- Barrera, D. (05 de 2012). *Universidad del Valle*. Obtenido de Universidad del valle: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8696/1/TESIS-final-pirolisis-RAC.pdf>
- BETA, U. T. (2007). *GESTION DE INFORMACION Y CONOCIMIENTO –GI&C– ONLINE DE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA –FNCE– EN COLOMBIA*. Bogotá.
- Boilley, A., & Wald, L. (2015). Comparison between meteorological re-analyses from ERA-Interim and MERRA and measurements of daily solar irradiation at surface. *Renewable Energy*, 75, 135 - 143.
- C. E. ROA DUARTE, M. J. (28 de 04 de 2010). *USO INTEGRAL DEL GAS DE LOS CAMPOS DEL PUTUMAYO PARA RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS Y AUTOGENERACIÓN*. Bucaramanga : Revista ION.
- Caldas, U. D. (2017). *PERS Cundinamarca V4*. Bogotá. Obtenido de PERS Cundinamarca V4.
- Carbon, G. E. (01 de 09 de 2014). *gecarbon*. Obtenido de gecarbon: www.gecarbon.org/Boletines/Boletin/BoletinGEC_033.pdf
- Chavez, G. (2020). *Informe Talleres de Política Pública PERS Putumayo - Realización y Resultados*.
- CorpoAmazonia. (2014). Determinantes y asuntos ambientales para el ordenamiento territorial en el departamento del putumayo.
- CREG. (17 de Marzo de 2020). *ZNI*. Obtenido de <https://www.creg.gov.co/sectores/energia-electrica/zonas-no-interconectadas>
- Cristian Serrato, V. L. (2016). Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca.



- Delito, O. d. (2017). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos*.
- DNP. (Febrero de 2016). *Diálogos regionales para la planeación de un nuevo país*. Obtenido de <http://kiteritorial.co/wp-content/uploads/2016/04/Presentaci%C3%B3n-Putumayo.pdf>
- EEP. (2015). *Evaluación integral de prestadores empresa de energía del bajo putumayo S.A E.S.P.* Bogotá.
- Fábio P. Vieira, V. M. (2014). *Advances in Assessment of Geothermal Resources of South America*. Natural Resources.
- FAO. (2009). *Glosario de Agricultura Orgánica de la FAO*.
- FAO. (01 de 01 de 2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluación rápida (residuos agrícolas y ganaderos)*. USA: Manual de usuario. Obtenido de Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluación rápida: <http://www.fao.org/3/i1712s/i1712s.pdf>
- Fernando Guerrero Suárez, F. L. (2003). *GAS NATURAL EN COLOMBIA - GAS e.s.p.* Colombia: Universidad ICESI.
- GEB. (13 de Marzo de 2020). *Subestación Renacer*. Obtenido de <https://www.grupoenergiabogota.com/transmision/proyectos-en-desarrollo/mocoa-renacer-230kv>
- Generamos. (29 de 11 de 2017). *Energía geotérmica le hace un guiño a Colombia*. Obtenido de <http://www.generamos.co/2017/11/29/energia-geotermica-colombia/>
- Geraldyn Arias Marín, A. M. (2017). *Estado Actual de la Producción de Energía Geotérmica en Colombia*. Manizales.
- Gobernación de Putumayo. (2017). *Presentación departamento de Putumayo*. Obtenido de <https://www.putumayo.gov.co/informacion-general.html>
- Gobernación Putumayo. (2017). *Zonas Geográficas Generales Putumayo*. Obtenido de https://www.putumayo.gov.co/images/documentos/mapas/zonas_geograficas.jpg
- Gomez, F. O. (2013). *Gobernación de cundinamarca Secretaría de agricultura y desarrollo rural*. Obtenido de Gobernación de cundinamarca Secretaría de agricultura y desarrollo rural: <http://cundinet.cundinamarca.gov.co:8080/aplicaciones/gobernacion/centroDocumental/>
- Humberto Escalante Hernández, J. O. (2011). *Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. ministerio de minas y energía.
- IDEAM. (2014). *Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá.
- IDEAM. (2014). *Mapas de radiación solar*.

- IDEAM. (2015). *Atlas eólico*.
- IGAC. (2019). *Mapas Departamentales*.
- instituto colombiano agropecuario. (2019). *ICA instituto colombiano agropecuario*. Recuperado el 22 de 08 de 2019, de <https://www.ica.gov.co/el-ica/historia>
- IPSE. (2017). *ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO*.
- Marzolf, N. C. (2017). *EMPRENDIMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA*. Colombia.
- Minminas. (2019). *Geotermia en colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- NATURGAS. (28 de 02 de 2020). *Quienes somos*. Obtenido de <https://www.naturgas.com.co/quienes-somos>
- Ortíz Florez, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá. Obtenido de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.
- Pais, E. (11 de 08 de 2019). *Colombia cuenta con uno de los mayores potenciales en gas y petróleo en América Latina*. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/contenido/colombia-cuenta-con-uno-de-los-mayores-potenciales-en-gas-y-petroleo-en-america-latina.html>
- Putumayo, E. d. (2017). *Informe de gestión*.
- Rentizelas, S. (01 de 01 de 2009). *Energy Conversion and Management*. Obtenido de Energy Conversion and Managemen:
https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/26927134/ECM_publisher_version_pdf.pdf
- Resol. (2014). *Gestión integral de recursos*.
- Rural, M. d. (09 de 09 de 2017). *Agronet, MinAgricultura*. Obtenido de Agronet, MinAgricultura:
https://www.agronet.gov.co/Documents/PUTUMAYO_2017.pdf
- S.E.R.I. (2005). *Unused Biomassexttraction in agriculture, forestry and fishery*. Vienna, Austria: SERI. Obtenido de «Unused Biomassexttraction in agriculture, forestry and fishery».
- Serrato, C. (2016). *Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa en el departamento de Cundinamarca*.
- SIEL. (30 de Diciembre de 2019). *Cobertura del Sistema Intercontecado Nacional*. Obtenido de <http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturaDelSistemaIntercontecadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>
- TodoColombia. (21 de Febrero de 2019). *TodoColombia*. Obtenido de <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/putumayo/hidrografia.html#1>
- Trabajo, M. D. (2017). *Ficha Técnica del Departamento del Putumayo*. Obtenido de <http://app2.mintrabajo.gov.co/siriti/info/fichas-tecnicas/Putumayo.pdf>

Trabajo, M. d. (2018). *Ficha técnica del departamento del Putumayo*. Obtenido de Ficha técnica del departamento del Putumayo: <http://app2.mintrabajo.gov.co/siriti/info/fichas-tecnicas/Putumayo.pdf>

UPME. (01 de 01 de 2011). *UPME*. Obtenido de UPME: <http://www1.upme.gov.co/Paginas/Busqueda.aspx?k=Atlas%20del%20Potencial%20Energ%C3%A9tico%20de%20la%20Biomasa%20Residual%20en%20Colombia>

UPME. (2015). *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia*. Bogotá.

UPME. (10 de 2017). *BALANCE DE GAS NATURAL 2017*. Colombia.

UPME. (2019). *Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2019 - 2033*. Bogotá.

UPME IDEAM. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica*. MINMINAS.

UPME, U. d. (2015). *Atlas de potencial Hidroenergético de Colombia*. Bogotá.

UPME, U. I. (2011). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Obtenido de <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058>

Urraca, R., Huld, T., Gracia-Amillo, A., Martinez-de-Pison, F., Kaspar, F., & Sanz-Garcia, A. (2018). Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using ground and satellite-based data. *Solar Energy*, 164, 339-354.

Villarubia López, M. (2013). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona: Alfaomega.

XM Expertos en mercados. (2017). *Glosario XM*. Obtenido de <http://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Herramientas/glosario.aspx>



ANEXO 1: MAPAS DE COLOMBIA DE IRRADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL Y DISTRIBUCIÓN DE BRILLO SOLAR ANUAL

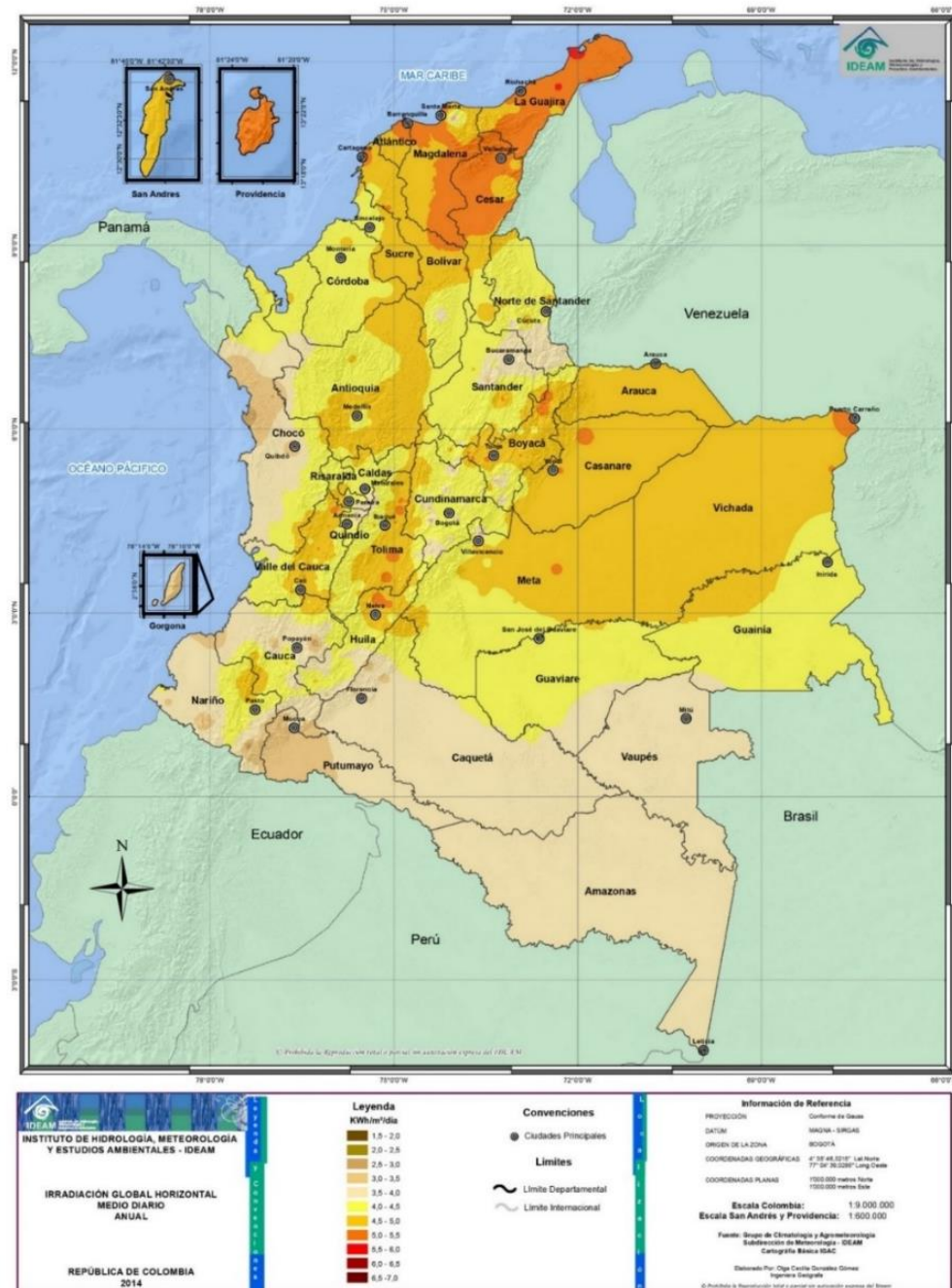


Figura 103. Irradiación global horizontal medio diario anual. Fuente: (IDEAM, Mapas de radiación solar, 2014)

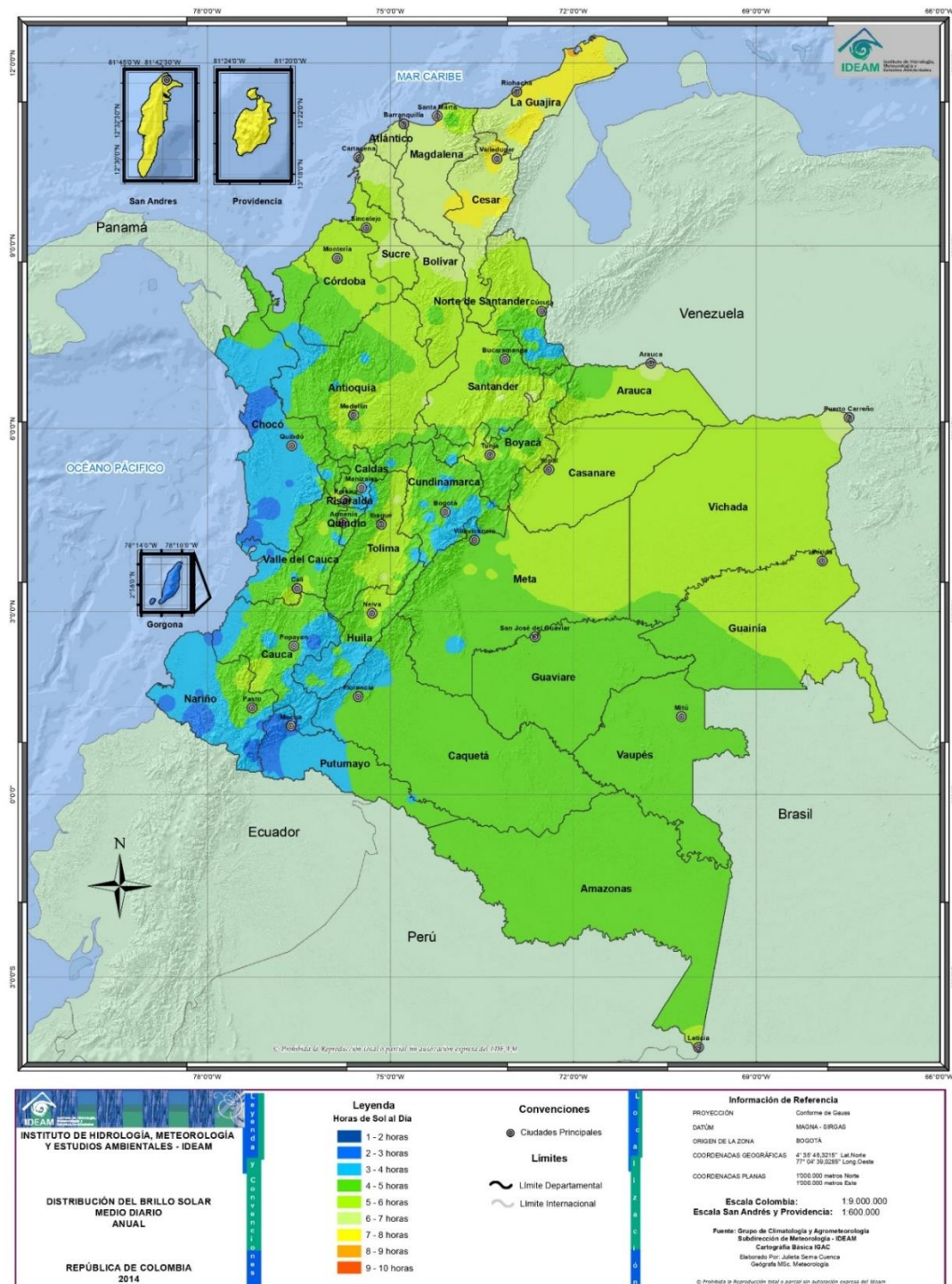


Figura 104. Distribución del Brillo solar Medio Diario Anual. Fuente: (IDEAM, Mapas de radiación solar, 2014)



ANEXO 2: MAPAS DE COLOMBIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO A UNA ALTURA DE 10, 50 Y 150 METROS DE ALTURA Y MAPA DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO

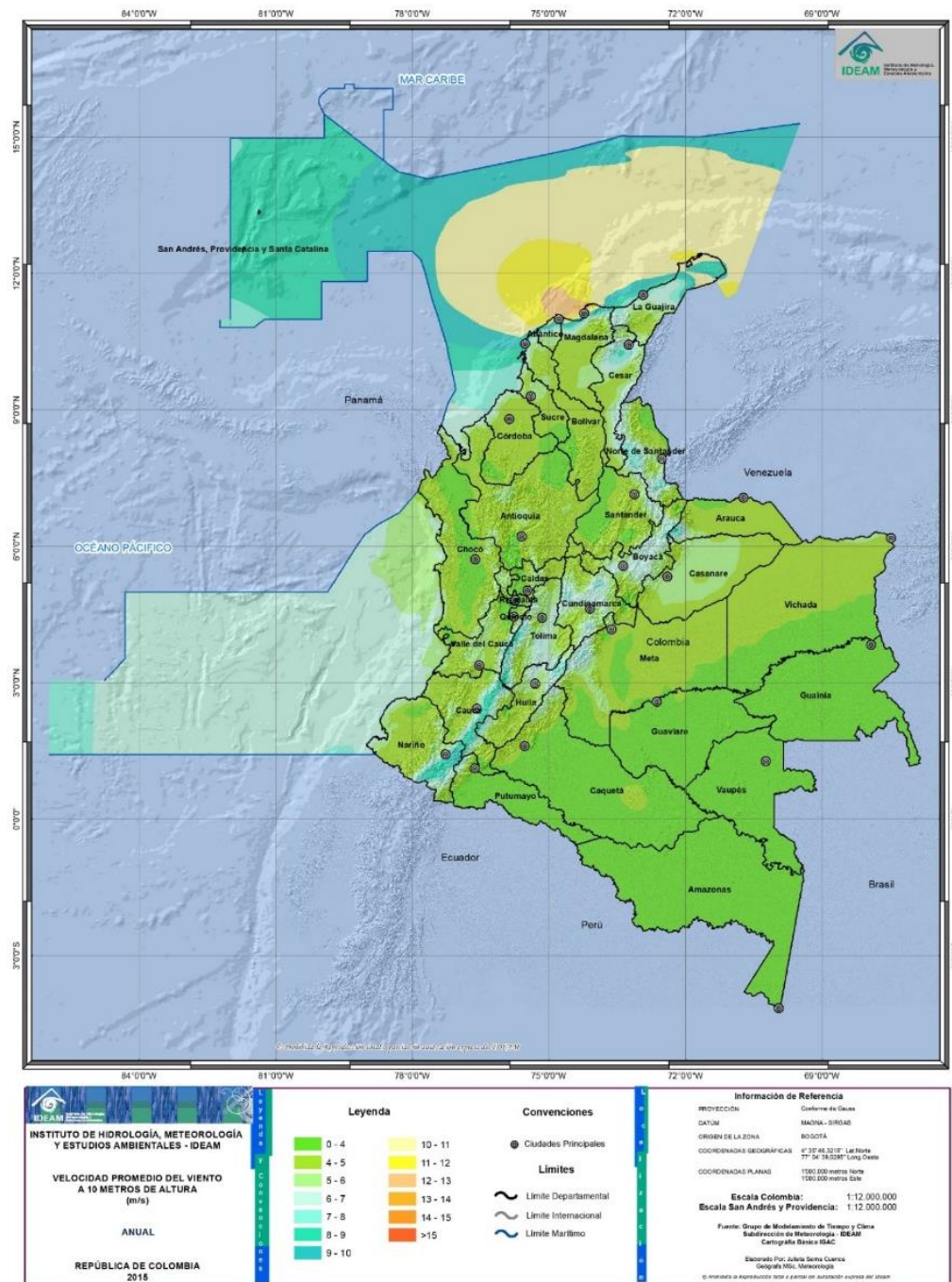


Figura 105. Velocidad promedio del viento a 15 metros de altura. Fuente: (IDEAM, Atlas éolico, 2015)

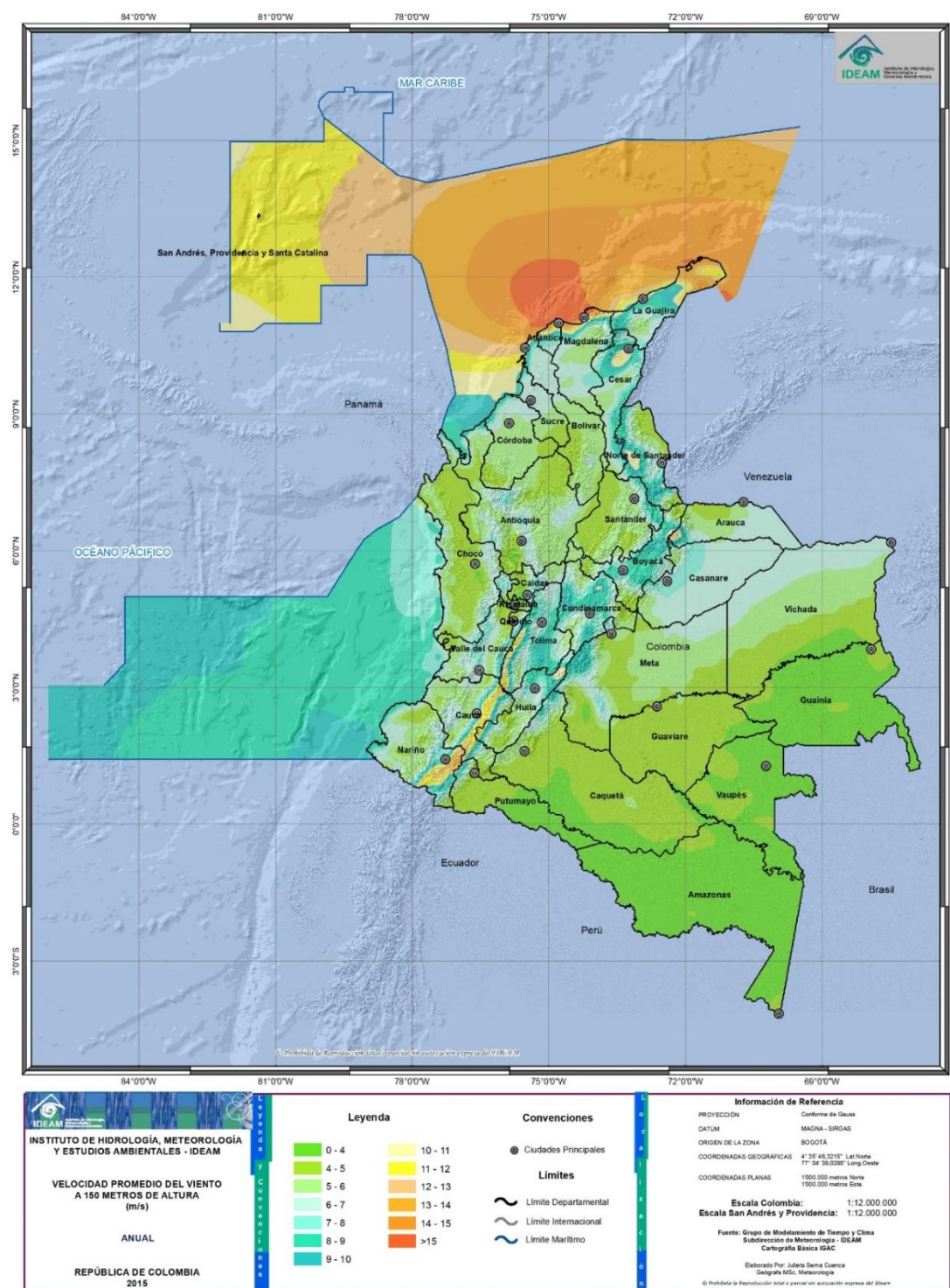


Figura 106. Mapa de velocidad promedio del viento a 150 metro de altura. Fuente: (IDEAM, Atlas élico, 2015)

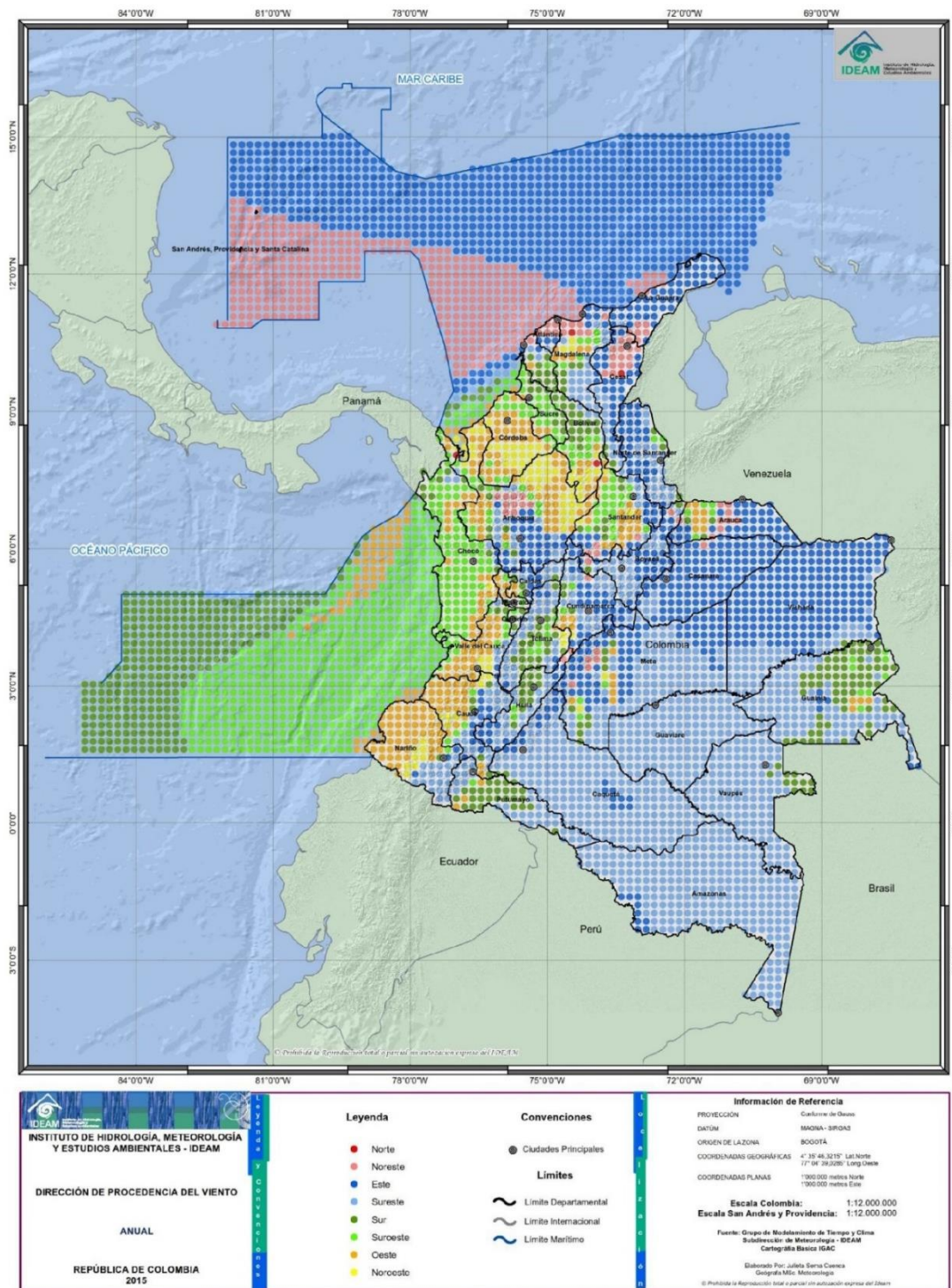


Figura 107. Dirección del viento. Fuente: (IDEAM, Atlas élico, 2015)



ANEXO 3: DIAGRAMA DE HOLDRIGE

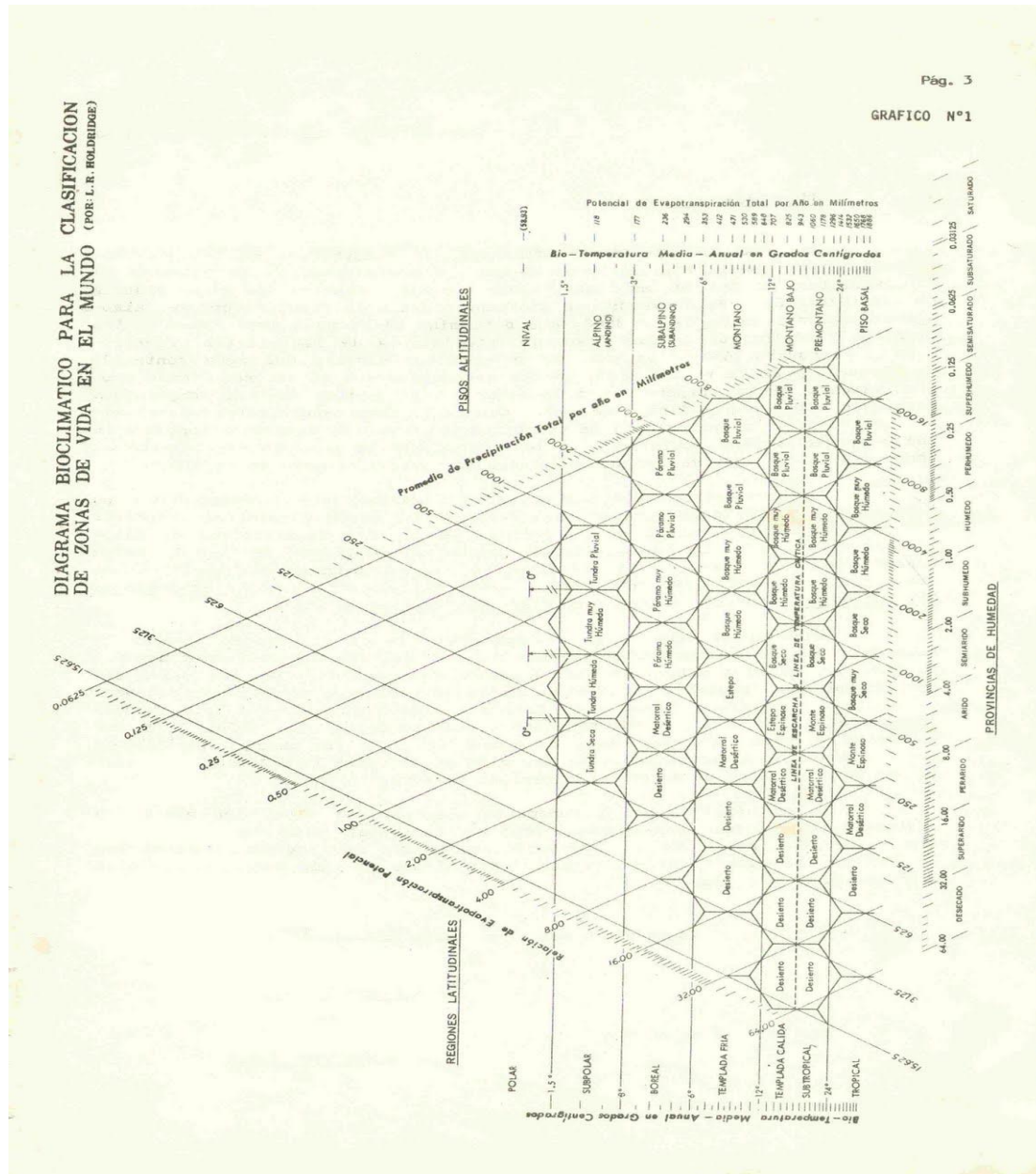


Figura 108. Diagrama Bioclimático. Fuente: (Hilje y Jimenez, 2017)



ANEXO 4: SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL

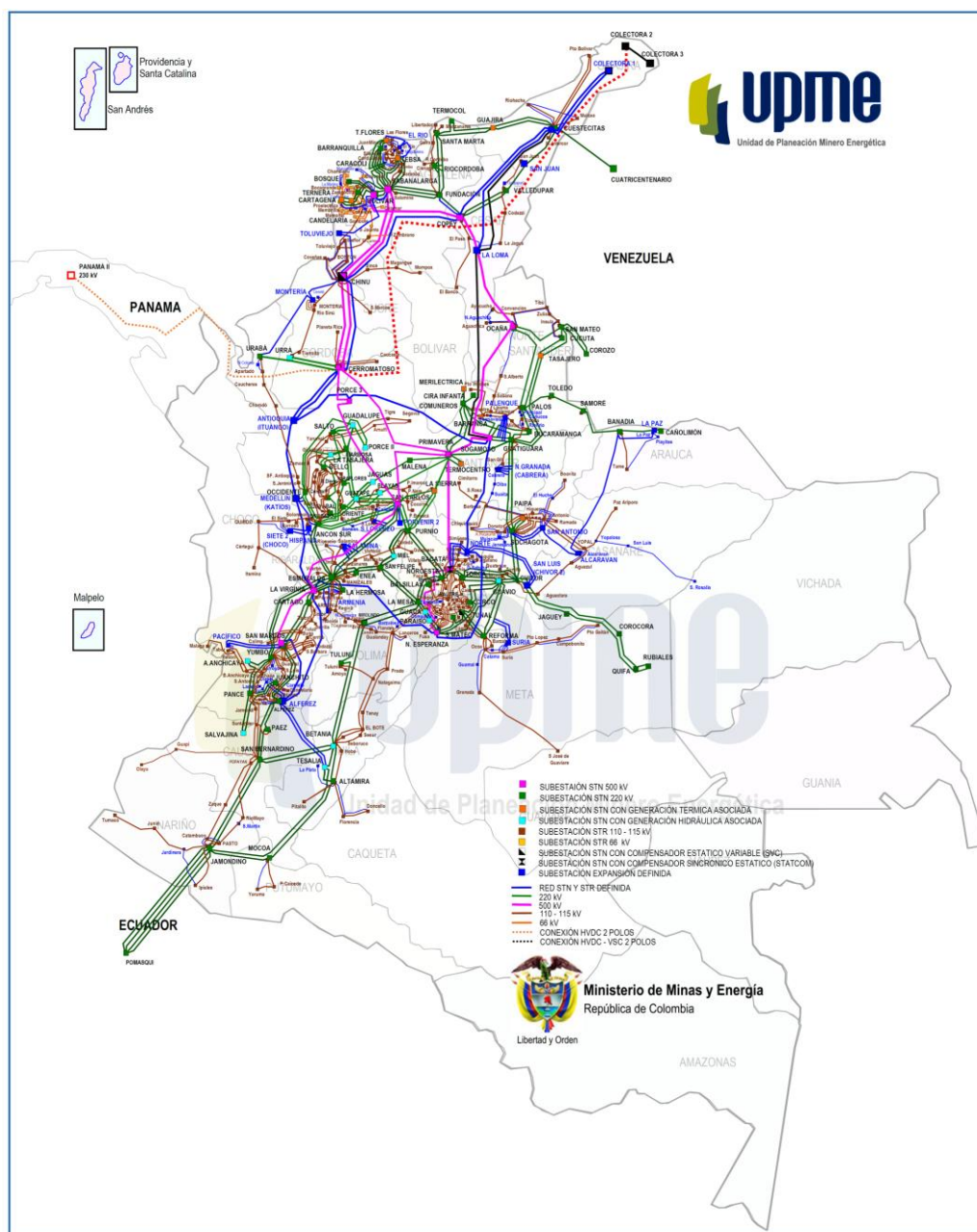


Figura 109. Sistema de transmisión nacional de Colombia. (UPME, Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2019 - 2033, 2019)