



ANÁLISIS DE LA OFERTA ENERGÉTICA DE RECURSOS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ



OFERTA ENERGÉTICA DE RECURSOS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

AUTORES:

PEDRO JAIME PINEDA PARRA

Ingeniero Electricista, M.Sc. Ing. Eléctrica
Magister en Energías Renovables
Coordinador Frente de Oferta Energética

EDISON BANGUERO PALACIOS

Licenciado en Matemáticas y Física
M.Sc en Ciencias Físicas
Docente UTCH
Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología

CONVENIO CV008 DE 2014

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE DEL DEPARTAMENTO DE CHOCÓ PERS-Chocó

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CHOCÓ
UPME
IPSE
MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES
CANCELLERÍA DE COLOMBIA
TETRATECH

Quibdó, 2015



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL CHOCÓ
"DIEGO LUIS CÓRDOBA"



CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO	11
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO	13
3. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR	15
3.1 Subregión Zona del Atrato	17
3.2 Subregión Zona del Darién	20
3.3 Subregión Zona del Pacífico Norte	24
3.3.1 Atlas Global para Energía Renovable	26
3.3.2 Radiación Solar sobre Superficie Horizontal Ro usando el Global Atlas de IRENA	28
3.3.3 Análisis comparativo entre los registros de estaciones meteorológicas, Atlas Nacional y el Atlas Global	31
3.4 Subregión Zona del Pacífico Sur.....	34
3.4.1 Datos suministrados por NREL (Multiple countries 40km), 2006	34
3.4.2 Datos suministrados por INPE (Solar TILT Polygon 40km South America), 1995-2005	35
3.4.3 Datos suministrados por 3TIER (Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI - W/m2)	36
3.5 Subregión Zona del San Juan	39
3.5.1 Datos suministrados por NREL (Multiple countries 40km), 2006	39
3.5.2 Datos suministrados por INPE (Solar TILT Polygon 40km South America), 1995-2005	40
3.5.3 Datos suministrados por 3TIER (Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI - W/m2)	40
3.6 Resultados de la potencialidad del recurso solar	44
4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA	45
4.1 Potencialidad del Recurso Eólico – Atlas de Vientos Interactivo IDEAM- UPME 2015	48
4.1.1 Velocidades de viento promedio por subregiones	48
4.1.2 Análisis del Potencial de Vientos según Atlas Eólico IDEAM - UPME.....	51
4.2 Potencialidad del Recurso Eólico – Atlas Global de IRENA	52
4.2.1 Velocidades de viento promedio por subregiones – Serie 3TIER Global Wind.....	52

4.2.2	Análisis del Potencial de Vientos según Atlas Global IRENA – 3TIER	53
4.3	Resultados de la Potencialidad del Recurso Eólico	53
5.	ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA HÍDRICA	55
5.1	Descripción General del Recurso Hídrico	55
5.1.1	Recurso Hídrico - Mar Caribe	57
5.1.2	Recurso Hídrico - Mar Pacífico	58
5.2	Potencialidad del Recurso Hídrico en Chocó – Atlas Hidroenergético de Colombia	59
5.2.1	Caída Hidráulica para la región del Pacífico	60
5.2.2	Potencial Hidroenergético para el Chocó – Lc: 200 metros	61
5.2.3	Potencial Hidroenergético para el Chocó – Lc: 1000 y 5000 metros	62
5.2.4	Subzonas hidrográficas con mayor potencial hidroenergético	63
5.3	Subregión Zona del Atrato	63
5.3.1	Precipitación	63
5.3.2	Descripción del recurso hídrico	65
5.3.3	Proyectos Hidroeléctricos en la Subregión Atrato	66
5.4	Subregión Zona del Darién	68
5.4.1	Precipitación	68
5.4.2	Descripción del recurso hídrico	68
5.4.3	Proyectos Hidroeléctricos en la subregión Darién	70
5.5	Subregión Zona del Pacífico Norte	70
5.5.1	Precipitación	70
5.5.2	Descripción del recurso hídrico	71
5.5.3	Proyectos Hidroeléctricos en la subregión Pacífico Norte	72
5.6	Subregión Zona del Pacífico Sur	73
5.6.1	Precipitación	73
5.6.2	Descripción del Recurso Hídrico	73
5.7	Subregión San Juan	75
5.7.1	Precipitación	75
5.7.2	Descripción del Recurso Hídrico	76
5.8	Potencial Hidroenergético del Chocó por subzonas hidrográficas	77
5.8.1	Potencial Hidroenergético Subregiones del Pacífico del Chocó	78

5.8.2 Potencial Hidroenergético Subregión del Choco con frontera Caribe	79
5.8.3 Proyectos Hidroeléctricos Identificados para el Departamento del Chocó	80
5. 9 Resultados de la potencialidad del recurso hídrico	81
6. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DE LA BIOMASA	82
6.1 Biomasa a partir de cultivos y residuos energéticos	82
6.1.1 Potencial del Arroz Secano Manual	85
6.1.2 Potencial del Maíz	87
6.1.3 Potencial de la Caña Panelera	89
6.1.4 Potencial del Cacao	92
6.1.5 Potencial de la Yuca.....	93
6.1.6 Análisis del potencial energético bruto – cultivos y residuos de cosecha por subregión en el departamento del chocó.....	94
6.2 Biomasa a partir de residuos forestales	99
6. 3 Resultados de la potencialidad del recurso de la biomasa	111
ANEXOS	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de Subregiones del Departamento del Chocó.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Metodología de Análisis del Potencial Energético – Departamento del Chocó</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión del Atrato.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4. Comportamiento de la Temperatura Subregión del Atrato.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5. Comportamiento de la Radiación Solar Subregión del Atrato – Quibdó</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión del Darién - Riosucio</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión del Darién - Unguía.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 8. Comportamiento de la Radiación Solar en la Subregión del Darién - Acandí.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 9. Comportamiento de la Radiación Solar Global en la Subregión del Darién - Unguía.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión de Pacífico Norte – Bahía Solano.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11. Comportamiento de la Temperatura en la Subregión de Pacífico Norte – Bahía Solano</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12. Pantalla de inicio del Atlas Global de IRENA</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13. Mapa Radiación Solar - Subregión Atrato y Darién – Global Atlas (NREL)</i>	<i>28</i>

<i>Figura 14. Mapa Radiación Solar - Subregión Atrato y Darién – Global Atlas (INPE).....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 15. Mapa Radiación Solar - Subregión Atrato y Darién – Global Atlas (3TIER).....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 16. Mapa Radiación Solar - Subregión Pacífico Sur – Global Atlas (NREL)</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17. Mapa Radiación Solar - Subregión Pacífico Sur – Global Atlas (INPE).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 18. Mapa Radiación Solar - Subregión Pacífico Sur – Global Atlas (3TIER).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 19. Mapa Radiación Solar - Subregión del San Juan – Global Atlas (NREL).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 20. Mapa Radiación Solar - Subregión el San Juan – Global Atlas (INPE)</i>	<i>41</i>
<i>Figura 21. Mapa Radiación Solar – Subregión del San Juan – Global Atlas (3TIER).....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 22. Velocidades de Viento Promedio Estación del Caraño</i>	<i>46</i>
<i>Figura 23. Rosa de los Vientos de Quibdó - Estación Meteorológica de El Caraño.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 24. Mapa de Velocidad de Viento Promedio Multianual sobre Superficie Departamento del Chocó</i>	<i>49</i>
<i>Figura 25. Ciclo mensual de la velocidad promedio del viento en Quibdó.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 26. Velocidades promedio de vientos multianual a 80 m.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27. Promedio de Temperatura Superficial del Océano Pacífico</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28. Promedio multianual de Salinidad Superficial del Mar del Océano Pacífico</i>	<i>59</i>
<i>Figura 29. Potencial Hidroenergético en el Chocó - Lc: 200m.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 30. Potencial Hidroenergético en el Chocó - Lc: 1000m y Lc: 5000m</i>	<i>62</i>
<i>Figura 31. Precipitación total anual (mm) - Departamento del Chocó.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 32. Número de Días con Lluvia Anual en el Departamento del Chocó.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 33. Mapa hidroenergético de Chocó – Subregiones Pacífico Norte, Sur y San Juan</i>	<i>78</i>
<i>Figura 34. Mapa hidroenergético de Chocó - Subregiones Darien y Atrato.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 35. Proyectos Hidroléctricos identificados para el Departamento del Chocó</i>	<i>80</i>
<i>Figura 36. Municipios productores de Arroz Secano Manual</i>	<i>86</i>
<i>Figura 37. Municipios productores de Maiz.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 38. Potencial Energético Bruto. Cultivos y Residuos, departamento del Chocó.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 39. Potencial Energético Bruto. Cultivos y Residuos por subregiones</i>	<i>98</i>
<i>Figura 40. Potencial Energético de la Biomasa en Colombia.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 41. Aprovechamiento forestal en etapas</i>	<i>105</i>
<i>Figura 42. Potencial Energético Bruto. Residuos de Madera.....</i>	<i>110</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Estaciones Meteorológicas IDEAM – Brillo Solar.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2. Estaciones Meteorológicas - Radiación Solar</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3. Clasificación por Subregiones de las Estaciones Meteorológicas.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 4. Comparación de la radiación solar entre estaciones meteorológicas, Atlas Nacional y el Atlas Global</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5. Consolidado de Datos de Radiación Solar Subregión Pacífico Sur - Atlas Global (IRENA)</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6. Consolidado de Datos de Radiación Solar Subregión del San Juan - Atlas Global (IRENA)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7. Consolidado del Análisis de Radiación Solar Global y Valor Predominante - Departamento del Chocó</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8. Estaciones Meteorológicas IDEAM – Recurso Eólico.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 9. Consolidado de Velocidades de Viento para las Subregiones del Chocó.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10. Sistema Hídrico del Departamento del Chocó</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 11. Caídas hidráulicas para la región pacífico</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 12. Subzonas hidrográficas con mayor potencial hidroenergético a diferentes Lc</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 13. Ríos de la subregión Atrato.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 14. Cuerpos de agua superficial del Atrato.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 15. Listado de proyectos de repotenciación en subregión Atrato</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 16. Listado de proyectos de PCHs en archivo para la subregión Atrato.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 17. Ríos de la subregión del Darién.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 18. Cuerpos de agua superficial en el Darién</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 19. Listado de proyectos de PCH en archivo para la subregión del Darién</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 200. Ríos de la subregión del Pacífico Norte</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 21. Quebradas de la subregión Pacífico Norte</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 22. Listado de proyectos de PCH en la subregión Pacífico Norte</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 23. Ríos de la subregión Pacífico Sur.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 24. Quebradas de la Subregión Pacífico Sur.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 25. Ríos de la subregión San Juan.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 26. Quebradas de la subregión San Juan</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 27. Cultivos transitorios en el departamento del Chocó</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 28. Cultivos permanentes en el departamento del Chocó</i>	<i>84</i>

<i>Tabla 29. Potencial Energético Bruto en el departamento del Chocó – Cultivos y Residuos.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 30. Departamentos paneleros en Colombia, año 2010</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 31. Características biomásicas del Bagazo.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 32. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del Darién.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 33. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del Pacífico Sur</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 34. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del Atrato</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 35. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del San Juan.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 36. Densidad de las Principales Especies Forestales del Chocó</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 37. Principales especies forestales por subregiones.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 38. Volumen total estimado de madera por subregión</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 39. Proporción de residuos de madera dejada en el bosque</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 40. Disponibilidad de volumen de madera posterior a la operación forestal por subregión.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 41. Proporción de madera disponible para la subregión del Atrato</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 42. Proporción de madera disponible para la subregión del Darién.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 43. Proporción de madera disponible para la subregión del Pacífico Sur</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 44. Proporción de madera disponible para la subregión del Pacífico Norte.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 45. Proporción de madera disponible para la subregión del San Juan.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 46. Densidad aparente de la madera combustible (Kg/m3).....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 47. Composición química, porcentaje por peso en leña seca</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 48. Potencial Energético Bruto - Residuos de madera por subregión.....</i>	<i>110</i>

1. INTRODUCCIÓN

Como parte de la estrategia de desarrollo del PERS Chocó, se contempla realizar una correcta caracterización de la oferta de los recursos energéticos renovables disponibles para cada una de las CINCO (5) subregiones y sus respectivos municipios en el Departamento del Chocó. Este estudio de la disponibilidad del recurso solar, eólico, biomásico e hídrico a lo largo del departamento es necesario como línea base para el posterior análisis de viabilidad de proyectos energéticos productivos basados en fuentes no convencionales de energía que sean renovables – FNCER – y que contribuyan al desarrollo de las subregiones de Atrato, Darién, Pacífico Norte, Pacífico Sur y San Juan.

Las Zonas no Interconectadas (ZNI) del Departamento del Chocó han sido claramente identificadas por las entidades de planificación energética como UPME e IPSE, en cuyos estudios de expansión y cobertura se precisa un alto índice de ruralidad y un bajo índice de cobertura de energía eléctrica para la mayoría de los municipios del departamento. La dificultad en la expansión de la cobertura energética desde el Sistema Interconectado Nacional (SIN), precisa la importancia de perfilar proyectos de energización rural que atiendan las necesidades básicas de la población, haciendo uso de los recursos energéticos locales disponibles.

La metodología usada en el presente informe para el análisis del potencial energético parte de la zonificación del departamento por subregiones, donde inicialmente se presenta la recopilación y análisis de la información suministrada por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) a través de las estaciones meteorológicas que cuentan con información validada del recurso solar, eólico e hídrico en el Departamento del Chocó.

En segundo lugar y dado que se cuentan con pocas estaciones meteorológicas de medida del recurso solar y eólico sobre la distribución geográfica del departamento, se incluye un análisis complementario del mapeo de recursos energéticos a través del Atlas Global de la Agencia Internacional de Energía Renovable IRENA. En este análisis se comparan los datos de las

estaciones meteorológicas del IDEAM con los suministrados por los mapas de IRENA para determinadas subregiones, con el fin de poder determinar la desviación numérica de los datos y de esta manera validar de manera inicial y aproximada la información del Atlas Global para aquellas subregiones donde no se disponen de estaciones meteorológicas, ni datos representativos que detallen el potencial energético.

El informe aborda por lo tanto el análisis por capítulos del potencial energético de los recursos solar, eólico, hídrico y biomásico para el Departamento del Chocó, tomando en cuenta adicionalmente la información secundaria obtenida mediante la consulta de planes y programas regionales y nacionales, que han realizado estudios sobre la oferta de energía en el Departamento del Chocó (UPME, IPSE, Gobernación del Chocó, Sistema Único de Información de Servicios Públicos de Colombia – SUI, Universidad Tecnológica del Chocó, DISPAC, entre otros), así como de estudios, documentos y proyectos relacionados con la oferta de recursos energéticos y sus usos para la generación de energía eléctrica y térmica, en los cuales se pueda analizar el estado del arte de la oferta energética de las cinco subregiones que componen el departamento.

Al final de cada capítulo se realiza un análisis de la potencialidad energética de cada uno de los recursos renovables y de esta manera contribuir como insumo importante para la formulación de proyectos integrales que usen las fuentes alternas de energía renovable como promotoras del desarrollo local, regional y departamental.

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

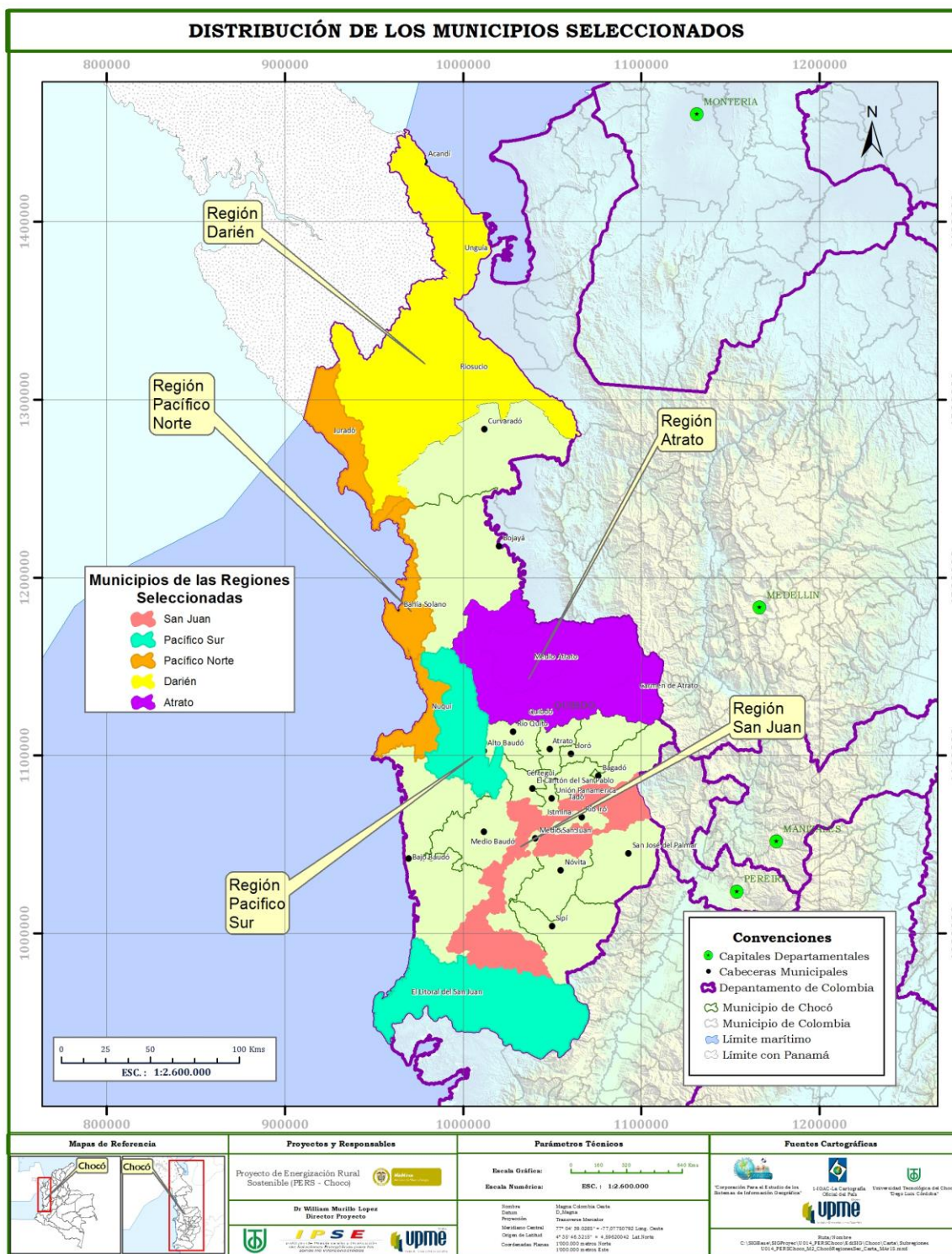
El Departamento del Chocó, además de su división política por municipios, cuenta también con una división por subregiones, asociadas, entre otras cosas, a los grandes espacios geográficos, como valles, ríos y cadenas montañosas, que delimitan zonas de forma natural. Por lo anterior, se logran establecer 5 subregiones que componen el Departamento, las cuales corresponden a: Subregión Atrato, Subregión Darién, Subregión Pacífico Norte, Subregión Pacífico Sur, y Subregión San Juan. Cada una de ellas, cuenta además con una predominancia de población específica que soporta a su vez dicha agrupación geográfica.

Las subregiones que cuentan con zonas costeras corresponden a Pacífico Norte, Pacífico Sur, en el Océano Pacífico y Darién en el Mar Caribe; las otras dos regiones Atrato y San Juan, corresponden a las cuencas de los ríos más grandes del Chocó. Se han conformado cinco zonas en atención a las dinámicas culturales, sociales, económicas y en donde el elemento agua (ríos y mar), se constituyen en el factor que integra y dinamiza el sistema de poblamiento en el departamento del Chocó:

NOMBRE DE LA ZONA	MUNICIPIOS QUE CONFORMAN LA ZONA
DARIÉN	Acandí, Unguía, Riosucio, Carmen del Darién
PACÍFICO SUR	Alto Baudó, Medio Baudó, Bajo Baudó y Litoral del San Juan
SAN JUAN	Sipí, Medio San Juan, Novita, San José del Palmar; Condóto, Istmína, Río Iró, Unión Panamericana, Tadó, Cantón de San Pablo y Certegui.
PACÍFICO NORTE	Juradó, Bahía Solano y Nuquí
ATRATO	Bojayá, Medio Atrato, Río Quito, Quibdó, Atrato, Lloró, El Carmen y Bagadó

La Figura 1 presenta la zonificación del Departamento por las subregiones mencionadas.

Figura 1. Mapa de Subregiones del Departamento del Chocó



Fuente: UTCH PERS CHOCO - 2015

Realizada la zonificación geográfica del departamento, se ha consultado con el IDEAM acerca de las estaciones meteorológicas disponibles en el Departamento del Chocó; sin embargo, lamentablemente se tienen instaladas muy pocas estaciones de medida las cuales han sido validadas para la medición del potencial del recurso solar, eólico e hídrico. Esta situación hace necesario plantear una metodología complementaria que permita establecer valores cuantitativos promedio aproximados de aquellas subregiones en las cuales no se disponen de equipos de medición y que permita complementar los datos suministrados actualmente por los Atlas de Sol y Viento del 2015 (IDEAM, UPME).

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

A pesar de que actualmente se dispone de un conjunto de Atlas Solar, Eólico y de Biomasa suministrados por la UPME y basados en el trabajo realizado por el IDEAM, esta información suministrada para el Departamento del Chocó no permite establecer de manera precisa el comportamiento de los recursos energéticos para las cinco subregiones definidas, dada la poca dispersión de las estaciones de medida sobre la geografía del departamento y por lo tanto establecen un conjunto de valores promedio que pueden estar sujetos a incertidumbre. En el presente informe se tiene en cuenta la actualización de los Atlas Solar y Eólico de Colombia publicados por el IDEAM –UPME en el 2015, como fuente de retroalimentación del estudio de oferta energética.

La metodología de análisis del potencial energético para cada el recurso solar, eólico e hídrico, tiene en cuenta en una primera fase la recopilación de los datos e información suministrada por las estaciones meteorológicas del IDEAM y del IPSE para las subregiones en que estén disponibles, así como la información suministrada por el Grupo de Investigación en Meteorología y Energías Renovables de la Universidad Tecnológica del Chocó, quienes han realizado mediciones del brillo solar en Quibdó y han publicado estudios relacionados con energía solar para el departamento. También se tienen en cuenta diferentes fuentes de información secundaria de estudios gubernamentales realizados por el IPSE, la UPME y los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios del departamento, así como de manera particular en este PERs se presenta un análisis teniendo en cuenta la información suministrada por el Atlas Global desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Renovable IRENA. <http://globalatlas.irena.org/>

Posteriormente se realiza un análisis y tratamiento de esta información, lo cual permita describir el comportamiento del recurso en las subregiones con información disponible. En estas regiones se realiza una comparación entre la información suministrada por las estaciones meteorológicas y la suministrada por el Atlas Global del IRENA, el cual incluye información internacional ofrecida por diferentes alianzas y entre distintas instituciones nacionales de meteorología, medio ambiente y energía renovable alrededor del mundo. Actualmente, Colombia hace parte de los 67 países que conforman el Atlas Global y que ha estado dispuesto a compartir la información recopilada por sus estaciones de medida, datos satelitales, técnicas de modelamiento y análisis de datos y de igual forma puede tener acceso a diferentes bases de datos de proveedores de información. Finalmente y con base en la comparación realizada en la fase anterior se realiza un análisis de validación de la información del Atlas Global para aquellas subregiones donde no se dispone de estaciones meteorológicas y donde esta información permite identificar lugares con potencial de energía renovable para el desarrollo de proyectos energéticos productivos. En la Figura 2 se presenta un esquema de la metodología propuesta.

Figura 2. Metodología de Análisis del Potencial Energético – Departamento del Chocó



Fuente: Elaboración propia

3. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR

La distribución del recurso solar sobre la geografía del Departamento del Chocó es variada, según lo presentan los mapas del Atlas de Radiación Solar de Colombia (UPME – IDEAM, 2015) donde el promedio mensual de radiación solar global sobre una superficie plana es variable a lo largo del año. Aunque la información suministrada por este atlas permite diferenciar de manera inicial el comportamiento de la radiación y del brillo solar para algunas regiones del Departamento, no permite con precisión establecer el potencial del recurso solar para la zonificación establecida por subregiones. Para tal fin, se ha consolidado la información histórica recopilada por las estaciones meteorológicas presentes en el departamento del Chocó y cuya validación fue posible con el apoyo suministrado por el IDEAM. En la Tabla 1 se relacionan las estaciones implementadas en el Departamento del Chocó para determinar Brillo Solar y en la Tabla 2 las estaciones que registran radiación Solar.

Tabla 1. Estaciones Meteorológicas IDEAM – Brillo Solar

Código de la Estación	Nombre de la Estación	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación (s.n.m)
11045010	Aeropuerto El Caraño	Quibdó	5,68	-76,63	53
11085010	La Loma	Bojayá	6,53	-76,98	20
11125010	La Teresita	Riosucio	7,00	-77,50	50
11135020	La Balsa	Riosucio	7,52	-77,20	5
11145010	Bajirá	Riosucio	7,38	-76,67	150
11155020	La Gloria	Unguía	8,27	-77,07	5
56015010	Panamericana	Bahía Solano	6,22	-77,40	4

Fuente: IDEAM y elaboración propia

Tabla 2. Estaciones Meteorológicas - Radiación Solar

Código de la Estación	Nombre de la Estación	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación (s.n.m)
11159010	Capurganá	Acandí	8,51	-77,32	20
	Titumate	Unguía	8,33	-77,08	33

Fuente: IDEAM y elaboración propia

La clasificación por subregiones de las estaciones relacionadas anteriormente se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación por Subregiones de las Estaciones Meteorológicas

Variable Solar	Nombre de la Estación	Municipio	Subregión
BRILLO SOLAR	Aeropuerto El Caraño	Quibdó	Zona del Atrato
	La Loma	Bojayá	Zona del Atrato
	La Teresita	Riosucio	Zona del Darién
	La Balsa	Riosucio	Zona del Darién
	Bajirá	Riosucio	Zona del Darién
	La Gloria	Unguía	Zona del Darién
	Panamericana	Bahía Solano	Pacífico Norte
RADIACIÓN SOLAR	Capurganá	Acandí	Zona del Darién
	Titumate	Unguía	Zona del Darién

Fuente: Elaboración propia

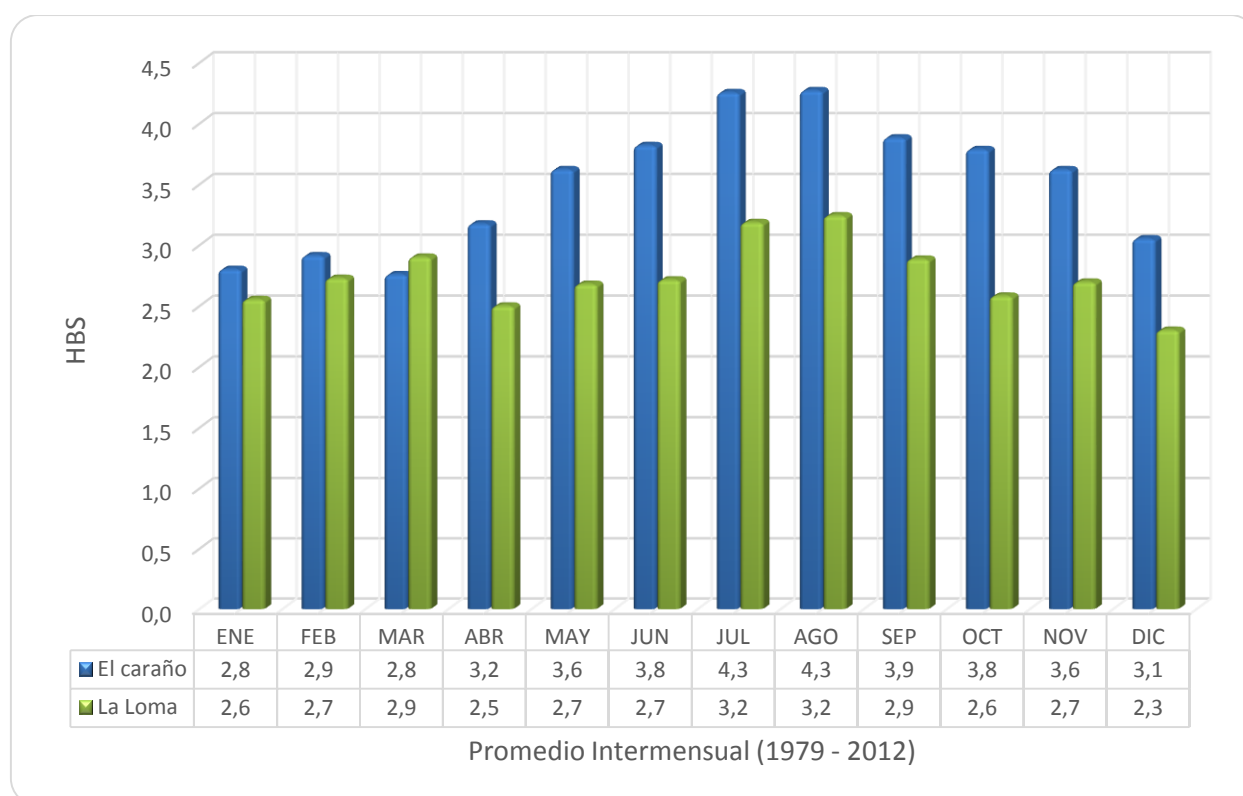
Con la clasificación realizada, es posible realizar un análisis por subregiones tomando en cuenta los datos históricos suministrados por cada estación meteorológica. La duración del brillo solar o heliofanía en horas, representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el alba y el atardecer. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de esa localidad, así que un conocimiento adecuado del régimen de brillo solar permite estimar características cuantitativas de la nubosidad y la radiación solar de forma que se pueda tener una idea sobre la disponibilidad de luz del Sol para el aprovechamiento de la energía solar en el Departamento.

A continuación se presentan los comportamientos del brillo solar y radiación solar para las subregiones de las cuales se tienen datos disponibles.

3.1 Subregión Zona del Atrato

Para la caracterización de esta subregión se tienen en cuenta los datos suministrados por las estaciones del Aeropuerto el Caraño en Quibdó y de La Loma en Bojayá. Como se observa en la Figura 3, para el caso de la región cubierta por la estación del Caraño en Quibdó los meses de mayor insolación corresponden a Julio y Agosto, superando un promedio diario de 4 horas de brillo solar (HBS), así como se aprecia una disminución en el número de horas promedio diarias de brillo solar para los meses de Diciembre y Enero, ligeramente menor a 3 horas promedio diarias. Estos datos de distribución mensual de HBS corresponden al promedio obtenido en un intervalo de medición de 33 años. Si se realiza el promedio anual de los datos intermensuales, se tiene un total de 3.5 HBS para la región de Quibdó.

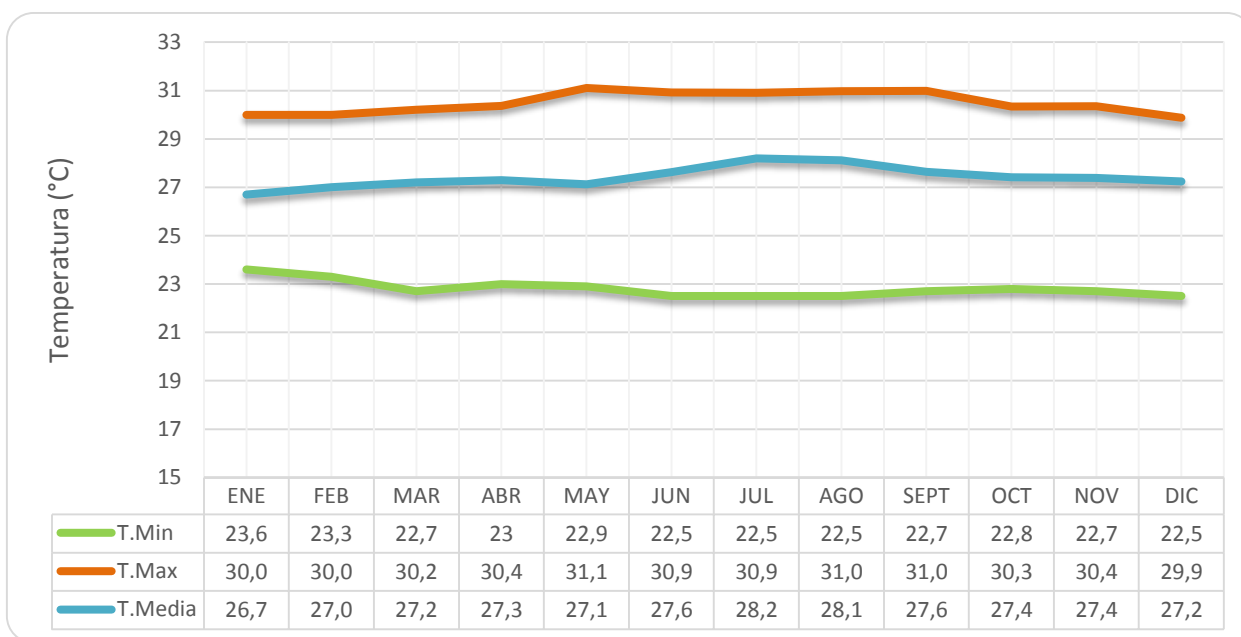
Figura 3. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión del Atrato



Fuente: IDEAM y Elaboración propia

Para el caso de la estación de La Loma, se presenta un comportamiento similar, donde los meses con mayor insolación corresponden a Julio y Agosto con valores promedio diarios de brillo solar de 3,2 horas y los de menor duración del brillo corresponden al período de Diciembre, Enero y Abril, cuyos valores de menor duración oscilan entre 2,3 y 2,6. Los valores promedio de HBS para esta zona de Bojayá corresponden a un período de registro de datos de 33 años. En cuanto al comportamiento de la temperatura en la región, en la Figura 4 se presentan las temperaturas máximas y mínimas registradas en la Estación de El Caraño de Quibdó. La ciudad de Quibdó tiene un clima tropical húmedo, hay precipitaciones durante todo el año y aún en el mes más seco se tiene mucha lluvia. La temperatura media anual en Quibdó se encuentra en 27°C ¹.

Figura 4. Comportamiento de la Temperatura Subregión del Atrato



Fuente: UTCH y Elaboración propia

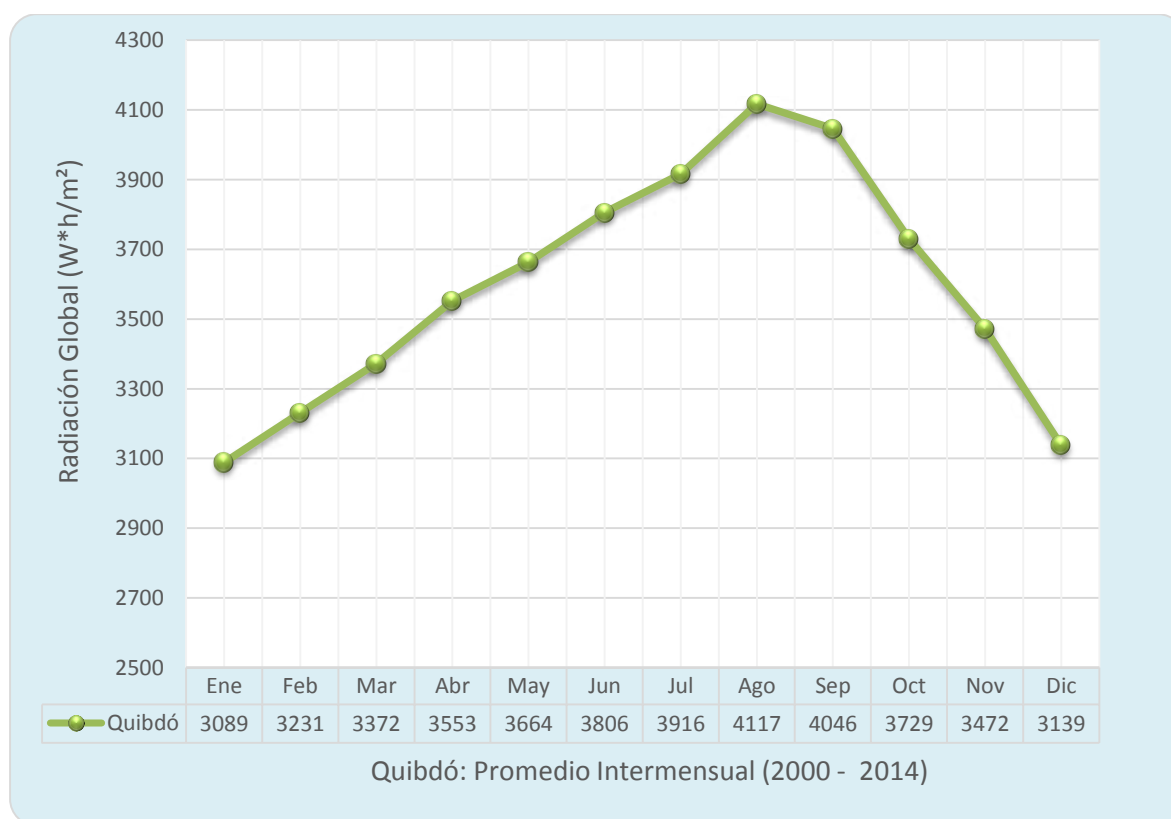
Como se observa el comportamiento promedio de la temperatura a lo largo del año es relativamente estable, tanto para las temperaturas máximas, como para las temperaturas mínimas, solo se aprecian unas pequeñas variaciones en los meses de verano e invierno, pero no se observa una relación dependiente del comportamiento del Brillo Solar.

Información suministrada por el CLIMATE – DATA.ORG.

En los casos de mayor insolación, como son los meses de Julio y Agosto, la temperatura máxima llega a sus valores más altos del año, así como de manera interesante se observa como para los mismos meses en las horas donde no se presenta insolación se tiene un efecto de refrigeración del aire normalmente causado por la lluvia y los vientos asociados, lo que significa que para los meses de Julio y agosto, se presentan en las horas de no Sol los valores más bajos de temperaturas.

Para el caso específico de la radiación solar, no se poseen datos por parte de la estación meteorológica del IDEAM en el Caraño de Quibdó, sin embargo, el Grupo de Investigación en Energías Renovables y Meteorología de la Universidad Tecnológica del Chocó, a través de sus equipos de medición, ha venido registrando tanto el comportamiento de las HBS, como de la Radiación Solar R_o ($\text{kwh/m}^2/\text{día}$) en la zona, los cuales son un insumo importante para el presente análisis. En la Figura 5, se presenta el comportamiento de la radiación solar para la zona de Quibdó en la subregión del Atrato, tomando los datos registrados por la UTCH.

Figura 5. Comportamiento de la Radiación Solar Subregión del Atrato – Quibdó



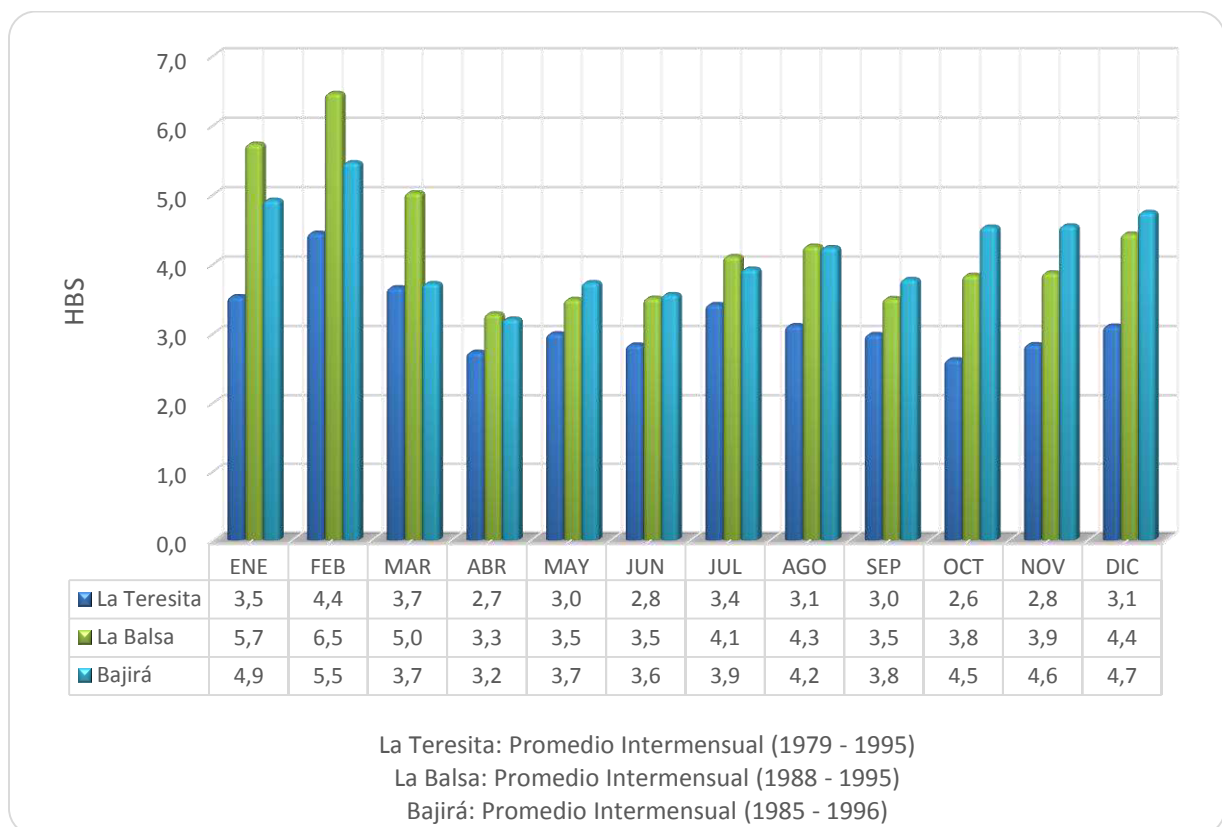
Fuente: UTCH y Elaboración propia

3.2 Subregión Zona del Darién

Para la caracterización del recurso solar de esta subregión se tienen en cuenta los datos de Horas de Brillo Solar (HBS) suministrados por las estaciones de La Teresita, La Balsa y Bajirá en el Municipio de Riosucio y de la Gloria en el Municipio de Unguía, así como la información de Radiación Solar (Ro) de las estaciones de Capurganá en el Municipio de Acandí y de Timutate en el Municipio de Unguía.

El comportamiento del brillo solar para esta subregión se muestra en la Figura 6. Se observa una tendencia similar entre las tres estaciones de la zona de Riosucio, donde las mayores insolaciones se presentan para los meses de Enero y Febrero, siendo la zona de La Balsa la que presenta mayor brillo sola a lo largo del año, alcanzando un máximo de 6.5 horas para el mes de Febrero y con un promedio anual de 4.3 HBS.

Figura 6. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión del Darién - Riosucio

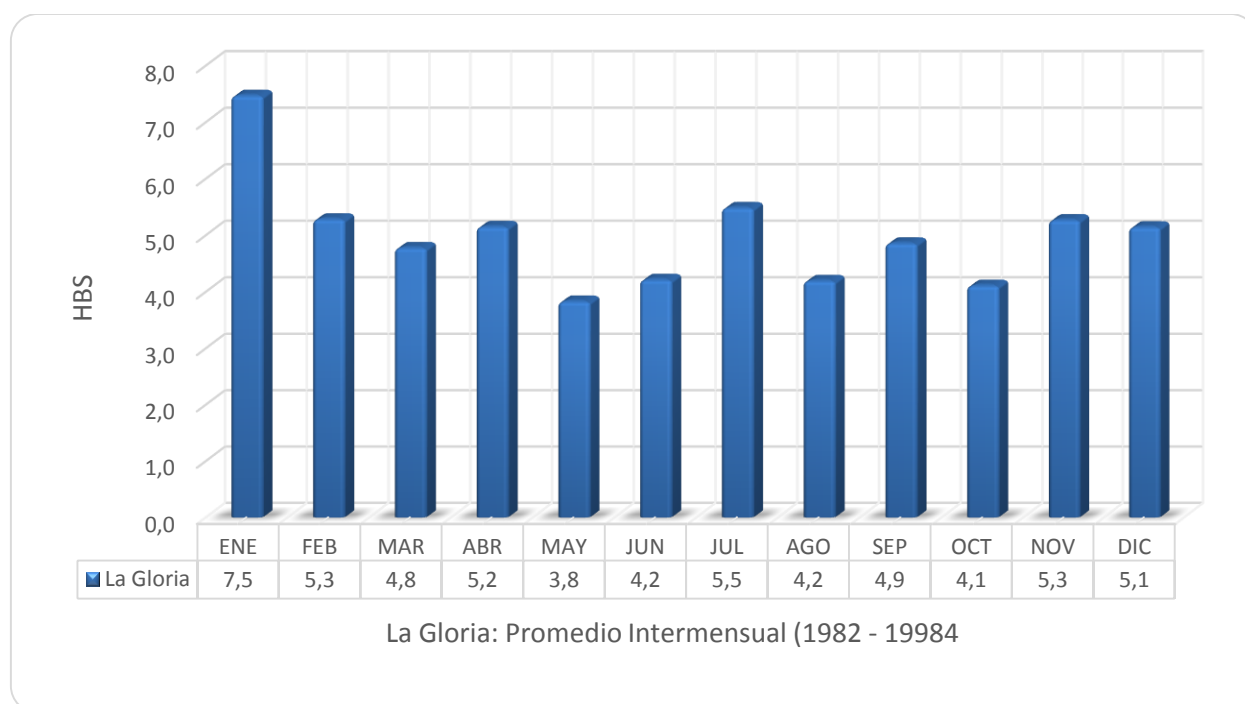


Fuente: IDEAM y Elaboración propia

Las menores duraciones de brillo solar se presentan en el mes de Abril, siendo la zona de la Teresita la que presenta el menor brillo solar, alcanzando un mínimo de 2,7 HBS. Para la estación de La Teresita el promedio anual de duración del brillo solar es de 3,2 HBS, mientras que para la estación de Bajirá se registra un promedio anual de brillo solar de 4,2 HBS.

En el caso de las mediciones registradas en la estación de La Gloria en el municipio de Unguía, la cual geográficamente se encuentra en el Norte del Departamento, el comportamiento del brillo solar se observa en la Figura 7. Se presenta un incremento del número de Horas de Brillo Solar en relación con las presentadas anteriormente para la subregión del Darién. Esto se debe principalmente a que la zona limita hacia la región caribe colombiana, en la cual se presenta menor nubosidad y precipitación; y por lo tanto mayor incidencia de radiación solar directa. Los meses con mayor insolación corresponden a Enero y Julio (5.5 -7.5 HBS), así como las menores duración del brillo se presentan para el mes de Mayo (3.8 HBS). El promedio anual de brillo solar es de 5 HBS, siendo el valor promedio más alto de la subregión del Darién y por lo tanto permite identificar un potencial importante para el aprovechamiento del recurso solar.

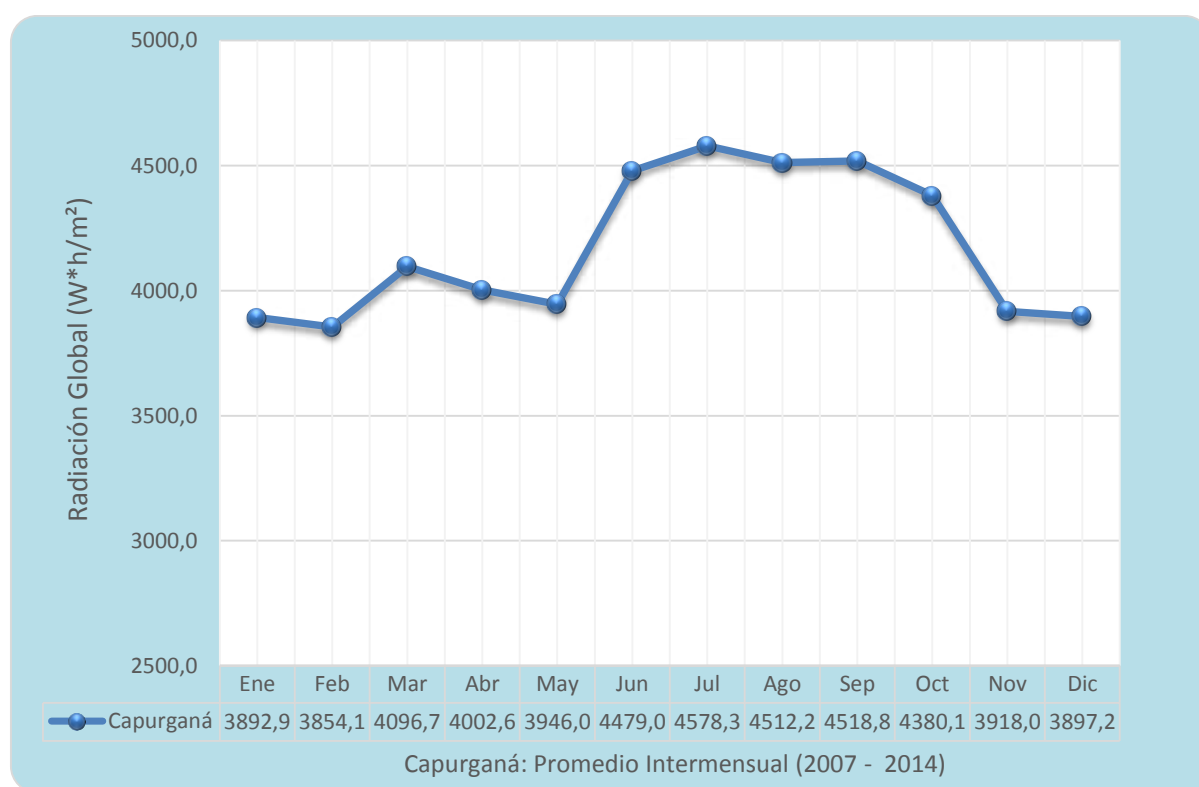
Figura 7. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión del Darién - Unguía



Fuente: IDEAM y Elaboración propia

Con el fin de valorar en mayor detalle el potencial del recurso solar para esta subregión, se toman en cuenta los registros obtenidos por el IPSE en la estación meteorológica de Titumate en Ungía, así como los suministrados por el IDEAM de la estación meteorológica de Capurganá en Acandí. Para el caso de la estación de Titumate, se disponen de datos por parte del IPSE desde el año 2011 al 2014; y para la estación de Capurganá los registros de radiación solar del IDEAM van desde el año 2007 al 2014. En la Figura 8 se presenta el comportamiento histórico mensual de la Radiación Solar Global para la estación de Capurganá.

Figura 8. Comportamiento de la Radiación Solar en la Subregión del Darién - Acandí



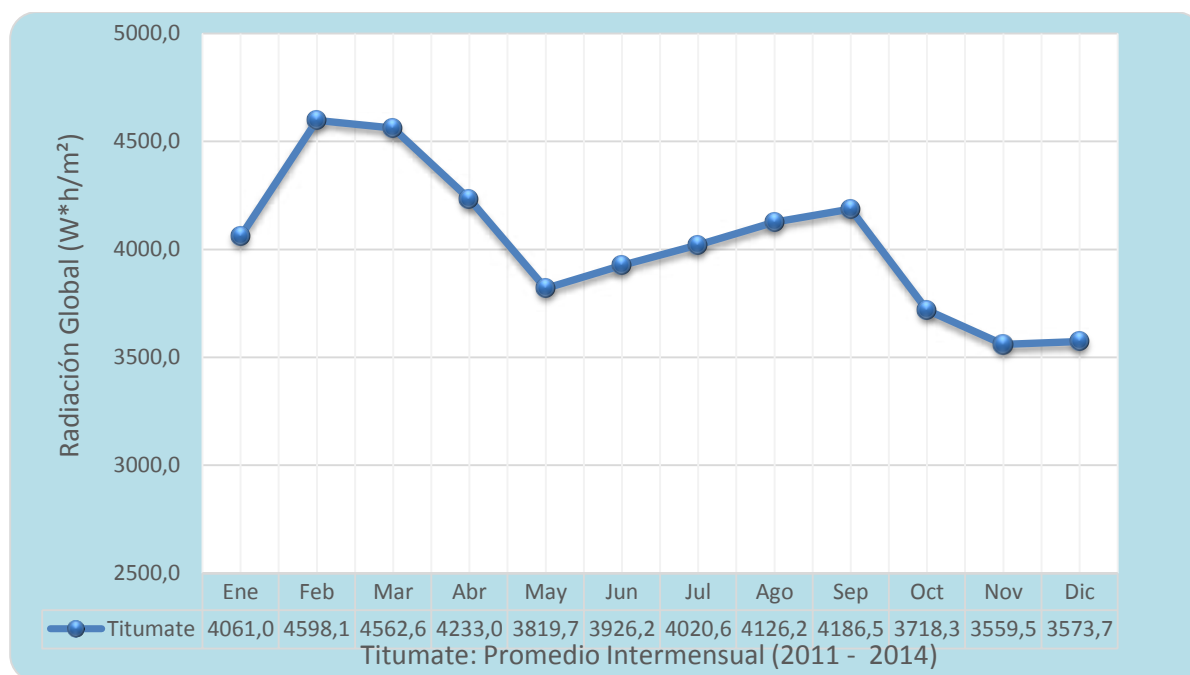
Fuente: IDEAM y Elaboración propia

Para el caso de la radiación solar (curva en azul), la mayor intensidad de radiación solar R_o ocurre en el período comprendido entre los meses de Julio y Septiembre, con radiaciones que oscilan entre 4,5 – 4,6 kWh/m², para este mismo período de tiempo en la región de Riosucio se presentan duraciones del brillo solar promedio por encima de las 100 horas mensuales, lo que corresponde a uno de los dos mayores períodos de insolación del año en la subregión, sin embargo en el mayor período de duración del brillo solar entre enero y marzo, no se presentan

altas radiaciones globales, sus valores oscilan entre 3,9 – 4,1 kWh/m² lo cual indica que para estos meses la relación no es proporcionalmente directa, lo cual es posiblemente causado por la distancia entre las estaciones de medida de Capurganá (Acandí) y La Teresita (Riosucio). ***El promedio multianual de la radiación solar para esta zona de esta subregión, entre el período 2007 -2014 es de 4,2 kWh/m².***

En la Figura 9 se presenta el comportamiento histórico mensual de la Radiación Solar Global para la estación de Titumate (Unguía). El período de registro de datos analizados corresponde a 2011 – 2014. Las mayores intensidades de radiación solar Ro en la Zona de Unguía se presentan en dos períodos intersemestrales, el primero entre los meses de Febrero y Marzo, con valores de Ro de 4,6 kWh/m² y el segundo entre Agosto y Septiembre con valores de Ro de 4,2 kWh/m². Entre esos períodos de tiempo se presenta un decrecimiento progresivo de la radiación solar para el mes de Mayo, con valores de Ro de 3,82 kWh/m² y para el mes de Noviembre otro decrecimiento de la radiación solar con valores de Ro de 3,56 kWh/m². ***El promedio multianual de la radiación solar para esta zona de esta subregión, entre el período 2011 -2014 es de 4,03 kWh/m².***

Figura 9. Comportamiento de la Radiación Solar Global en la Subregión del Darién - Unguía



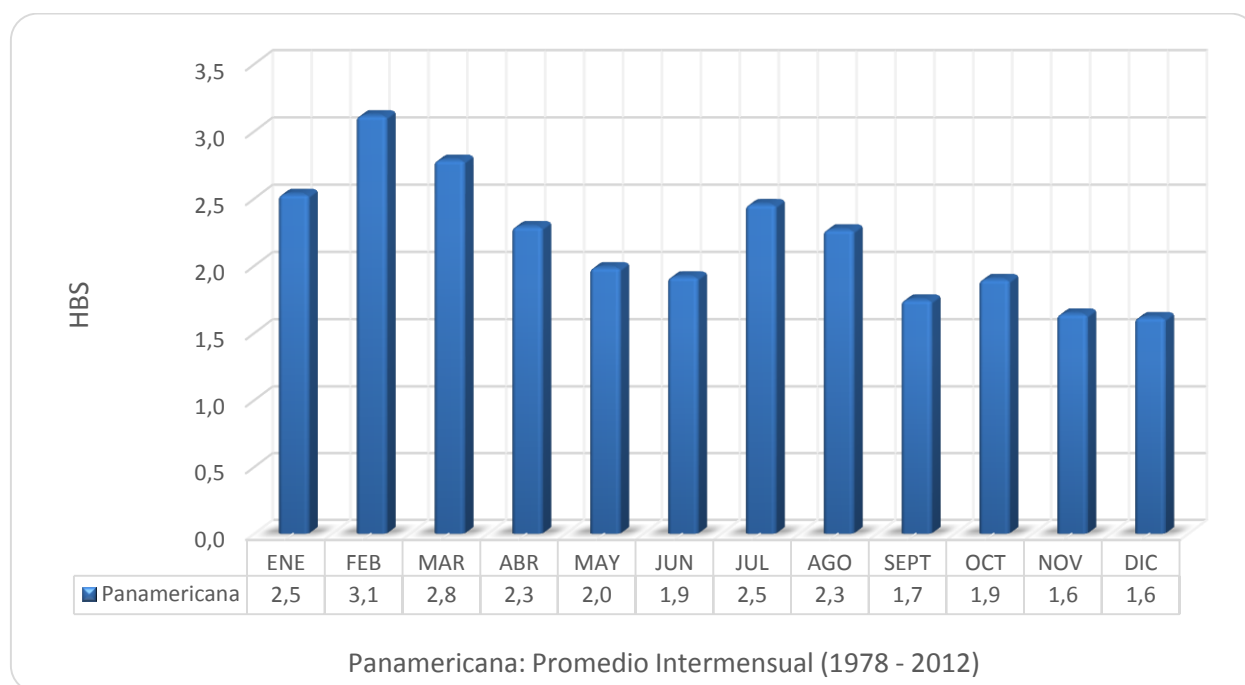
Fuente: IDEAM y Elaboración propia

3.3 Subregión Zona del Pacífico Norte

Para la caracterización del recurso solar de esta subregión se tienen en cuenta los datos de Horas de Brillo Solar (HBS) suministrados por la estación la Panamericana, del municipio de Bahía Solano.

En la Figura 10 se muestra el comportamiento histórico mensual del brillo solar, que abarca el período de 1978 a 2012 (34 años de registros analizados). Se presentan dos períodos con las mayores duraciones del brillo solar promedio diario, el primero que corresponde a los meses de Febrero y Marzo, con un valor promedio de 3 horas de brillo solar y el segundo que corresponde a los meses de Julio y Agosto con un promedio de 2.4 HBS. Entre esos períodos se presenta un decrecimiento progresivo de la duración del brillo solar, el cual alcanza su menor valor para los meses de Noviembre y Diciembre con un promedio diario de 1.6 HBS. El promedio multianual de la duración del brillo solar para esta región es de 2.2 HBS.

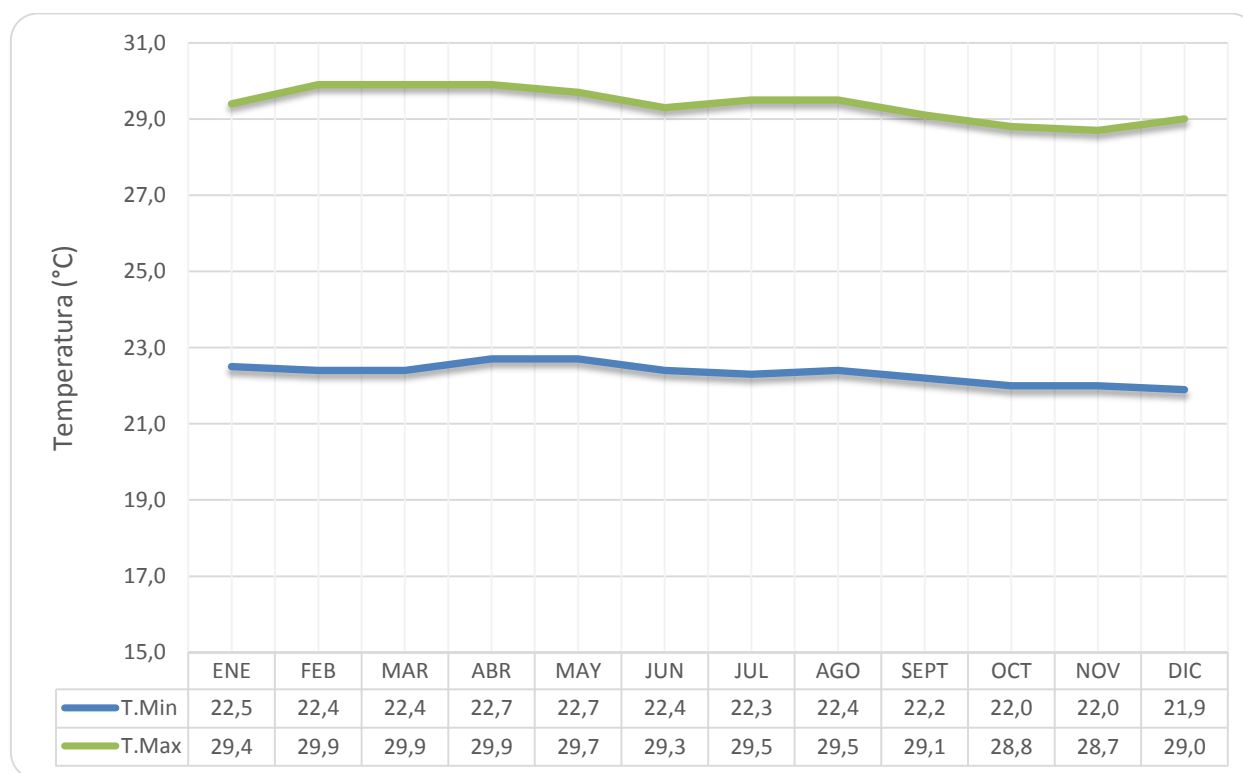
Figura 10. Comportamiento del Brillo Solar en la Subregión de Pacífico Norte – Bahía Solano



Fuente: IDEAM y Elaboración propia

En relación con la temperatura de la subregión, la zona presenta una temperatura promedio anual máxima cercana a los 30 °C, con un primer período de máximas temperaturas entre los meses de Febrero – Abril y un segundo período para los meses de Julio y Agosto, los cuales también corresponden a los períodos de mayor insolación al año. La temperatura mínima promedio anual de la región es de 22,3°C y sus menores valores se alcanzan para el mes de Diciembre, como se observa en la Figura 11.

Figura 11. Comportamiento de la Temperatura en la Subregión de Pacífico Norte – Bahía Solano



Fuente: IDEAM y Elaboración propia

Dado que en la subregión del pacífico norte (Juradó, Nuquí, Bahía Solano) no se disponen de otras estaciones meteorológicas que registren las variables solares con las que se han venido caracterizando las subregiones del Atrato y del Darién y con el fin de analizar de manera más precisa la potencialidad del recurso para la implementación de proyectos con energía solar fotovoltaica y térmica, se hace necesario recurrir a otras fuentes que suministren información sobre el recurso solar, tales como las realizadas por modelación y datos satelitales.

Con base en lo anterior y de acuerdo a lo establecido en la metodología descrita en el numeral 2.1, se tendrá en cuenta la información suministrada por el Atlas Global desarrollado por la Agencia Internacional de Energía Renovable IRENA 2015. Sin embargo, antes de determinar los valores promedio de radiación solar global para la subregión del pacífico norte, se hace necesario comparar los valores de radiación solar generados por el Atlas Global para las subregiones analizadas del Atrato y del Darién, con los valores suministrados por la actualización del Atlas de Radiación Solar de Colombia (IDEAM – UPME, 2015) y los presentados en este informe sobre la base de las estaciones meteorológicas disponibles.

3.3.1 Atlas Global para Energía Renovable

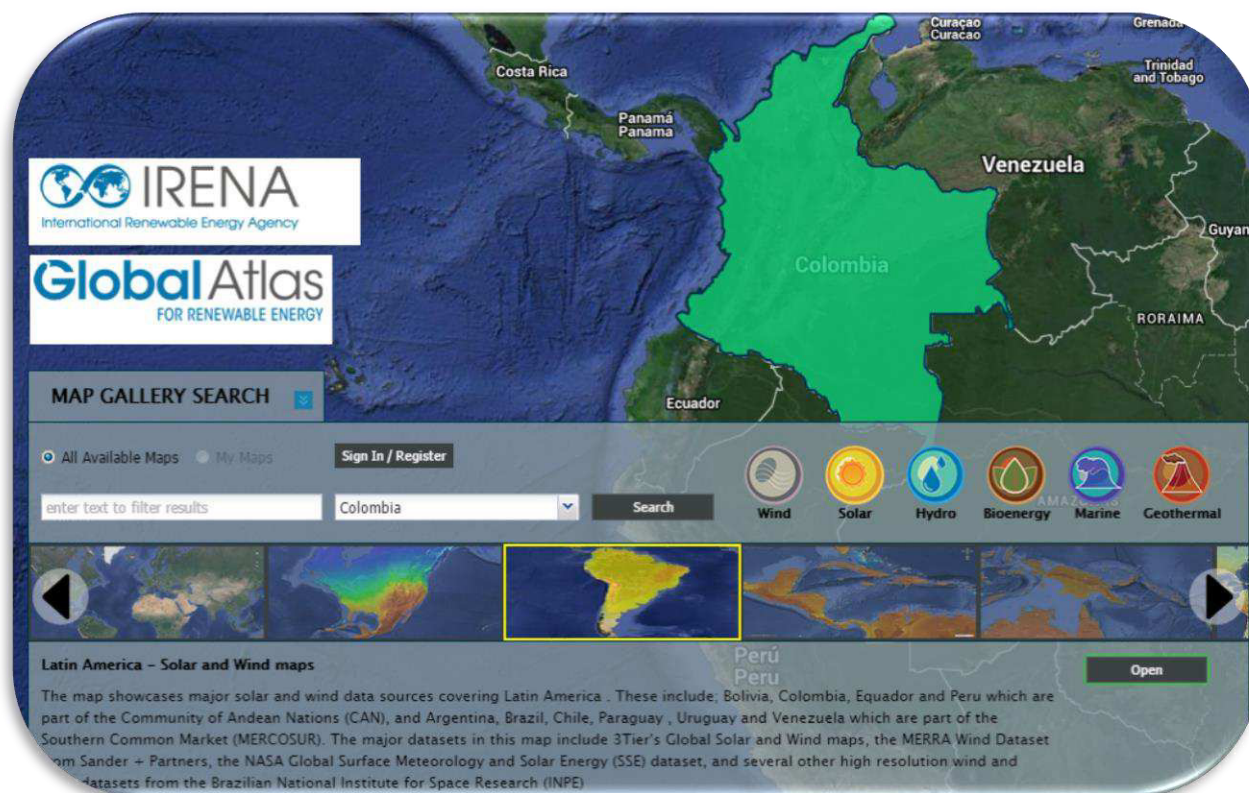
El Atlas Global para Energía Renovable (Global Atlas) es una iniciativa coordinada por IRENA (International Renewable Energy Agency) destinado a cerrar la brecha entre las naciones que tienen acceso a las bases de datos necesarias, la experiencia y el apoyo financiero para evaluar su potencial nacional de energía renovable, y aquellos países que carecen de tales elementos (IRENA, 2015).

Desde de enero de 2015, 67 países y más de 50 institutos y socios están contribuyendo con esta iniciativa. El Atlas Mundial facilita una primera proyección de áreas con oportunidad de recursos, las cuales pueden estar sujetas a evaluaciones subsiguientes y que pueden ser de particular relevancia para la implementación de proyectos. Permite al usuario superponer información que aparece en un catálogo de más de 1.000 conjuntos de datos e identificar áreas de interés para una futura prospección. IRENA ha estado añadiendo continuamente información al sistema.

Actualmente, la iniciativa incluye mapas sobre los recursos solares, eólicos, geotérmicos y de bioenergía, junto con un mapa de la energía marina. La iniciativa finalmente abarcará todos los recursos energéticos renovables, ofreciendo una cobertura global a través del primer Atlas Global de Energías Renovables. Posee una interfaz SIG que permite a los usuarios visualizar información sobre los recursos de energías renovables, y para superponer información adicional. Estos incluyen, densidad de población, la topografía, la infraestructura local, el uso del suelo y las áreas protegidas. El objetivo es permitir a los usuarios identificar las áreas de interés para análisis posteriores. La interfaz SIG integrará progresivamente software y herramientas que permitirán realizar cálculos energéticos y económicos para evaluar el potencial técnico y económico de las energías renovables (IRENA, 2015).

Para acceder a la herramienta se debe ingresar a la página web del IRENA y luego seguir al link de Global Atlas (www.irena.org/GlobalAtlas). Una vez se accede a esta dirección, se direcciona automáticamente a la herramienta: <http://irena.masdar.ac.ae/>. Un print screen de la pantalla de inicio se presenta en la Figura 12.

Figura 12. Pantalla de inicio del Atlas Global de IRENA



Fuente: Global Atlas - IRENA

La herramienta dispone de un amplio número de mapas los cuales pueden ser seleccionados en la parte inferior y ser abiertos dependiendo de la región de estudio. Para el caso del PERS Chocó, se tendrán en cuenta para el departamento distintas series de datos que se representan en los siguientes mapas:

- Multiple countries 40 km by NREL 2006.
- Solar TILT Polygon 40km South America INPE 1995 – 2005
- 3TIER's Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI) W/m².

Realizando un detalle de mapeo de la región mediante el Google Hybrid Map, es posible localizar las diferentes zonas de la región e identificar la Radiación Solar Global sobre superficie horizontal o (GHI) suministrada por cada uno de los mapas anteriores, como se desarrolla a continuación.

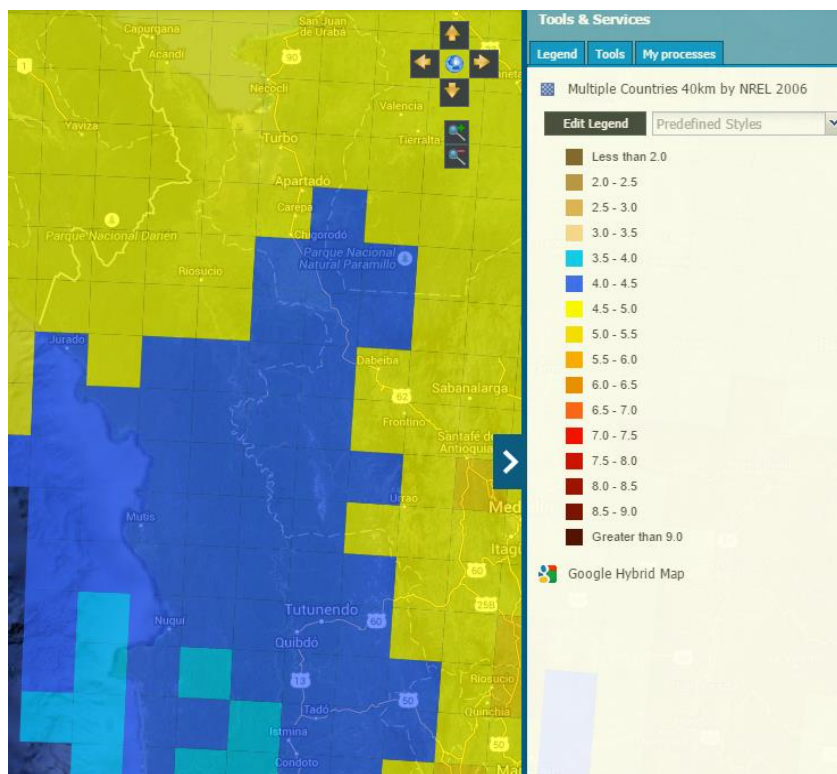
3.3.2 Radiación Solar sobre Superficie Horizontal Ro usando el Global Atlas de IRENA

Usando la herramienta del Global Atlas y teniendo en cuenta las bases de datos de información mencionadas, se obtienen los siguientes resultados de mapeo para las subregiones ya analizadas:

3.3.2.1 Datos suministrados por NREL (Multiple countries 40km), 2006

El mapa de la Figura 13 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en kWh/m²*dia. Como se observa para la subregión del Atrato el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color azul oscuro (4.0-4.5 kWh/m²*dia), así como en la subregión del Darién este valor promedio es mayor y se encuentra en el rango de color amarillo (4.5 - 5 kWh/m²*dia).

Figura 13. Mapa Radiación Solar - Subregión Atrato y Darién – Global Atlas (NREL)

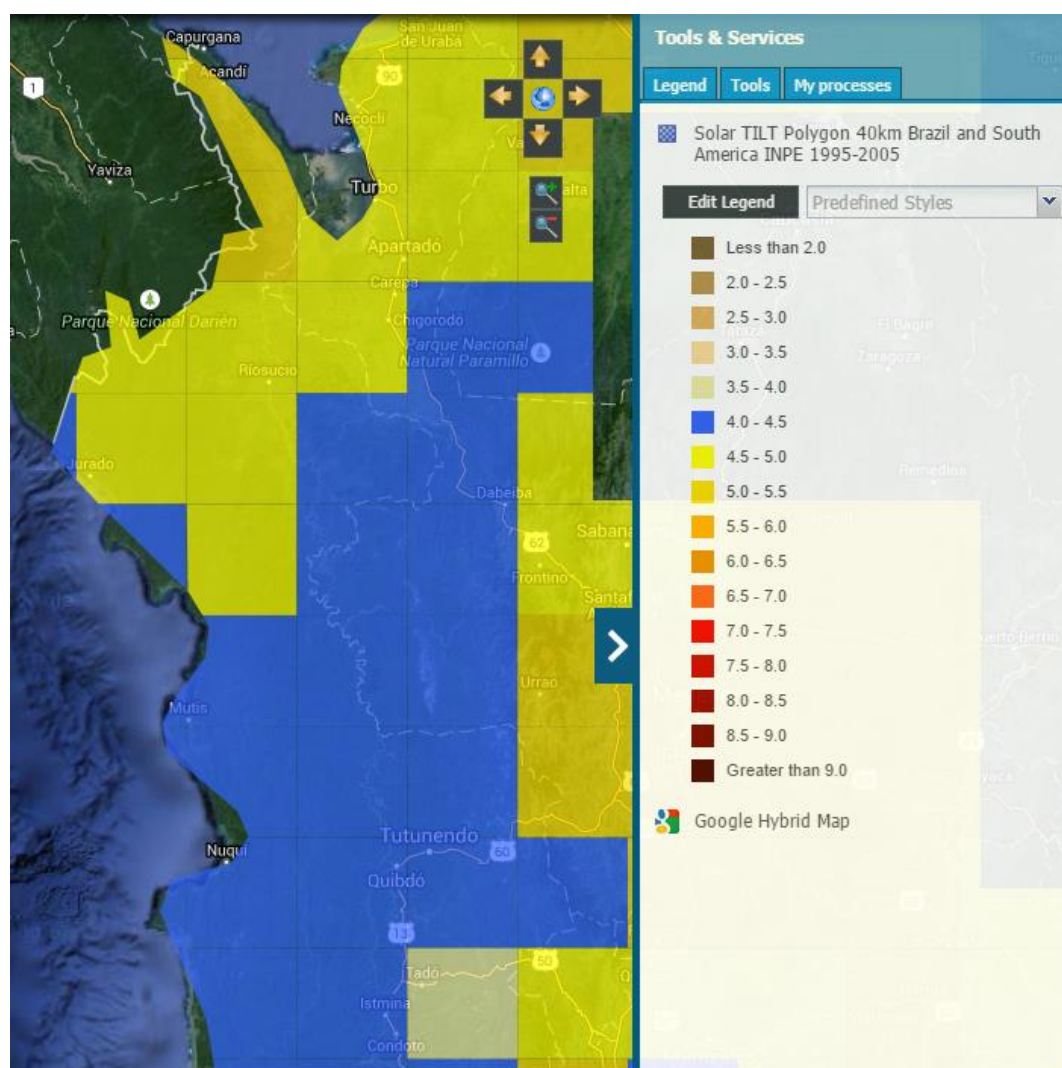


Fuente: IRENA: Global Atlas / Multiple Countries 40 km – NREL 2006

3.3.2.2 Datos suministrados por INPE (Solar TILT Polygon 40km South America), 1995-2005

El mapa de la Figura 14 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en kWh/m²*dia. Como se observa para la subregión del Atrato el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color azul oscuro (4.0-4.5 kWh/m²*dia), así como en la subregión del Darién este valor promedio se encuentra en el rango de color amarillo (4.5 - 5 kWh/m²*dia). Se observa un incremento de la radiación solar hacia la zona de Capurganá, Acandí y Unguía, superando el valor promedio de radiación solar de 5 kWh/m²*dia.

Figura 14. Mapa Radiación Solar - Subregión Atrato y Darién – Global Atlas (INPE)

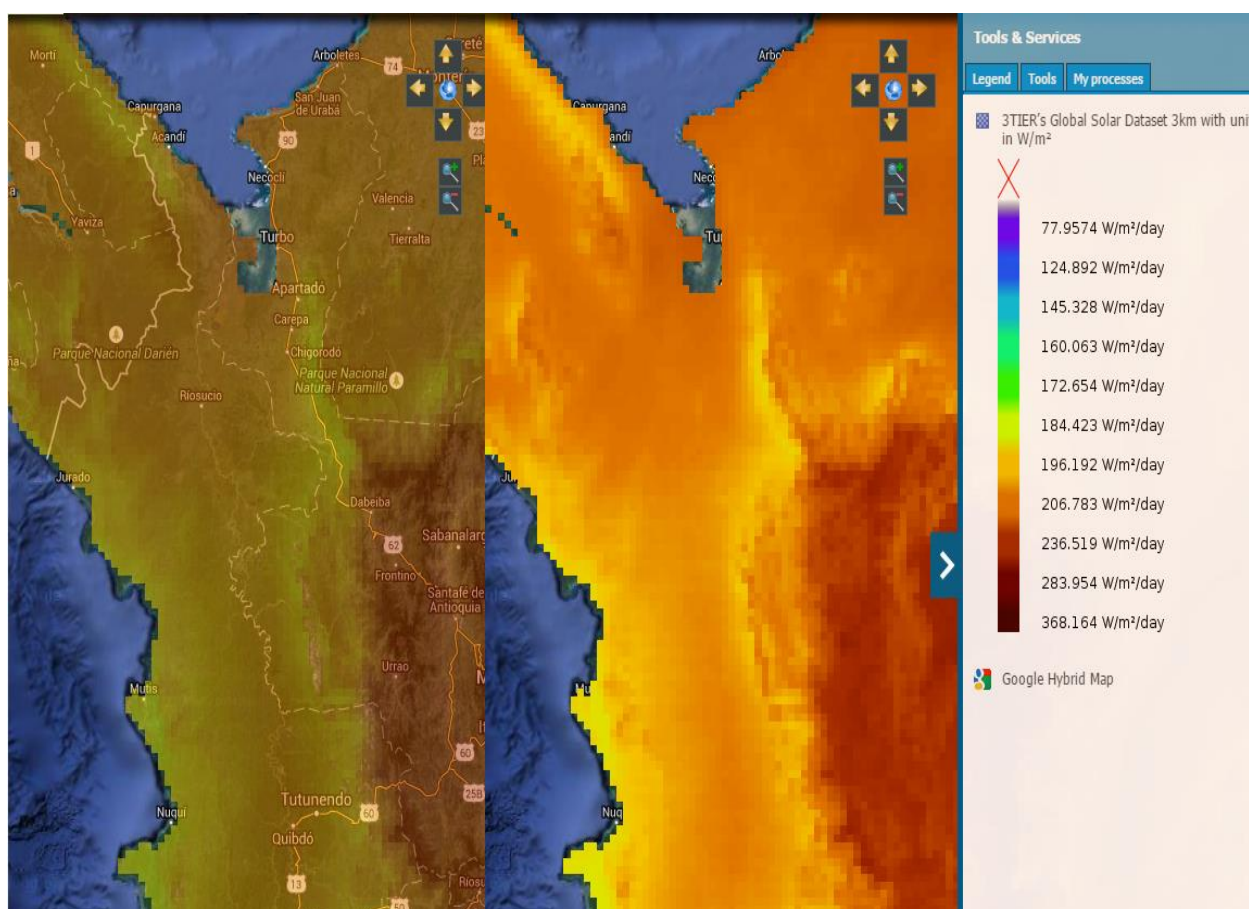


Fuente: IRENA: Global Atlas / Solar TILT Polygon 40km South America – INPE 1995-2005

3.3.2.3 Datos suministrados por 3TIER (Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI) W/m²)

El mapa de la Figura 15 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en W/m² - día. Como se observa para la subregión del Atrato el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color naranja (196 – 206 W/m²/día), así como en la subregión del Darién este valor promedio se encuentra en el rango de naranja - rojizo (206 – 220 W/m²/día). Se observa un incremento de la radiación solar hacia la zona norte de la subregión del Darién (Capurganá, Acandí y Unguía), con un valor promedio de radiación solar que oscila en el rango entre (210 - 220W/m²/día).

Figura 15. Mapa Radiación Solar - Subregión Atrato y Darién – Global Atlas (3TIER)



Fuente: IRENA: Global Atlas / Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI) W/m². 3TIER

3.3.3 Análisis comparativo entre los registros de estaciones meteorológicas, Atlas Nacional y el Atlas Global

Con base en los resultados suministrados por la herramienta del Atlas Global de IRENA y de acuerdo a la metodología definida en este estudio, se propone realizar un análisis comparativo entre los valores suministrados por las estaciones meteorológicas disponibles por el IDEAM, IPSE y UTCH; el Atlas Nacional de Radiación Solar del IDEAM –UPME 2015 (Anexo I) y los rangos de datos suministrados por las organizaciones relacionadas anteriormente en los mapas del Atlas Global de IRENA.

Tabla 4. Comparación de la radiación solar entre estaciones meteorológicas, Atlas Nacional y el Atlas Global

Radiación Solar Promedio Superficie Horizontal								
Ro (kwh/m ² –día)								
Subregión	Municipios	Nombre de la Estación	Datos de Estación	Atlas Nacional	Atlas Global			
				UPME-IDEAM 2015	NREL	INPE	3TIER (w/m ² -día)	3TIER (kwh/m ² -día)
ZONA DEL ATRATO	Quibdó	Aeropuerto El Caraño	3.6	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	207.4	4.97
	Bojayá	La Loma	N.D	3.0 – 3.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	201.8	4.84
	Medio Atrato	N.D	N.D	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	206.1	4.94
	Rio Quito	N.D	N.D	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	207.4	4.97
	Atrato	N.D	N.D	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	206	4.94
	Lloró	N.D	N.D	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	205	4.42
	El Carmen y Bagadó	N.D	N.D	4.0 - 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	200.4	4.80
ZONA DEL DARIEN	Acandí	Capurganá	4,2	4.0 – 4.5	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5	208.7	5.0
	Unguía	Titumate, La Gloria	4,03	4.0 – 4.5	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5	219	5.2
	Riosucio	La Teresita, La Balsa, Bajirá	N.D	4.0 – 4.5	4.5 – 5.0	4.5 – 5.0	207.7	4.98
	Carmen del Darién	N.D	N.D	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	205	4.92

ZONA DEL PACIFICO NORTE	Nuquí	N.D	N.D	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	194.6	4.67
	Bahía Solano	Panamericana	N.D	3.0 – 3.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	194	4.18
	Juradó	N.D	N.D	3.5 – 4.0	Sur 4.0 – 4.5	Sur Oeste 4.0 – 4.5	Sur 196.6	Sur 4.22
					Norte 4.5 – 5.0	Norte 4.5 – 5.0	Norte 207.5	Norte 4.47

N.D: Estación meteorológica para medición de radiación solar No Disponible.

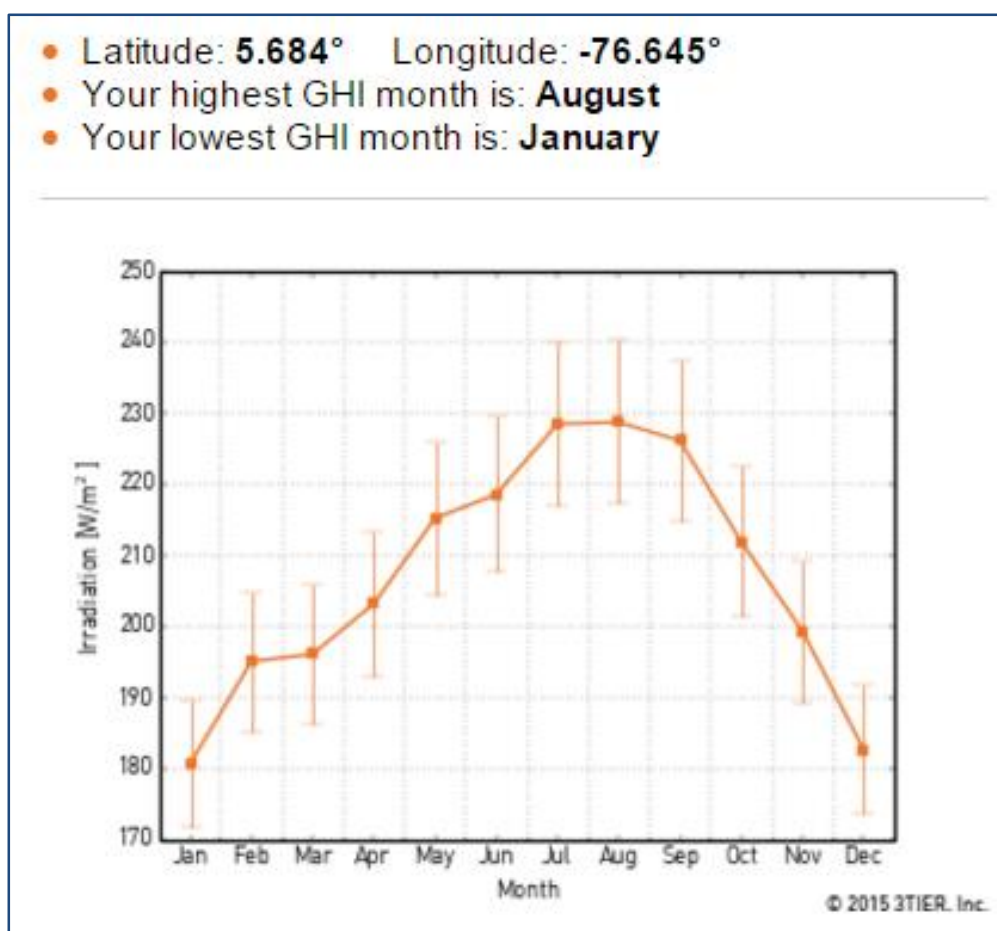
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en los datos de la tabla, se presenta una correlación muy cercana de los valores presentados por NREL e INPE del Atlas Global para las subregiones del Atrato, Darién y del Pacífico Norte, resaltando que en el caso de la Zona Norte del Darién (Acandí, Unguía) el INPE muestra valores de radiación solar más altos sobre los suministrados por NREL. Para el caso de los datos suministrados por 3TIER es necesario realizar una conversión de unidades de w/m^2 a $\text{kwh/m}^2 \cdot \text{día}$ para realizar la comparación, la cual se presenta en la parte derecha de la Tabla 4 y como se observa los valores de 3TIER se encuentran para la mayoría de los municipios por encima de los valores suministrados por el Atlas Nacional y el Atlas Global. En el caso del rango de valores de radiación solar suministrados por el Atlas de radiación solar de IDEAM-UPME 2015, se observa que están para la mayoría de los municipios por debajo de los rangos de valores suministrado por el Atlas Global, pero se confirma como era de esperarse, que los valores de radiación anual promedio de las estaciones meteorológicas estén en el rango suministrado por el Atlas Solar Nacional 2015.

Si correlacionamos los datos de radiación solar sobre superficie horizontal de las estaciones meteorológicas disponibles para las regiones de Quibdó, Acandí y Unguía con los datos suministrados por el Atlas Global de IRENA, se encuentra que los datos están en un rango cuya desviación no sobrepasa el 7% del menor valor. De igual manera se destaca que con el uso del Atlas Global de IRENA es posible identificar las tendencias de crecimiento y decrecimiento de la radiación solar al interior de las propias subregiones y municipios, lo que permite de una manera más precisa y detallada estimar el comportamiento del recurso solar para un lugar en específico.

Por ejemplo para el caso de la región del Atrato Zona de Quibdó, el comportamiento de la Radiación Global Anual sobre superficie horizontal (W/m^2) usando la herramienta de 3TIER se presenta en el siguiente gráfico.

Ilustración 1. Comportamiento de la Radiación Solar Global en Quibdó usando la herramienta 3TIER



Fuente: Solar Prospecting Tools. 3TIER 2015

Si se compara este comportamiento con la curva de la radiación solar global registrada por la UTCH en la Figura 5, se observa una estrecha correlación en el comportamiento de ambas curvas, lo cual permite validar las mediciones y registros de la radiación solar realizada por el grupo de investigación de energías renovables meteorología de la UTCH, así como la utilidad de la herramienta de 3TIER como insumo importante para el análisis del comportamiento de energía solar en las distintas subregiones del Departamento del Chocó. En el Anexo II se presenta el

comportamiento de la radiación solar global sobre superficie horizontal para diferentes municipios en cada una de las subregiones del departamento, de acuerdo a lo suministrado por 3TIER.

Con las razones expuestas anteriormente y para efectos del análisis del potencial del recurso solar para las otras subregiones del departamento que no disponen de estaciones meteorológicas, se valida la herramienta de modelación internacional del Atlas Global de IRENA como instrumento de suministro de información y análisis de los comportamientos de la radiación solar global (GHI) de las subregiones y se tomará el dato más representativo de las distintas series, incluyendo la del Atlas Interactivo 2015 del IDEAM – UPME.

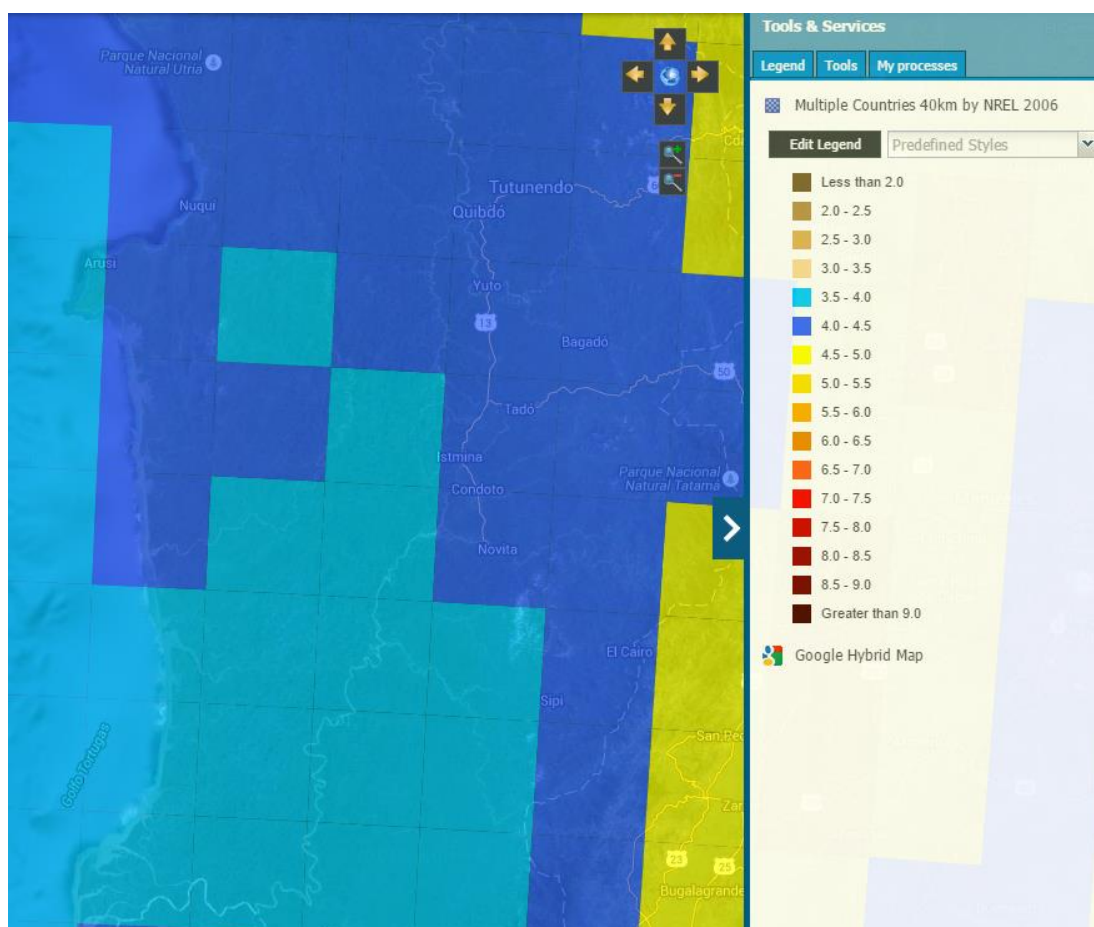
3.4 Subregión Zona del Pacífico Sur

Para esta subregión no se disponen de estaciones meteorológicas que suministren información sobre variables que determinen el comportamiento de la radiación solar global y de la duración del brillo solar. Por tal razón, se hará uso de la metodología descrita con el Atlas Global del IRENA, mediante el suministro de la información de radiación solar por parte de las mediciones y modelación realizada por NREL, INPE y 3TIER.

3.4.1 Datos suministrados por NREL (Multiple countries 40km), 2006

El mapa de la Figura 16 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en kWh/m²*dia. Como se observa para la subregión del Pacífico Sur el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color azul oscuro (4.0-4.5 kWh/m²*dia), para las zonas Norte y Nor-occidental, lo que comprende los municipios de Alto y parte del Bajo Baudó. Para el caso del Medio Baudó se presentan intensidades de radiación solar ligeramente menor y en el rango de azul claro (3.5 - 4 kWh/m²*dia) en igual rango se encuentra el Litoral de San Juan al sur del departamento cuyas intensidades de radiación solar son las menores del departamento.

Figura 16. Mapa Radiación Solar - Subregión Pacífico Sur – Global Atlas (NREL)

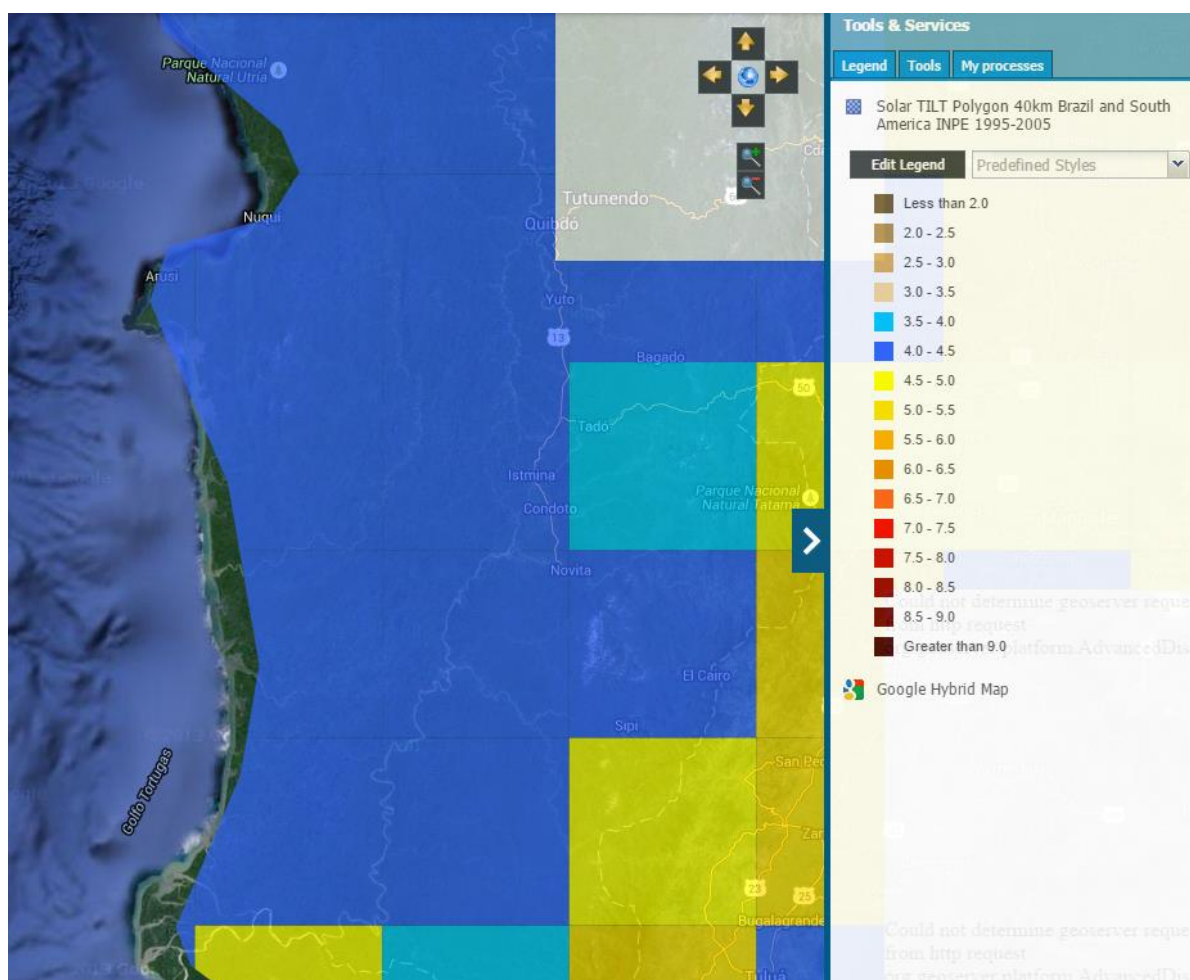


Fuente: IRENA: Global Atlas / Multiple Countries 40 km – NREL 2006

3.4.2 Datos suministrados por INPE (Solar TILT Polygon 40km South America), 1995-2005

El mapa de la Figura 17 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en kWh/m²*día. Como se observa para la subregión del Pacífico Sur el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color azul oscuro (4.0-4.5 kWh/m²*día), para todos los municipios de Alto, Medio y Bajo Baudó, así como para el Litoral de San Juan.

Figura 17. Mapa Radiación Solar - Subregión Pacífico Sur – Global Atlas (INPE)

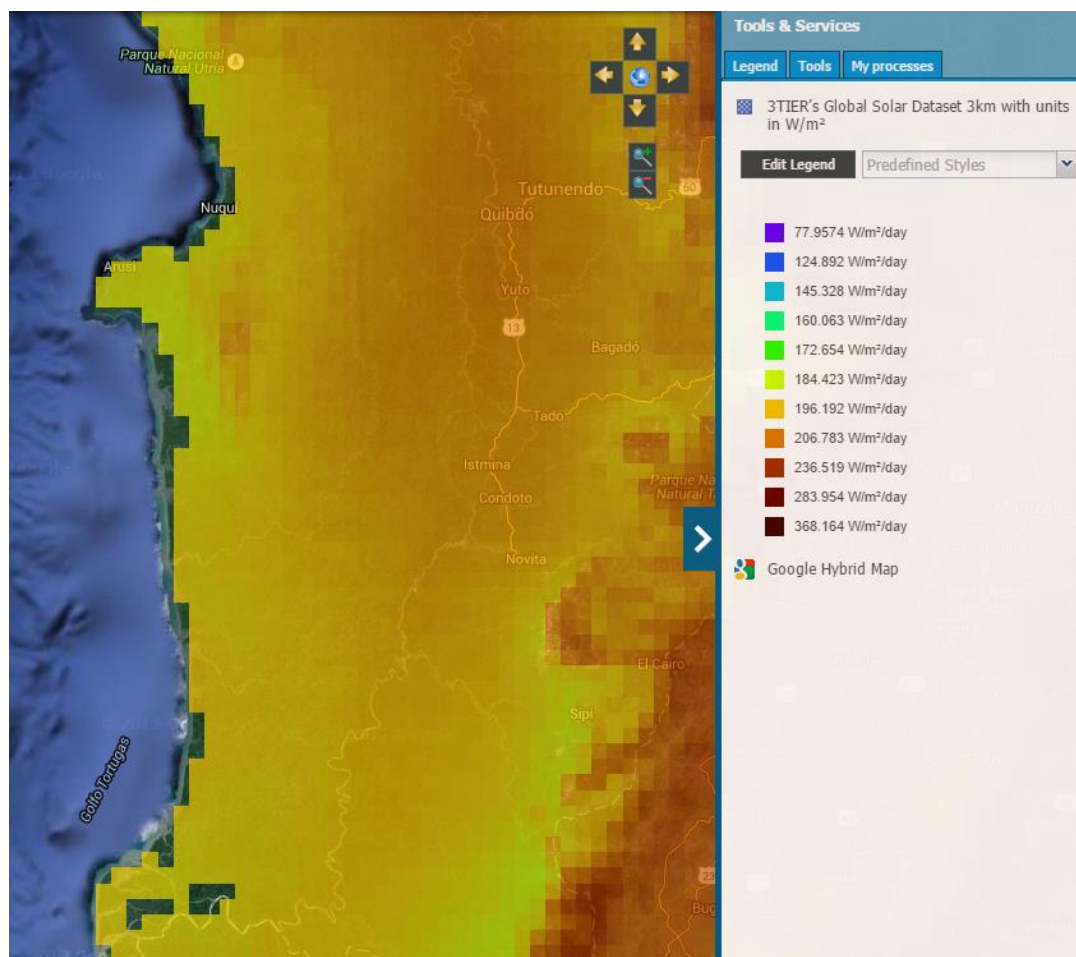


Fuente: IRENA: Global Atlas / Solar TILT Polygon 40km South America – INPE 1995-2005

3.4.3 Datos suministrados por 3TIER (Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI - W/m²))

El mapa de la Figura 18 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en W/m²/día. Como se observa para la subregión del Pacífico Sur el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color amarillo - zapote (184 – 206 W/m²/día), así como se aprecian pequeñas variaciones de la radiación solar al interior de los municipios, para lo cual es necesario tener en cuenta la georreferenciación de los puntos específicos donde se deseen implementar proyectos de energía solar.

Figura 18. Mapa Radiación Solar - Subregión Pacífico Sur – Global Atlas (3TIER)



Fuente: IRENA: Global Atlas / Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI) W/m². 3TIER

En la Tabla 5 se consolida el comparativo de la información suministrada en los mapas anteriores por el Atlas Global para la Subregión del Pacífico Sur.

Tabla 5. Consolidado de Datos de Radiación Solar Subregión Pacífico Sur - Atlas Global (IRENA)

Subregión	Municipios	Radiación Solar Promedio Superficie Horizontal Ro (kwh/m ² –día)				
		Atlas Nacional	Atlas Global			
		UPME-IDEAM 2015	NREL	INPE	3TIER (w/m ² -día)	3TIER (kwh/ m ² -día)
ZONA DEL PACÍFICO SUR	Alto Baudó	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	198	4.75
	Medio Baudó	3.5 – 4.0	Este 3.5 – 4.0 Oeste 4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	199	4.77
	Bajo Baudó	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	195	4.68
	Litoral de San Juan	4.0 – 4.5	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	193	4.63

Fuente: Elaboración Propia

Un análisis de los datos suministrados permite identificar que el comportamiento promedio de la radiación solar global es similar para los municipios de Alto, Medio y Bajo Baudó y que por otro lado se dispone de una ligera mayor radiación solar para la zona del Litoral de San Juan. Tal y como se mencionó en el análisis del recurso solar para las anteriores subregiones, se observa que los valores suministrados por 3TIER están por encima de los rangos de la oras series, así como la serie dada por el Atlas Nacional se encuentra o en el rango oligeramente por debajo de NREL e INPE. Si se toma como referencia la cabecera municipal de Docordó, la cual está georeferenciada como 4.25° de Latitud Norte y 77.368 de Longitud Oeste y usando de manera complementaria los datos suministrados por la **NASA (Surface Meteorology and solar Energy) del Atmospheric Science Data Center**, se obtiene un valor promedio anual de radiación solar sobre superficie horizontal de 3.91 kWh/m²/día, lo cual está dentro del rango de NREL y cercano al suministrado por el Atlas Nacional 2015 y el INPE.

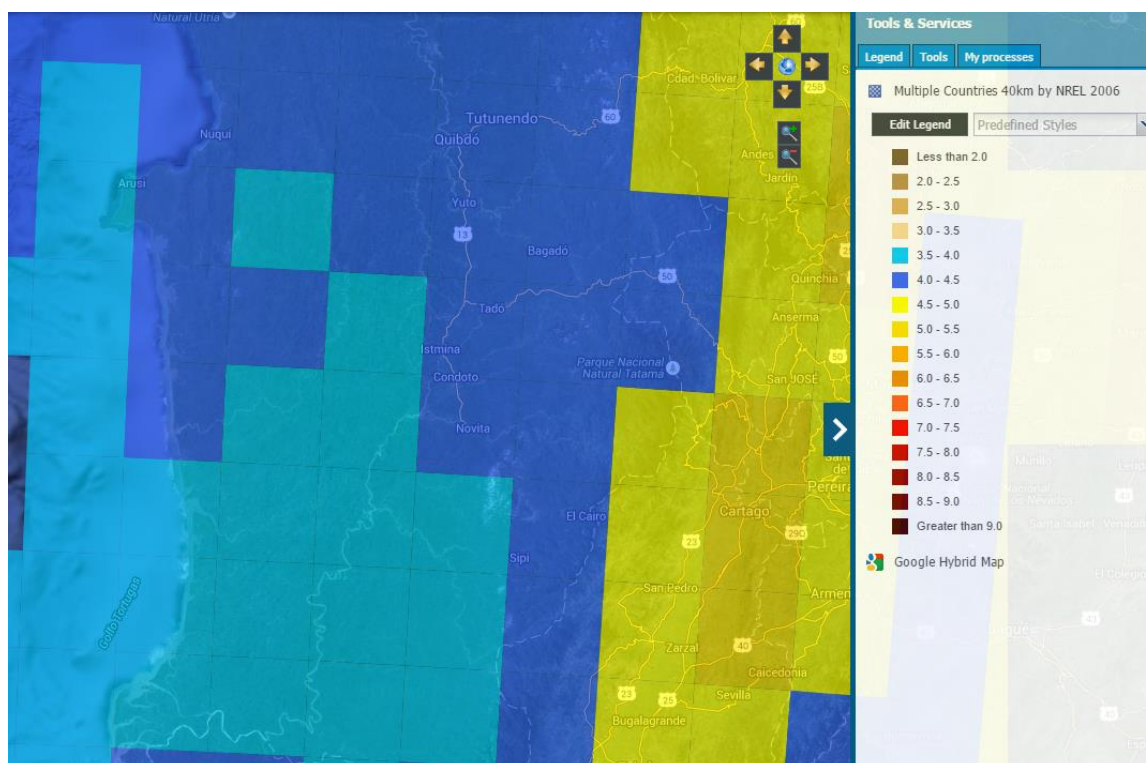
3.5 Subregión Zona del San Juan

Para esta subregión no se disponen de estaciones meteorológicas que suministren información sobre variables que determinen el comportamiento de la radiación solar global y de la duración del brillo solar. De manera similar a la subregión analizada anteriormente, se aplicará la metodología descrita con el Atlas Global del IRENA, mediante el suministro de la información de radiación solar por parte de las mediciones y modelación realizada por NREL, INPE y 3TIER.

3.5.1 Datos suministrados por NREL (Multiple countries 40km), 2006

El mapa de la Figura 19 representa la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en kWh/m²*dia. Como se observa para la subregión del San Juan (Sipí, Medio San Juan, Novita, San José del Palmar; Condóto, Istmina, Rio Iró, Unión Panamericana, Tadó, Cantón de San Pablo y Cértogui) el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color azul azul claro (3.5 – 4.0 kWh/m²*dia) y azul oscuro (4.0 - 4.5 kWh/m²*dia).

Figura 19. Mapa Radiación Solar - Subregión del San Juan – Global Atlas (NREL)



Fuente: IRENA: Global Atlas / Multiple Countries 40 km – NREL 2006

Al seleccionar una región en específico, se puede tener acceso a los datos de radiación solar promedio multianual. Por ejemplo para la región de Istmina, cuyas coordenadas de georreferenciación son 5.212 N; -7.66 E, el valor promedio de radiación solar suministrado por NREL es de 4.08 kWh/m²/día. Para otras zonas de la subregión se obtienen de manera similar valores promedio de radiación solar, Condoto (4.04 kWh/m²/día), Novita (4.0 kWh/m²/día), Sipí (3.96 kWh/m²/día), Tadó (4.08 kWh/m²/día), Cértegui (4.08 kWh/m²/día), los cuales como se observa se encuentran más cercanos al valor promedio de 4.0 kWh/m²/día que al de 4.5 kWh/m²/día. La zona Oriental de la subregión presenta mayores intensidades de radiación solar, como es el caso de San José del Palmar (4.2 kWh/m²/día).

3.5.2 Datos suministrados por INPE (Solar TILT Polygon 40km South America), 1995-2005

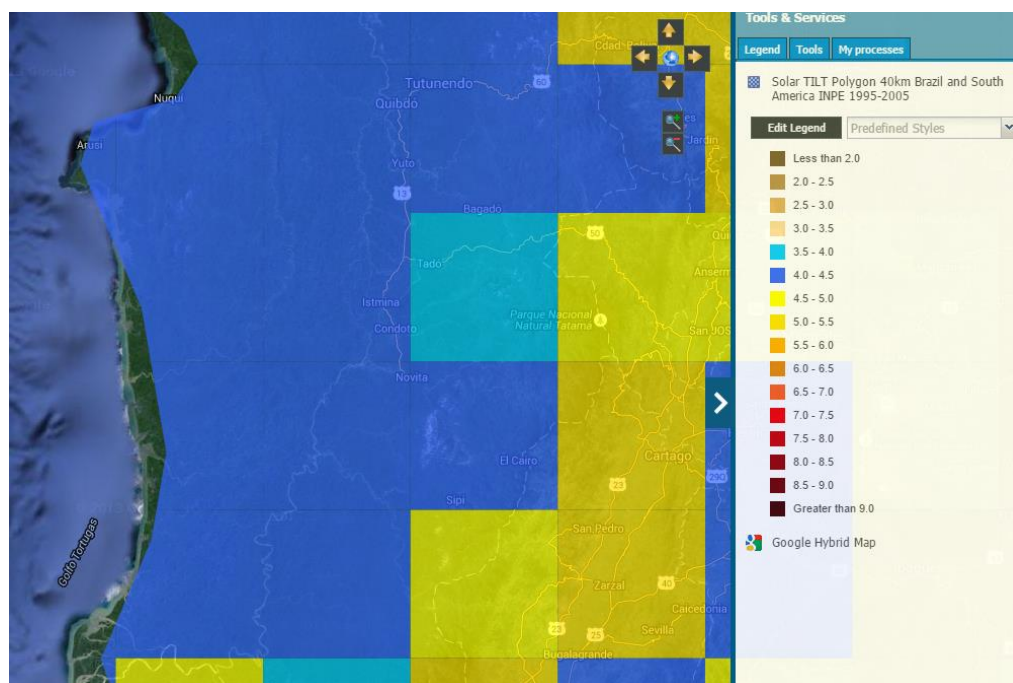
El mapa de la Figura 20 muestra la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en kWh/m²*día. Para esta subregión el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de color azul oscuro (4.0-4.5 kWh/m²*día), para los municipios de Istmina, Condoto, Novita, Sipí, Cértegui, Unión Panamericana, Cantón de San Pablo, Rio Iró, San José del Palmar y en el rango de azul claro (3.5 – 4.0 kWh/m²*día) para el municipio de Tadó..

3.5.3 Datos suministrados por 3TIER (Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI - W/m2)

El mapa de la Figura 21 presenta la radiación solar sobre superficie horizontal promedio diaria en W/m²*día. Para esta subregión el valor promedio de la radiación solar se encuentra en el rango de naranja - rojo (193 – 206 W/m²*día) o equivalente a (4.1 – 4.4 kWh/m²*día).

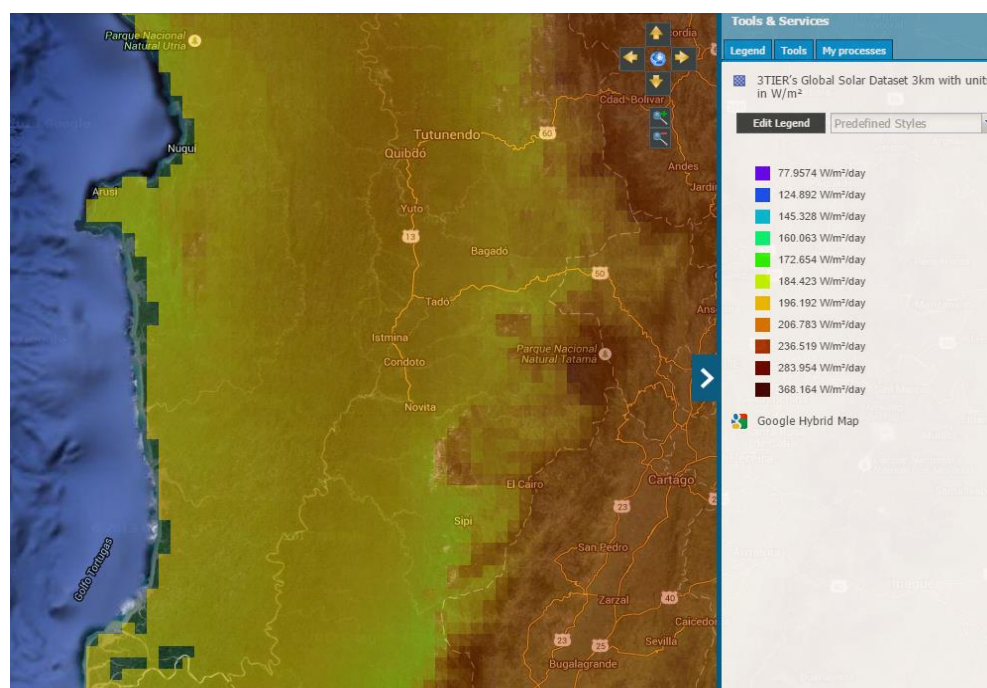
En la Tabla 6 se presenta el consolidado comparativo de la información suministrada de los mapas disponibles por el Atlas Global para la Subregión del San Juan. Al realizar un análisis de los datos suministrados por las tres fuentes, se observa que para todos los municipios hay correlación de los valores dentro de los rangos definidos y que en promedio la subregión mantiene valores de radiación solar en el rango de 4.0 – 4.5 kWh/m²*día.

Figura 20. Mapa Radiación Solar - Subregión el San Juan – Global Atlas (INPE)



Fuente: IRENA: Global Atlas / Solar TILT Polygon 40km South America – INPE 1995-2005

Figura 21. Mapa Radiación Solar – Subregión del San Juan – Global Atlas (3TIER)



Fuente: IRENA: Global Atlas / Global Solar Dataset 3km. Global Horizontal Irradiance (GHI) W/m². 3TIER

Tabla 6. Consolidado de Datos de Radiación Solar Subregión del San Juan - Atlas Global (IRENA)

Radiación Solar Promedio Superficie Horizontal Ro (kwh/m ² –día)						
Subregión	Municipios	Atlas Nacional	Atlas Global			
		UPME – IDEAM 2015	NREL	INPE	3TIER (w/m ² -día)	3TIER (kwh/ m ² -día)
ZONA DEL SAN JUAN	Sipí	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	197	4.78
	Medio San Juan	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	203	4.87
	Novita	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	200	4.80
	San Jose del Palmar	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	205	4.92
	Condoto	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	203	4.87
	Istmina	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	203.5	4.88
	Rio Iró	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	201	4.82
	Unión Panamericana	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	204	4.89
	Tadó	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	3.5 – 4.0	199	4.77
	Cantón de San Pablo	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	204	4.89
	Cértégui	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	203.8	4.89

Fuente: Elaboración Propia

Tal y como se analizó en las otras subregiones, los valores de radiación solar global sobre superficie horizontal de las diferentes series tanto del Atlas Nacional, como del Atlas Global presentan similitudes para el caso de la serie IDEAM – NREL – INPE y para el caso de los valores cuantitativos de la serie de 3TIER estos se encuentran por arriba del promedio, por lo cual no se considerarán como dominantes dentro del valor medio de radiación solar global para los diferentes municipios del Departamento del Chocó. En la Tabla 7 se consolida para todas las subregiones los valores de las series analizadas y se determina un valor medio predominante, el cual es graficado por el equipo de SIG y se presenta en el mapa del Anexo III.

Tabla 7. Consolidado del Análisis de Radiación Solar Global y Valor Predominante -
Departamento del Chocó

		Radiación Solar Global sobre Superficie Horizontal				
		Ro (kwh/m² –día)				
Subregión	Municipios	Atlas Nacional	Atlas Global			Valor Medio Predominante
		UPME-IDEAM 2015	NREL	INPE	3TIER (kwh/ m²- día)	
ZONA DEL ATRATO	Quibdó	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.97	3,75
	Bojayá	3.0 – 3.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.84	3,50
	Medio Atrato	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.94	3,75
	Rio Quito	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.97	3,75
	Atrato	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.94	3,75
	Lloró	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.42	3,75
	El Carmen y Bagadó	4.0 - 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.80	4,00
ZONA DEL DARIEN	Acandí	4.0 – 4.5	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5	5.0	4,37
	Unguía	4.0 – 4.5	4.5 – 5.0	5.0 – 5.5	5.2	4,37
	Riosucio	4.0 – 4.5	4.5 – 5.0	4.5 – 5.0	4.98	4,25
	Carmen del Darién	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.92	3,75
ZONA DEL PACIFICO NORTE	Nuquí	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.67	3,75
	Bahía Solano	3.0 – 3.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.18	3,50
	Juradó	3.5 – 4.0	Sur	Sur Oeste	Sur	3,75
			4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.22	
ZONA DEL PACÍFICO SUR	Alto Baudó	3.5 - 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.75	3,75
	Medio Baudó	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.77	3,75
	Bajo Baudó	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.68	3,75
	Litoral de San Juan	4.0 – 4.5	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.63	4,00
ZONA DEL SAN JUAN	Sipí	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.73	4,00
	Medio San Juan	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.87	4,00
	Novita	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.80	4,00

San Jose del Palmar	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.92	4,00
Condoto	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.87	3,75
Istmina	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.88	3,75
Rio Iró	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.82	4,00
Unión Panamericana	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.89	3,75
Tadó	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	3.5 – 4.0	4.77	4,00
Cantón de San Pablo	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.89	3,75
Cértégui	3.5 – 4.0	4.0 – 4.5	4.0 – 4.5	4.89	3,75

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Resultados de la potencialidad del recurso solar

De acuerdo al análisis realizado por las diferentes subregiones en relación con la intensidad de la radiación y la duración del brillo solar, se concluye:

- La subregión con mayor potencial del recurso solar corresponde a la zona del Darién, siendo Acandí y Unguía los municipios con mayores intensidades de radiación y duración del brillo solar en el Departamento y por lo tanto son regiones viables para la generación de energía eléctrica y térmica con sistemas de energía solar.
- En las otras subregiones las intensidades de radiación solar pueden estar por debajo del umbral de radiación mínimo sugerido para la generación de energía solar fotovoltaica que corresponde a los 4.0 kwh/m²-día, por lo que la formulación de proyectos con energía solar para estas zonas requiere de mediciones y validación en campo del recurso solar, así como un análisis a profundidad en el dimensionado y diseño, teniendo en cuenta otros factores importantes para la sostenibilidad de los sistemas de energía desde el recurso solar, tales como la autonomía de los sistemas de energía y el incremento de paneles solares y baterías para almacenar la carga.
- Aunque existe una alta precipitación en el departamento, asociada entre otros factores a la presencia de nubosidad, la distribución del brillo solar medio diario supera las 3 horas de duración para la mayoría de las subregiones, el cual es el tiempo de duración mínimo sugerido para la carga adecuada de acumuladores de carga en sistemas de energía solar fotovoltaico. Sin embargo, para regiones con valores ligeramente menores de 3HBS es importante considerar la viabilidad del recurso solar en el proceso de desarrollo de proyectos con sistemas fotovoltaicos.

4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica (o energía del aire en movimiento) se usa desde hace cientos de años para labores agrícolas como molienda de grano y bombeo de agua, también para propulsión aerodinámica de barcos, de tablas de vela y/o esculturas eólicas mediante la instalación de turbinas o aerogeneradores. En la actualidad, el uso de la energía eólica como fuente para generación de energía eléctrica, se ha convertido en otra alternativa atractiva y está presentado un enorme crecimiento en el mundo a pequeña y gran escala.

Las perspectivas para la energía eólica en Colombia son grandes, sobre todo en el Caribe, en donde el recurso eólico ha demostrado ser alto. Solamente en esta región, incluida la Guajira, se cuenta con un potencial efectivo de conversión de energía eólica a energía eléctrica de 20.000 MW, en parques eólicos. Ahora, si se quisiera extender a zonas de playa o al mar, este potencial se podría duplicar (Universidad Nacional de Colombia – UN Periódico, 2009).

Para el caso del pacífico se han realizado estudios que muestran que la intensidad de las velocidades de los vientos alisios del pacífico no son tan altos como los del caribe, sin embargo, el potencial del recurso eólico se incrementa hacia mar adentro y en el caso específico del departamento del Chocó, el cual también tiene parte de costa caribe, las intensidades de viento podrían ser de interés en proyectos de generación de energía para bombeo de agua, desalinización y/o sistemas híbridos con otras fuentes de energía.

Utilizando la misma metodología realizada en el análisis del potencial del recurso solar, para el caso del estudio del potencial del recurso eólico en el Departamento del Chocó, se tendrán en cuenta la disponibilidad de datos de velocidad y dirección del viento por parte de las estaciones meteorológicas que realizan estos registros en el departamento, así como los datos suministrados por el Atlas Interactivo Eólico del IDEAM – UPME, 2015 y los del Atlas Global del IRENA.

El departamento del Chocó solamente cuenta con una estación meteorológica del IDEAM para la medición del recurso eólico, la cual se detalla en la Tabla 8.

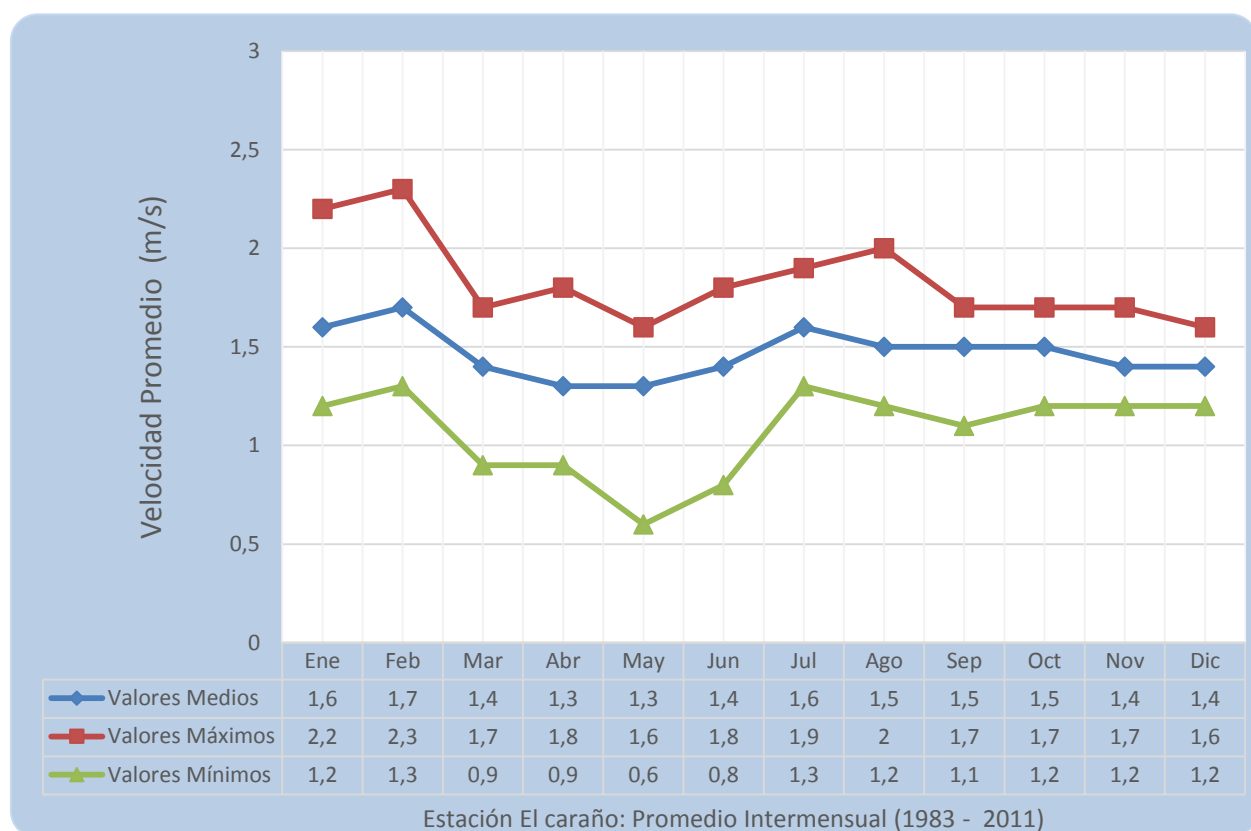
Tabla 8. Estaciones Meteorológicas IDEAM – Recurso Eólico

Código de la Estación	Nombre de la Estación	Municipio	Latitud	Longitud	Subregión
11045010	Aeropuerto El Caraño	Quibdó	5,68	-76,63	Zona del Atrato

Fuente: IDEAM y elaboración propia

Las velocidades promedio de viento mensual registradas por esta estación se observan en la Figura 22.

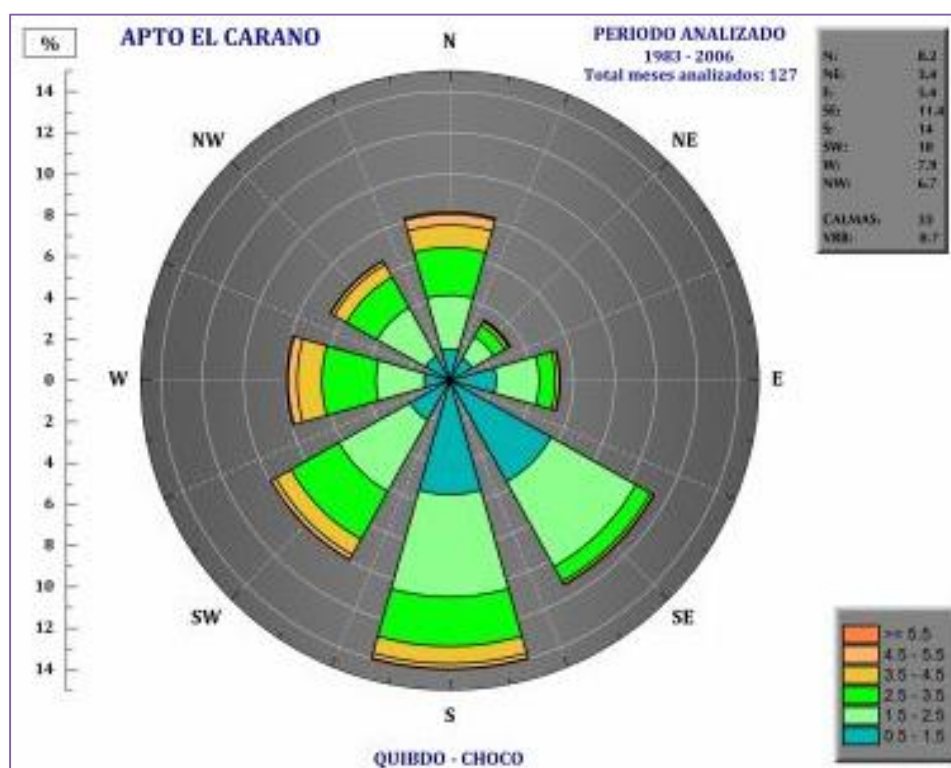
Figura 22. Velocidades de Viento Promedio Estación del Caraño



Fuente: Datos suministrados por el IDEAM y elaboración propia

La figura muestra velocidades promedio de viento máximas en la zona que no superan los 2,5 m/s, valor que está por debajo del mínimo requerido (5m/s) para el funcionamiento de aerogeneradores en sistemas eólicos y que clasifica a los vientos de esta subregión como de bajo potencial. En cuanto a la dirección de vientos predominante para esta subregión, la Figura 23 ilustra la correspondiente rosa de los vientos.

Figura 23. Rosa de los Vientos de Quibdó - Estación Meteorológica de El Caraño



Fuente: Atlas de Viento Interactivo – IDEAM, 2015

Una lectura de esta rosa de vientos indica que la dirección predominante del recurso eólico para la zona de Quibdó está asociada a los vientos del Sur con una participación del 14% del total de direcciones registradas para el periodo analizado (1983-2006), seguido de los vientos provenientes del SurEste con una participación cercana al 12, los cuales tienen mayor fuerza para los meses de febrero, julio y agosto.

Dado que para las otras subregiones no se dispone de información proveniente de estaciones meteorológicas, se hará uso de la información suministrada tanto por el Atlas Interactivo de Vientos desarrollado por el IDEAM –UPME para el 2015, como del Atlas Global del IRENA.

4.1 Potencialidad del Recurso Eólico – Atlas de Vientos Interactivo IDEAM- UPME 2015

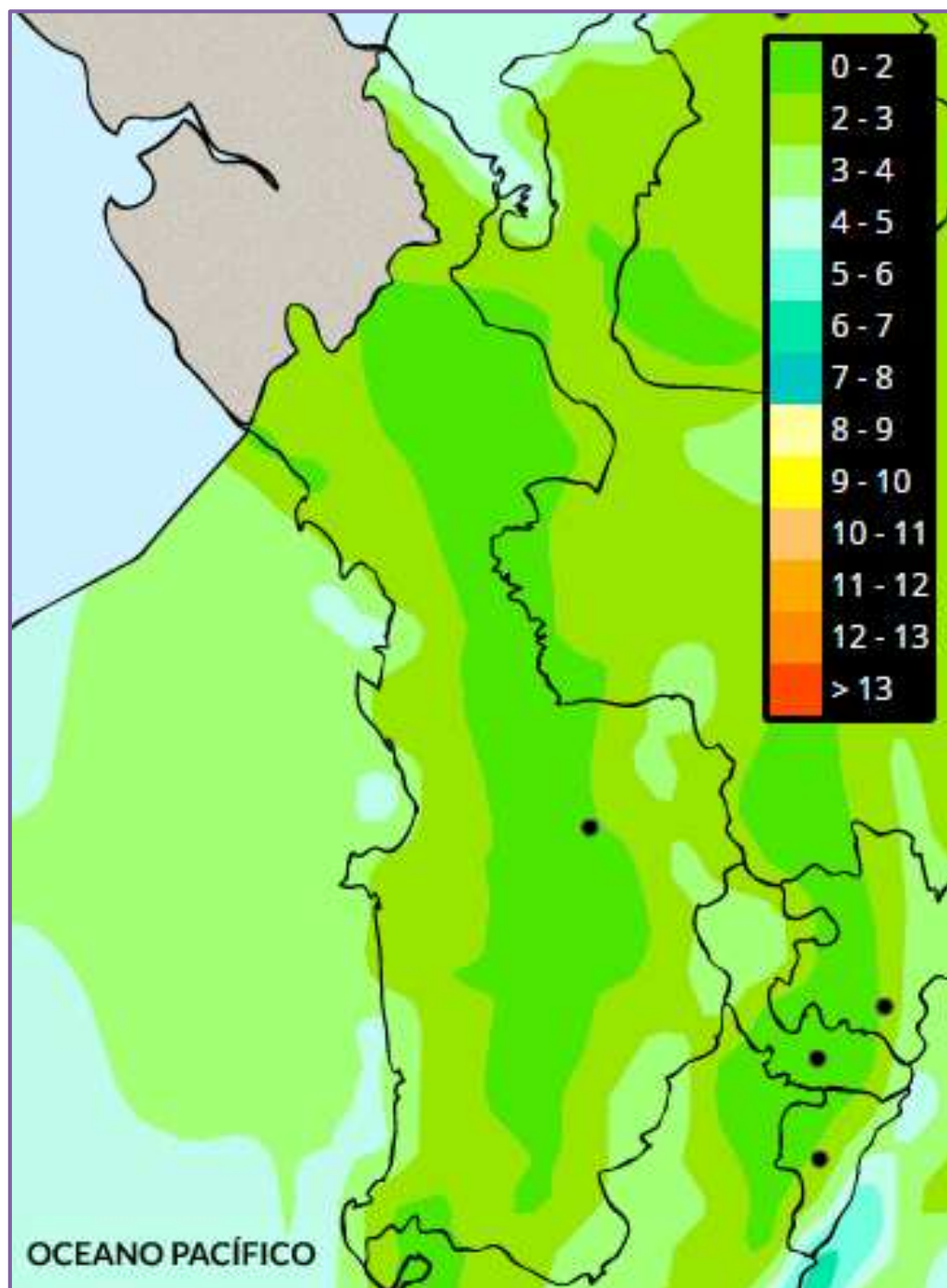
El Atlas de Viento desarrollado por el IDEAM y la UPME para el 2015, presenta una completa descripción del comportamiento del viento nacional. Dentro de la herramienta interactiva se puede realizar un análisis local para las diferentes subregiones, con la obtención de datos, tales como la velocidad promedio y máxima del viento, su dirección, frecuencia y variables asociadas al potencial eólico en ciclos mensuales y anuales. Para el caso del Departamento del Chocó, la herramienta interactiva permite describir el comportamiento del recurso para las cinco subregiones, tomando los datos de viento de la estación meteorológica disponible (El Caraño para la zona de Quibdó) y realizando modelación mediante el modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model) a una resolución espacial de 20km para la última década (IDEAM- Presentación Atlas de Viento, 2015). El acceso al atlas interactivo se realiza a través de la dirección: <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion>.

4.1.1 Velocidades de viento promedio por subregiones

El análisis de las velocidades de viento promedio disponibles para cada una de las subregiones del departamento se realiza con el propósito de identificar lugares en los cuales puede ser propicio el aprovechamiento del recurso eólico para la generación de energía mediante el uso de aerogeneradores. Este aprovechamiento del recurso puede realizarse mediante sistemas de aerogeneración en tierra (también conocidos como On-shore) o en mar adentro (sistemas Off - shore), dado que en algunas condiciones los sistemas off-shore son capaces de producir hasta 50% más de energía que sus pares en tierra, debido a que las velocidades de viento son ligeramente mayores en mar adentro. Aunque para el análisis del recurso se tendrán en cuenta principalmente las velocidades de viento en tierra, es importante considerar que mar adentro en el océano pacifico existen diversas tecnologías que podrían hacer uso del potencial de vientos y sus derivados, como es el potencial de la energía oceánica undimotriz.

En la Figura 24 se presenta el Mapa de la Velocidad Promedio Multianual del Viento en Superficie, obtenido del Atlas Interactivo de Viento y Potencial Eólico suministrado por el IDEAM y la UPME.

**Figura 24. Mapa de Velocidad de Viento Promedio Multianual sobre Superficie
Departamento del Chocó**



Fuente: Atlas de Viento Interactivo, IDEAM-UPME, 2015

Del mapa se observa que las menores velocidades de viento promedio sobre superficie on-shore se encuentran hacia el centro del departamento (0 – 2m/s), con una tendencia a su crecimiento hacia la zona costera (2 – 4m/s) en el pacífico norte y el oeste del pacífico sur, así como los mayores valores se presentan al norte del Darién (región de Acandía y Unguía) y al este de zona del San Juan (región de San Jose del Palmar) con valores entre (3 - 5m/s). Para el caso de extensiones off-shore las mayores velocidades de viento se encuentra en el norte del Darién (municipios de Acandía y Unguía) con velocidades promedio de viento sobre superficie que superan los 4 -5 m/s. A mayores altitudes existe una tendencia de crecimiento de la velocidad del viento, por lo que en la tabla 9 se presenta un consolidado por subregiones y municipios de la velocidad del viento promedio sobre superficie (10m) y a 50m de altura.

Tabla 9. Consolidado de Velocidades de Viento para las Subregiones del Chocó

SUBREGIÓN	MUNICIPIOS	Velocidad promedio multianual del viento (m/s)	
		Atlas de Viento IDEAM - UPME 2015	
		En superficie (10 m)	50 m
ZONA DEL ATRATO	Quibdó	0 – 2	0 – 4
	Bojayá	2 – 3	0 – 4
	Medio Atrato	0 – 2	0 – 4
	Rio Quito	0 – 2	0 – 4
	Atrato	0 – 2	0 – 4
	Lloró	0 – 2	0 – 4
	El Carmen y Bagadó	2 – 3	0 – 4
ZONA DEL DARIEN	Acandí	3 – 5	6 – 8
	Unguía	3 – 5	5 – 6
	Riosucio	0 – 2	0 – 4
	Carmen del Darién	0 – 2	0 – 4
ZONA DEL PACÍFICO NORTE	Nuquí	2 – 4	4 – 5
	Bahía Solano	2 – 4	4 – 5
	Juradó	2 – 3	0 – 4
ZONA DEL PACÍFICO SUR	Alto Baudó	0 – 2	0 – 4
	Medio Baudó	0 – 2	0 – 4
	Bajo Baudó	0 – 2	4 – 6
	Litoral de San Juan	2 – 3	0 – 5

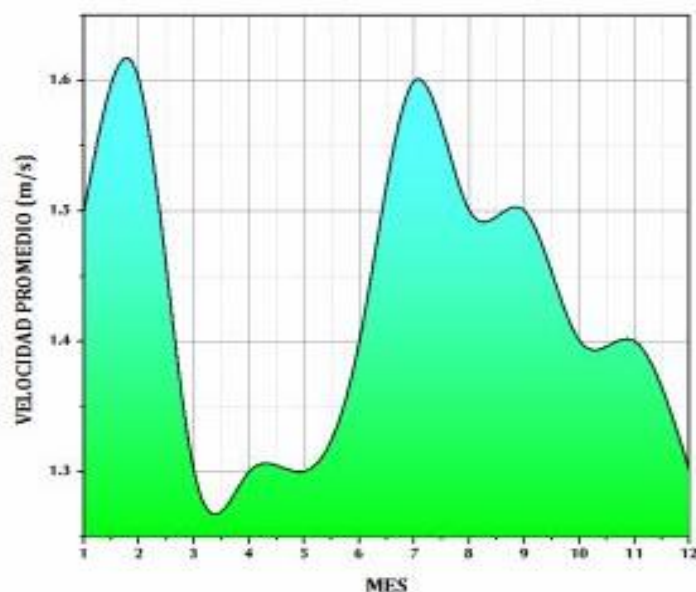
ZONA DEL SAN JUAN	Sipí	2 – 3	0 – 4
	Medio San Juan	0 – 2	0 – 4
	Novita	0 – 2	0 – 4
	San Jose del Palmar	3 – 4	4 – 6
	Condoto	0 – 2	0 – 4
	Istmina	0 – 2	0 – 4
	Rio Iró	0 – 2	0 – 4
	Unión Panamericana	0 – 2	0 – 4
	Tadó	0 – 2	0 – 4
	Cantón de San Pablo	0 – 2	0 – 4
	Cértogui	0 – 2	0 – 4

Fuente: Datos del Atlas de Viento Interactivo IDEAM-UPME, 2015 y Elaboración Propia

4.1.2 Análisis del Potencial de Vientos según Atlas Eólico IDEAM - UPME

Como se observa en la Tabla 9 del consolidado de velocidades promedio de vientos a 10m y a 50m, el potencial del recurso eólico está por debajo del mínimo sugerido para la generación de energía con aerogeneradores, el cual corresponde a 5m/s. Adicionalmente, el comportamiento de las velocidades promedio del viento es variable a lo largo del año y depende de variables atmosféricas como la temperatura y la presión, presentándose meses con velocidades muy bajas para viabilizar la generación de energía eólica, como se ilustra en la Figura 25.

Figura 25. Ciclo mensual de la velocidad promedio del viento en Quibdó



Fuente: Datos del Atlas de Viento Interactivo IDEAM-UPME, 2015

De esta manera la única subregión del Departamento en la cual el potencial del recurso eólico podría ser usado para la generación de energía es la correspondiente al Darién y de manera específica a los municipios de Acandí y Unguía. Para aquellos municipios con velocidades de viento entre 3 y 4 m/s se podrían realizar pruebas piloto, pero no se recomienda la formulación de proyectos productivos cuya fuente primaria este asociada de manera exclusiva al recurso eólico.

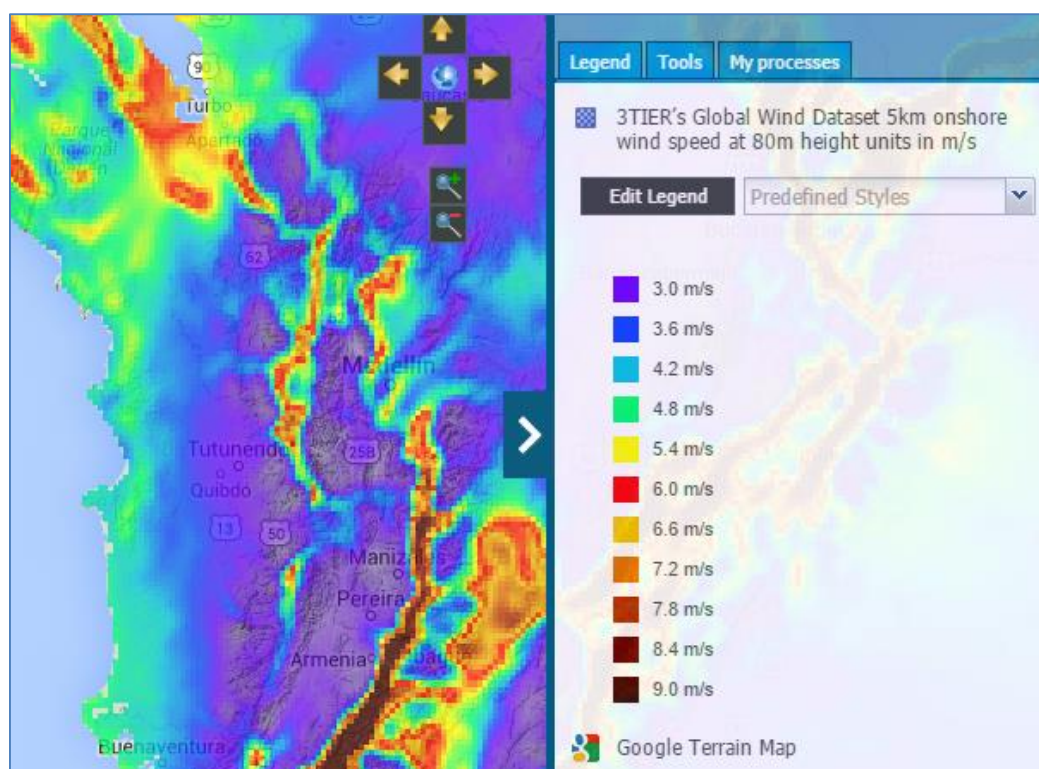
4.2 Potencialidad del Recurso Eólico – Atlas Global de IRENA

De manera similar a lo realizado con el Atlas Nacional, con el Atlas Global de IRENA, se tienen en cuenta las series de datos que suministran información sobre la potencialidad del recurso eólico. De acuerdo a la herramienta Wind Global, se tiene disponibilidad de la serie *3TIER's Global Wind Dataset 5km onshore wind speed at 80m height (m/s)*.

4.2.1 Velocidades de viento promedio por subregiones – Serie 3TIER Global Wind

La distribución de las velocidades promedio de viento para las distintas subregiones del departamento se presenta en el mapa de la serie 3TIER - Figura 26.

Figura 26. Velocidades promedio de vientos multianual a 80 m



Fuente: IRENA: Global Atlas / 3TIER Global Wind Dataset 5km onshore

Del mapa se observa que las menores velocidades de viento promedio sobre superficie on-shore se encuentran hacia el centro del departamento en color azul oscuro (0 – 3m/s), con un incremento de la velocidad promedio hacia la zona costera (3 – 5m/s) en el pacífico norte y el este del pacífico sur, así como los mayores valores se presentan al norte del Darien (región de Acandía y Unguía) con valores entre (5 - 6m/s). Para el caso de extensiones off-shore la serie de 3TIER a esta altura no suministra valores de velocidad promedio del viento multianual.

4.2.2 Análisis del Potencial de Vientos según Atlas Global IRENA – 3TIER

De acuerdo al mapa desarrollado por 3TIER en el Atlas Global del IRENA y presentado en la Figura 26, se confirma el bajo potencial del recurso eólico para la mayoría de las subregiones del Departamento del Chocó. Las mayores velocidades de viento se presentan hacia la costa pacífica y caribe, siendo esta última la de mayor potencial en la región norte del Darién, que abarca los municipios de Acandí y parte de Unguía.

Atendiendo al objeto del Atlas Global de IRENA en desarrollar los mapas del recurso eólico para identificar lugares con alto potencial de generación de energía mediante la implementación de aerogeneradores, se puede establecer que la única zona que podría ingresar en ese espectro es la del norte del Darién y particularmente la del municipio de Acandí donde se pueden llegar a superar las velocidades de viento mínimas sugeridas para la generación eólica (5m/s). Sin embargo y de acuerdo a la metodología de implementación de proyectos con energía eólica, se requiere realizar mediciones insitu de velocidad y dirección del viento en una ventana de tiempo considerable que permita determinar de manera más precisa el comportamiento y potencialidad de este recurso.

4.3 Resultados de la Potencialidad del Recurso Eólico

De acuerdo al análisis realizado para las diferentes subregiones del departamento en relación con la velocidad promedio y dirección del viento se concluye:

- La subregión con mayor potencial del recurso eólico corresponde a la zona del Darién, siendo Acandí y Unguía los municipios con mayores intensidades de velocidad de viento promedio y por lo tanto podrían ser objeto de estudio para analizar la viabilidad de implementación de sistemas de aerogeneración a pequeña escala.
- En el departamento no se dispone de una distribución de estaciones meteorológicas que suministren información del recurso eólico insitu. La mayoría de la información disponible es resultado del procesamiento de algoritmos de modelación del recurso eólico, los cuales si bien pueden suministrar valores aproximados de la potencialidad del recurso, están sujetos a incertidumbre. Es altamente recomendable que se promueva la instalación de estaciones meteorológicas por subregiones, lo cual permita hacer sostenible el proceso de identificación de la oferta energética de los recursos renovables y nos permita hacer comparaciones y retroalimentación a los modelos numéricos.
- La zona costera del Océano Pacífico que abarca el oeste de las subregiones de pacífico norte y pacífico sur presenta velocidades de viento que si bien no están por encima de los 5m/s, sus valores son cercanos a este umbral y por lo tanto no sería recomendable descartarlas para propósitos de estudio con proyectos piloto experimentales que utilicen aerogeneradores de baja potencia y bajas velocidades de arranque.

5. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA HÍDRICA

Colombia es una de las naciones que contienen la mayor riqueza hídrica en el mundo. Posee el privilegio de tener Ecosistemas Marino Costeros, distribuidos en el mar Caribe y en el océano Pacífico por lo que cerca del 44% del territorio nacional se asocia al recurso hídrico. Sin embargo, la oferta hídrica no es homogénea en cantidad ni calidad en ninguno de los 32 Departamentos que conforman el estado colombiano, siendo, el Chocó uno de los principales Departamentos con mayor aporte de agua a la red hídrica nacional y el único en tener territorio en ambos océanos que rodean a Colombia.

El sistema hidrográfico del departamento del Chocó es uno de los más abundantes e interesantes del país, debido principalmente a que es una de las regiones con mayor promedio de lluvias en el mundo, lo que junto con un clima tropical húmedo lo hace rico en biodiversidad y rodeado de ecosistemas estratégicos que lo transforman en el corredor ambiental, Eco – región del Chocó Biogeográfico con características ecológicas endémicas que lo convierten en zona de protección y conservación ecológica de interés nacional y mundial (CODECHOCO, 2015).

El departamento cuenta con los ríos Atrato, San Juan y Baudó, como sus principales, aunque también cuenta con otros ríos importantes como Andágueda, Bebará, Bebaramá, Bojayá, Docampadó, Domingodó, Munguidó, Opogodó, Quito, Salaquí, Sucio, entre otros. (Martínez, ChocoGeografía, 2012), lo cual refleja el alto potencial hidroenergético del cual está provisto el Chocó.

Como una primera aproximación para establecer el potencial hidroenergético en el departamento se toman como referencia los estudios realizados sobre el recurso hídrico por entidades regionales, así como se analiza el Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia de la UPME, 2015 como un referente importante para el análisis por las diferentes subregiones.

5.1 Descripción General del Recurso Hídrico

El territorio departamental del Chocó se encuentra dentro de la zona de calmas ecuatoriales caracterizada por alta pluviosidad, con registros superiores a los 9.000 mm de precipitación anual. La temperatura de sus valles y tierras bajas costaneras es superior a los 27°C, por lo general acompañada de alta humedad relativa (90%). La hidrografía del Departamento del Chocó

guarda una estrecha relación con la frágil economía de sus poblaciones, la cual depende de la minería que se da con mayor incidencia en los municipios de la región del San Juan y del Atrato, la explotación forestal, la pesca, la agricultura y la ganadería. La pesca es una de las mayores componentes de la economía del Departamento, que se desarrolla tanto marítima como fluvial, con un gran fortalecimiento de la pesca artesanal, dada la intensa explotación forestal que actualmente representa una amenaza para algunos ecosistemas del departamento (CODECHOCO 2015).

El departamento cuenta con una extensa infraestructura agrónoma, que supone la presencia del componente agrícola e hídrico como mecanismos de desarrollo y crecimiento económico, como se evidencia en la región de Urabá, famosa por la producción de banano, entre otras cosechas. La explotación forestal ha sido intensa y actualmente representa una amenaza para los ecosistemas del Departamento. El sistema vial del departamento del Chocó consta de dos carreteras que unen a Quibdó con Medellín y a Tadó con Pereira, debido a la escasa red vial terrestre, su principal sistema de comunicación es el fluvial, pues, la mayor parte de sus ríos son navegables por medianas y pequeñas embarcaciones (Gobernación de Chocó, 2015).

El principal sistema de comunicación del Departamento es fluvial, entre los que tiene escasa infraestructura terrestre hacia su interior y hacia los demás departamentos; también existen 7 pistas de aterrizaje que permiten el acceso aéreo, así como cuenta con dos puertos, permitiendo la comunicación vía marítima, ubicados uno en el Mar Caribe (Acandí) y otro en el Océano Pacífico (Bahía Solano). En el departamento existe una cultura del río, consistente en el asentamiento de gran parte de su comunidad en rondas hídricas, con la finalidad de comunicarse con comunidades cercanas (QUESADA, Zoraida; MARQUEZ, Edwin; MENA Juan, *Diagnóstico del Recurso Hídrico en el Departamento del Chocó*).

El Departamento del Chocó está conformado por tres grandes cuencas: los ríos Atrato, San Juan y Baudó, cubierto en su mayor parte por selva ecuatorial. En este marco geográfico se distinguen varias unidades fisiográficas. En la Tabla 10 se identifican las principales cuencas y ríos del Departamento.

Tabla 10. Sistema Hídrico del Departamento del Chocó

Cuencas Principales	Atrato	San Juan	Baudó	Directo al Mar
Subcuencas	Cabí , Quito, Andágueda, Sucio, salaquí, Bebará, Bebaramá, Munguidó, Tanela	Condoto, Tamaná, Sipí	Pepé, Torreidó, Antadó, Misará, Nauca, Apartadó, Dubasa	Valle, Acandí, Arquití, Tolo, Nuquí
Microcuencas	La Yesca, Caraño, DoñaJosefa	San Pablo, Los Negros, Cubis, Santa Catalina, La Honda	Maiz Blanco, Coredó	Jella, Capurganá, La Batatilla, Seca, Ancachí

Fuente: Elaboración propia y datos de CODECHOCO

A pesar de haberse formulado y adoptado instrumentos de planificación urbana como los 30 Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOTs), Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), 16 Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas (POMCAs) el seguimiento y control realizado por la Corporación para el Desarrollo del Chocó - CODECHOCÓ, ha mostrado que en las poblaciones del departamento se siguen presentando problemas como disposición inadecuada de residuos sólidos en ríos y quebradas, ineficiente planificación urbana, déficit de la oferta de servicios públicos y saneamiento básico (6 empresas en los municipios de Quibdó, Condoto, Istmina, Carmen de Atrato, Acandí y Bahía Solano (QUESADA, Zoraida; MARQUEZ, Edwin; MENA Juan, *Diagnóstico del Recurso Hídrico en el Departamento del Chocó*).

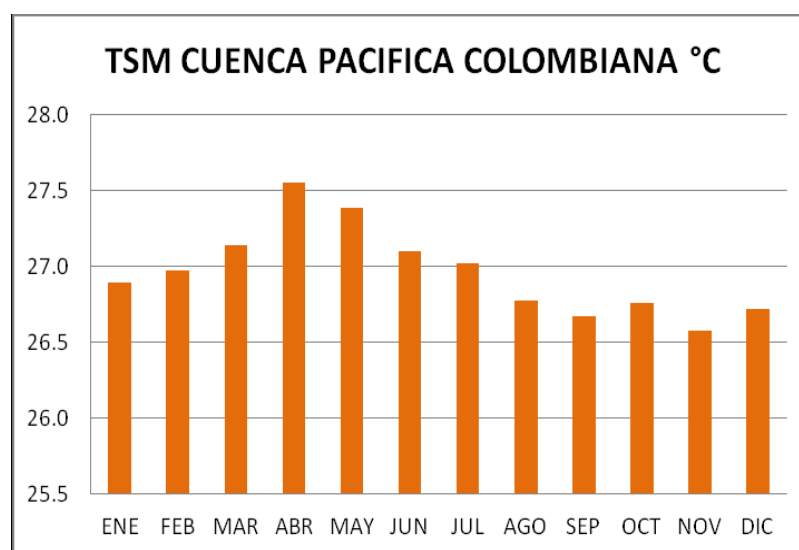
5.1.1 Recurso Hídrico - Mar Caribe

El Departamento del Chocó cuenta con una porción de su territorio sobre el Mar Caribe en el Océano Atlántico, exactamente al norte del departamento en la subregión del Darién, municipios de Acandí y Unguía en el Golfo de Urabá. La región se caracteriza por patrones de lluvia marcadamente estacionales y alteraciones fortuitas de gran escala en forma de tormentas tropicales. La parte oriental del Caribe tiende a ser de clima tropical seco, en contraste con el Caribe occidental, que tiende a ser tropical húmedo con grandes aportes de sedimentos fluviales (CIOH).

5.1.2 Recurso Hídrico - Mar Pacífico

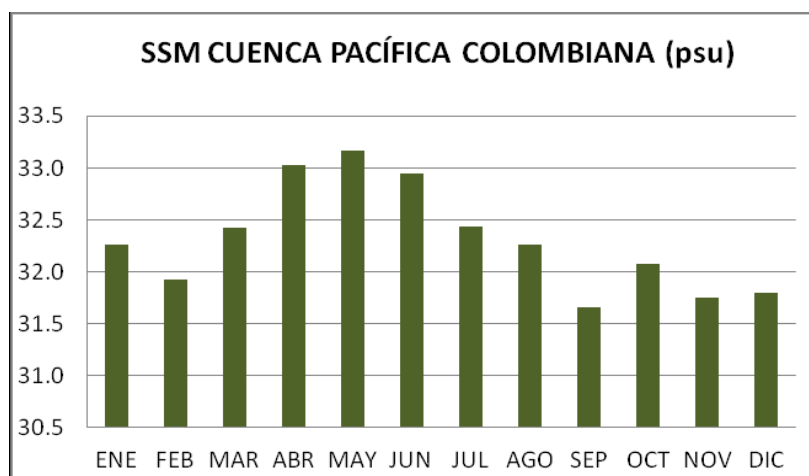
El Departamento del Chocó limita al occidente con el Océano Pacífico, que posee una gran biodiversidad y reservas ecológicas de vital importancia para preservar cientos de especies. Se tiene vecindad con éste por toda la costa pacífica, específicamente por las subregiones Pacífico Norte y Pacífico Sur. La Temperatura Superficial del Mar (TSM) se presenta en la Figura 27, donde se observa la variación de las temperaturas a lo largo del año, teniendo como mínimas el último trimestre y como máximas en el segundo trimestre. La mayor temperatura superficial del mar en la cuenca pacífica colombiana se presenta en el mes de Abril con un valor promedio de 27.6 °C, así como la menor temperatura se registra para el mes de Noviembre con un valor de 26. °C.

Figura 27. Promedio de Temperatura Superficial del Océano Pacífico



Fuente. (IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2015)

La descripción del comportamiento de la Salinidad Superficial del Mar (SSM) se presenta en la Figura 28. Los meses con valores máximos en promedio corresponden al periodo marzo-agosto; siendo el mes de mayo aquel que presenta el valor máximo durante el año, con 33.2 psu. A partir de septiembre la salinidad empieza a disminuir hasta diciembre, mostrando un mínimo de 31.7 en septiembre.

Figura 28. Promedio multianual de Salinidad Superficial del Mar del Océano Pacífico

Fuente. (IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, 2015)

El comportamiento de la SSM muestra una diferencia entre aguas costeras de menor salinidad y las aguas oceánicas con salinidad más alta; esto se relaciona con las precipitaciones y el cambio de intensidad de las contribuciones de las desembocaduras de los ríos.

5.2 Potencialidad del Recurso Hídrico en Chocó – Atlas Hidroenergético de Colombia

El atlas potencial hidroenergético de Colombia 2015 es fruto de un trabajo multidisciplinario de profesionales que aplicaron las tecnologías recientes en SIG, destinadas al manejo del recurso hídrico y enfocado a generar energía de filo de agua. Se constituye como una herramienta técnica, cuyo fin es proveer el conocimiento y la experiencia para la valorización de sitios con potencial hidroeléctrico, por lo que el atlas resulta ser una guía que a partir de los principios de generación hidroeléctrica, facilita la identificación de proyectos de filo de agua, base para sugerir la viabilidad técnica de un proyecto hidroeléctrico, considerando aspectos que son fundamentales cuando se realizan evaluaciones técnicas de este nivel, como son los aspectos ambientales y sociales vinculados al desarrollo social (Prólogo Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME, IDEAM, IGAC, COLCIENCIAS, 2015).

Por ello se estima que a partir del atlas se deben desarrollar posteriormente etapas del proceso de identificación para el aprovechamiento energético, su interrelación con los múltiples usos del recurso e iniciar inversiones en generación hidroeléctrica para cubrir el crecimiento de la demanda de energía a corto, mediano y largo plazo (MACHADO, Luis Eduardo, 2015). Es por esta razón principalmente que desde el estudio de Oferta Energética del PERS Chocó y con el fin de realizar una planificación adecuada del abastecimiento energético en zonas no interconectadas se considera el Atlas como una fuente importante de información, dado el detalle que presenta sobre el alto recurso hídrico disponible en las distintas subregiones del departamento.

El potencial hidroenergético, presentado en el atlas, se calcula a partir de la caída hidráulica, utilizando cartografía del IGAC a escala 1:100.000, y del caudal, mediante las metodologías que se describen en los capítulos 2 y 3 del atlas. Los estimativos realizados no requirieron de información levantada en campo, por lo que es recomendable que para el desarrollo de futuros proyectos en el departamento fruto de este análisis se realicen las respectivas mediciones del aforo correspondiente.

5.2.1 Caída Hidráulica para la región del Pacífico

La caída hidráulica es la diferencia de cota entre el punto de captación del agua y las turbinas; a mayor diferencia de cota, mayor potencia hidráulica disponible. Cada uno de los ríos analizados de la red de drenaje del atlas se estudió en tramos de 30 m, para que esta longitud fuera consistente con el modelo digital del terreno (MDT) disponible para todo el país. Para el cálculo de la caída hidráulica en cada uno de los tramos estudiados se asumió que la longitud horizontal (L_c), entre la captación y las turbinas, corresponde a valores de 0,2 km, 1 km y 5 km (Capítulo 4 - Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME, IDEAM, IGAC, COLCIENCIAS, 2015).

En la Tabla 11 se presentan los valores medios y máximos de caídas hidráulicas para el área hidrográfica del pacífico a las diferentes longitudes de conducción L_c .

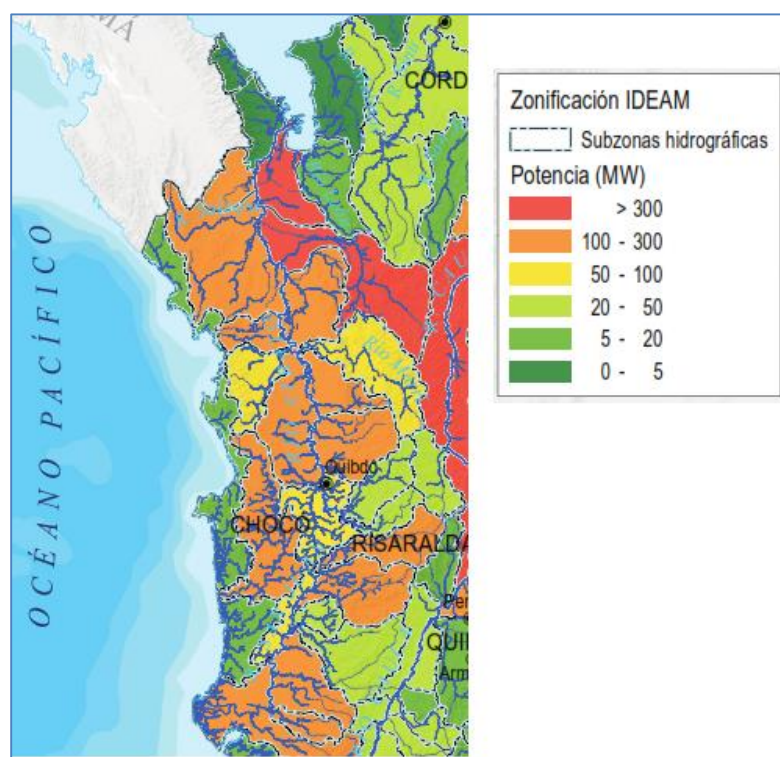
Tabla 11. Caídas hidráulicas para la región pacífico

Caídas Hidráulicas Área Hidrográfica Pacífico (metros)					
Longitud Horizontal de Conducción Lc	0,2 km		1km		5km
Tipo de Caida	Media	Máxima	Media	Máxima	Media
Caída Hidráulica	18	531	79	806	257

Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia 2015 y elaboración propia

Una lectura de la tabla 11 permite concluir que la mayor capacidad de generación por parte de centrales hidroléctricas en el pacífico estarían en el escenario de una longitud horizontal de conducción de 1km donde la diferencia de cota media entre el punto de captación del agua y las turbinas es de 79 m y la máxima cota es del 806m. El análisis por subzona hidrográfica para mapeo selecciona únicamente los valores máximos de potencial teórico aprovechable para las longitudes horizontales de conducción descritas y se presenta en las Figuras 29 y 30:

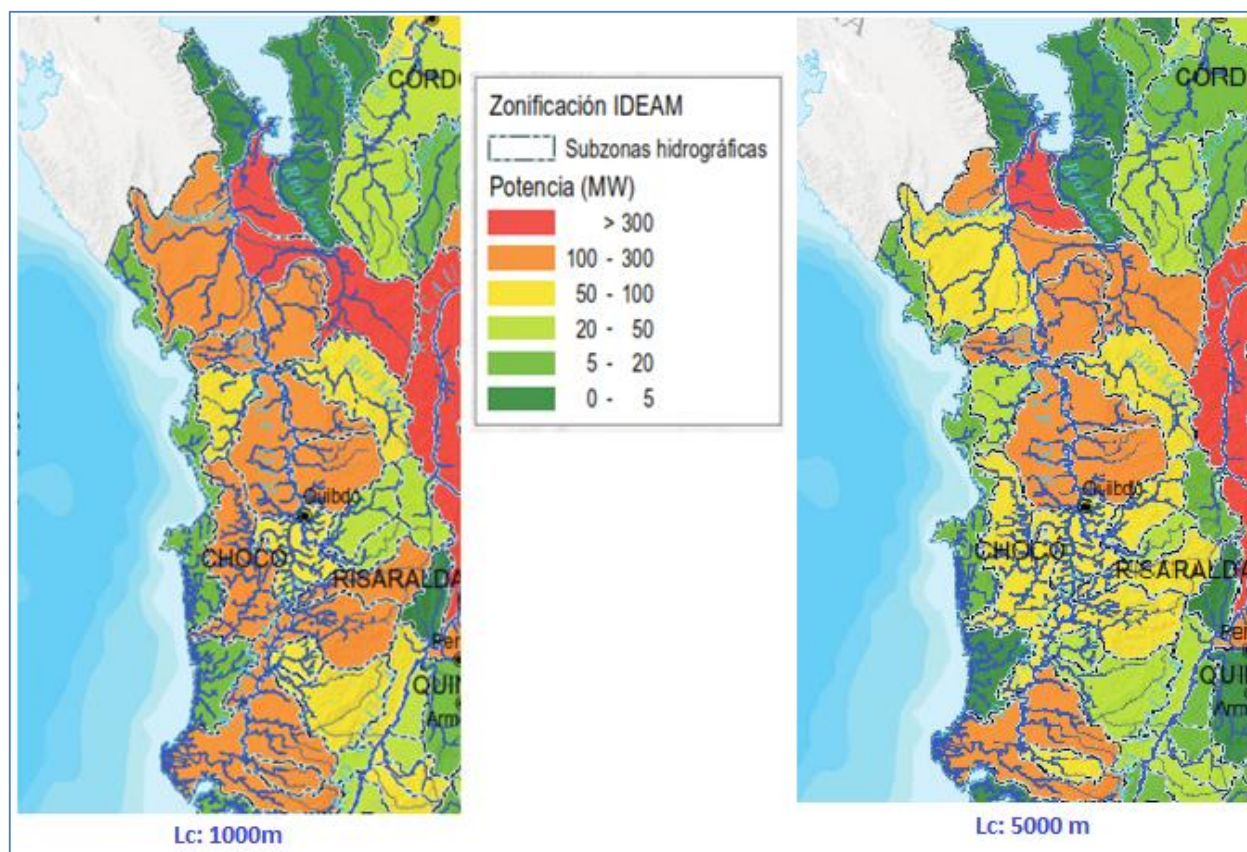
5.2.2 Potencial Hidroenergético para el Chocó – Lc: 200 metros

Figura 29. Potencial Hidroenergético en el Chocó - Lc: 200m

Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME. 2015

5.2.3 Potencial Hidroenergético para el Chocó – Lc: 1000 y 5000 metros

Figura 30. Potencial Hidroenergético en el Chocó - Lc: 1000m y Lc: 5000m



Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME. 2015

Un análisis de los mapas presentados en las Figuras 29 y 30 permite establecer que los mayores potenciales hidroenergéticos se presentan para longitudes horizontales de conducción de 200 m y 1000m, donde existen altas similitudes entre las convenciones de colores asociados a los rangos de potencia máxima que podría ser instalada a partir de centrales de filo de agua. El máximo potencial (color fucsia oscuro >300Mw) corresponde a una parte de la Subregion del Darién, municipios de Riosucio y Carmen del Darién. Otra gran parte de la zonificación en color zapote cubre al departamento desde la subregión del Darién hasta la subregión del San Juan, mostrando un alto potencial hidroenergético entre los 100 y 300 Mw. Las regiones con menor potencial están ubicadas hacia el este del pacífico norte y pacífico sur, así como al norte del Darién, sin embargo tendrían capacidad para el desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas de hasta 5Mw.

5.2.4 Subzonas hidrográficas con mayor potencial hidroenergético

En la tabla 12 se enuncian las principales subzonas hidrográficas con mayor potencial hidroenergético para el departamento, así como el potencial de capacidad en kW disponible para los ríos más relevantes.

Tabla 12. Subzonas hidrográficas con mayor potencial hidroenergético a diferentes Lc

Lc: 200m		Lc: 1000m		Lc: 5000m	
Subzona Hidrográfica	Potencia (kW)	Subzona Hidrográfica	Potencia (kW)	Subzona Hidrográfica	Potencia (kW)
Rio Medio San Juan	95.825	Rio Medio San Juan	128.473	Rio Medio San Juan	141.996
Rios Bajo San Juan y Calima	296.028	Rios Bajo San Juan y Calima	296.028	Rio Alto San Juan	111.722
Rio Baudó	148.888				

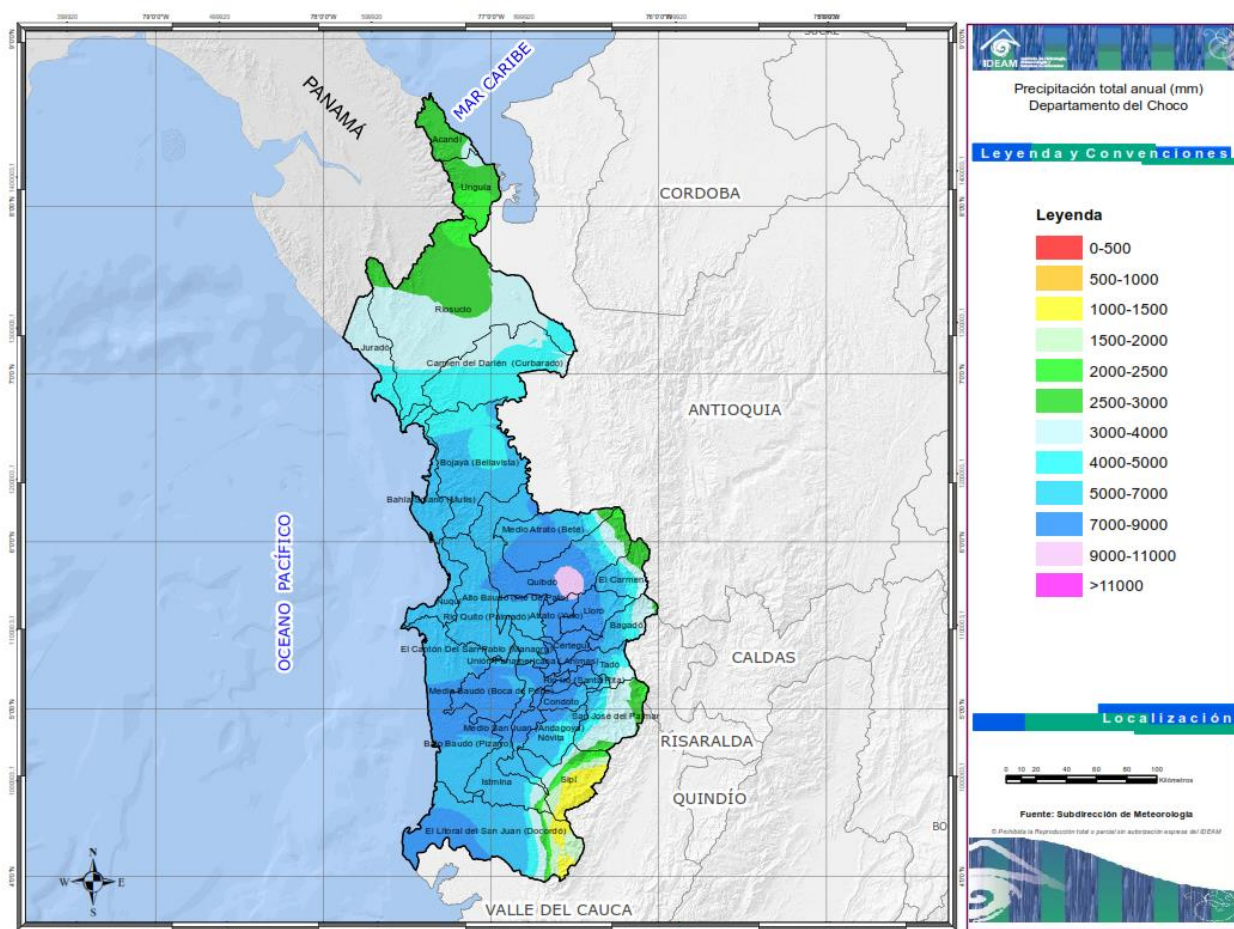
Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, UPME. 2015 y elaboración propia

Sin embargo, es posible tener un mayor detalle del potencial hidroenergético del departamento aplicando la metodología de zonificación propuesta en este documento para el análisis solar y eólico, mediante el análisis por subregiones, así como considerando proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas – PCH's- previamente instalados en el departamento o que tienen estudio de prefactibilidad aprobados pero que no han sido desarrollados.

5.3 Subregión Zona del Atrato

5.3.1 Precipitación

Como se puede observar en la Precipitación Anual Media, Números de Días con Lluvia, Temperatura Media, y Clasificación Climática del Departamento del Chocó suministrados por el IDEAM, Chocó es el Departamento con mayores lluvias del país. Como se observa en la Figura 31, en gran parte del territorio se presenta una precipitación anual entre 5000-7000 mm sobre la cuenca de Río Atrato, entre 7000-9000 mm alrededor de Quibdó, y por encima de los 9000 mm en Quibdó, en donde se registran las mayores lluvias. También se evidencia una precipitación anual entre 2000-4000 mm sobre la región limítrofe con el Departamento de Antioquia.

Figura 31. Precipitación total anual (mm) - Departamento del Chocó

Fuente: Atlas Interactivo Climatológico de Colombia. IDEAM, 2015

Adicionalmente se cuenta con un promedio entre 200 y 300 días con lluvia sobre la cuenta del Río Atrato (Ver Figura 32), otorgándole la categoría de Cálido Súper Húmedo en gran parte de la región, debido a su temperatura media anual entre 26-28°C sobre la cuenta; y sus 20-24°C sobre la región montañosa limítrofe con los departamentos de Antioquia y Risaralda, le otorgan la clasificación correspondiente a Templado Súper Húmedo.

Numero de días con lluvia total anual
Departamento del Chocó

Legenda y Convenciones

Legenda

0 - 50
50 - 100
100 - 150
150 - 200
200 - 250
250 - 300
300 - 350

Localización

Fuente: Subdirección de Meteorología

© Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización expresa del IDEAM

5.3.2 Descripción del recurso hídrico

Esta subregión está conformada por una diversidad en su recurso hídrico, compuesto por ríos, aguas superficiales y quebradas, como se detallan en las tablas 13 y 14.

5.3.2.1 Ríos de la Subregión del Atrato

Tabla 13. Ríos de la subregión Atrato

Ríos Identificados en IGAC			
Atrato	Tumutumbudó	Surudo	Azul
San Pablo	Sadu	Buchado	Andegueda
Quito	Chuigo	Bojayá	Carmen
Tanguí	Tanandó	Cuia	EL Ciervo
Chisué	bebaramá	Auro	Pogüe
Beté	naurita	Negamja	Tagachí
Salado	nemotá	Divaro	Bebará
Icho	Puné	Oto	Napicito
Munguidó	Amé	Tutunendo	Pichigora
Guarandó	Tomendó	Paimadó	Chicué
Grande	Napipí	Mumbaradó	Pasajera
Cepá	Chaquimendo	Necodá	Cocandó
Mumbi	Purré	Mojaudó	

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.3.2.2 Cuerpos de Agua superficiales

Tabla 14. Cuerpos de agua superficial del Atrato

Tipo	Nombre		
Ciénaga	Muriel	Ipurrú	La Honda
	Murielito	Achúarra	Santa Barbara
	Napipicito	Ogodó	Canturrón
	Yumaral	Quesada	La Grande
	Bojayá	Cumbí	
	La Corona	Tumarado	

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.3.3 Proyectos Hidroeléctricos en la Subregión Atrato

5.3.4.1 Repotenciación de Centrales Hidroeléctricas

Tabla 15. Listado de proyectos de repotenciación en subregión Atrato

Tipo	Nombre	Relación	Encargados
Documento Nacional	Plan de Desarrollo Municipal de Lloró 2012-2015	Repotenciación y puesta en operación de la PCH de La Vuelta.	Alcaldía de Lloró, UPME

Fuente. Adaptación del Autor al Informe de Recolección Y Revisión de Información Secundaria Sobre Oferta Energética en el Departamento de Chocó (PERS Chocó, 2015)

5.3.4.2 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Tabla 16. Listado de proyectos de PCHs en archivo para la subregión Atrato

Tipo	Nombre de Proyecto Hidroeléctrico	Fuente Hídrica	Subregión	Capacidad
Central Hidroeléctrica	El Siete I	Río Atrato	Atrato	75 MW
	El Siete II	Río Atrato	Atrato	85 MW
	El Dieciocho	Río Atrato	Atrato	158 MW
	Lloró	Río Andagueda	Atrato	153 MW
	Atrato	Río Atrato	Atrato	1220 MW
	Tres Ríos		Atrato	246 MW

Fuente. Adaptación del Autor a la Investigación en Pequeñas Centrales en Colombia realizada en 2012 por M. Sc. Jesús Ernesto Torres Quintero, y complementada con información de Chocó 7 días, Planes de Desarrollo Nacional 2010-2014, y los proyectos descritos en el Plan Energético Nacional al 2025.

5.4 Subregión Zona del Darién

5.4.1 Precipitación

De acuerdo a los mapas de Precipitación Anual Media, Números de Días con Lluvia, Temperatura Media y Clasificación Climática del Departamento del Chocó suministrados por el IDEAM, para la subregión se puede observar que se cuenta con una pequeña proporción propensa a lluvias, obteniéndose en gran parte del territorio una precipitación anual entre 2000-3000 mm, sobre las cuencas de los Ríos Unguía y Acandí, al norte de Urabá; así como se observa una precipitación anual entre 3000-5000 mm sobre la región limítrofe con el Departamento de Antioquia, al noreste de la región. A medida que se avanza hacia el sur, la precipitación aumenta a un rango entre los 3000-5000 mm sobre la cuenca del Río Sucio y el Municipio de Carmen del Darién.

Se cuenta con un promedio entre 100 y 150 días con lluvia sobre la región de Urabá, otorgándole la categoría de clima Cálido Semi Húmedo, debido a su temperatura media anual entre 24 - 26°C. Sobre la cuenca de Río Sucio y los municipios de Carmen del Darién y Belén de Bajirá, se dispone en promedio entre 150 y 200 días con lluvia y su temperatura media anual oscila entre 26 - 28°C, que le otorgan la clasificación correspondiente de Cálido Húmedo.

5.4.2 Descripción del recurso hídrico

La baja densidad de ocupación del territorio y la tecnología tradicional implementada en la actividad principal (la agricultura) determina la subutilización del potencial significativo de recursos que posee la región. Entre los recursos naturales de mayor importancia se destacan los suelos, que alcanzan las 548.600 hectáreas aptas para cultivos agropecuarios y los recursos forestales, que tienen un potencial estimado en 80 millones de metros cúbicos de madera, en un área que corresponde al 36% del territorio (OAS, 2014)

Por lo anterior, el principal destino del agua es para crecimiento y fortalecimiento de la agricultura, y en menor cantidad para el suministro de agua potable, claramente debido a la baja densidad poblacional. Para esta subregión la diversidad del recurso hídrico, se presenta en las tablas 17 y 18 para los ríos, aguas superficiales y quebradas, como se detallan a continuación:

5.4.2.1 Ríos de la Subregión del Darién

Tabla 17. Ríos de la subregión del Darién

Ríos Identificados en IGAC			
Ipurdú	Bajirá	Cuque	Sapallal
Acandiseco	Sucio	Tigre	Salaquicito
Concólera	Gramde	Unguía	Arena
Astí	Curvaradó	Arquía	Ciego
Guatí	Remachito	Cacarica	Tecuarra
Arquití	Apartadó	Tilupo	Quiparadó
Neca	Rojero	Peye	Uradá
Tolo	Las Pavas	Batatillo	Chocó
Atrato	Piavara	Perrancho	Antadia
Tanela	Truandó	Perranchito	Domingodó
Nati	Nercúa	Tamboral	Chimirindó
Tanolita	Salaquí	La Parecida	Remacho
Cutí	Chintadó	Tumaradocito	El Guineo

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.4.2.2 Cuerpos de Agua superficial

Tabla 18. Cuerpos de agua superficial en el Darién

Tipo	Nombre		
Ciénaga	Marriaga	Grande	San Alejandro
	El Limón	Carvajal	De Mate
	Crega	Pedega	El Burro
	Los Hornos	El Tigre	De Corrales
	Unguía	Del Lobo	Tapada
	Perancho	Las Mujeres	De Los Medios
	La Honda	De reyes	De Montaña
	La Rica	Solorza	

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.4.3 Proyectos Hidroeléctricos en la subregión Darién

Los proyectos hidroeléctricos desarrollados en esta subregión se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Listado de proyectos de PCH en archivo para la subregión del Darién

Tipo	Nombre de Proyecto Hidroeléctrico	Fuente Hídrica	Subregión	Capacidad
PCH	Acandí	Río Natí	Darién	2000 kW
	Unguía	Río Cuti	Darién	1000 kW
	Santa Rita	Río Guineo	Darién	350 kW

Fuente. Adaptación del Autor a la Investigación en Pequeñas Centrales en Colombia realizada en 2012 por M. Sc. Jesús Ernesto Torres Quintero, y complementada con información de Chocó 7 días, Planes de Desarrollo Nacional 2010-2014, y los proyectos descritos en el Plan Energético Nacional al 2025.

5.5 Subregión Zona del Pacífico Norte

5.5.1 Precipitación

Con base en los mapas trabajados previamente sobre la Precipitación Anual Media, Números de Días con Lluvia, Temperatura Media y Clasificación Climática del Departamento del Chocó suministrados por el IDEAM, se observa que se dispone de una mediana proporción propensa a lluvias entre los 3000 y los 7000 mm, aumentando la precipitación desde el norte hacia el sur, es decir desde la frontera con Panamá pasando por los municipios de Juradó, Bahía Solano y Nuquí y de esta manera obteniéndose la mayor precipitación en las zonas no costeras de la región del Bajo Baudó. Lo anterior se debe a que es la región que cuenta con menor cantidad de ríos y quebradas que aporten vapor húmedo al aire para la precipitación. El número de días con lluvia describe un comportamiento similar a lo largo de la subregión, aumentando entre 150 y 250 desde el Norte de Juradó hasta el sur de Nuquí, con temperaturas decrecientes desde los 28°C hasta los 22°C. Siguiendo la trayectoria descrita previamente, se define la clasificación climática

desde Cálido Húmedo, Cálido Super Húmedo y Templado Semi Árido de Norte a Sur respectivamente en la subregión.

5.5.2 Descripción del recurso hídrico

La región se caracteriza por ser una zona pesquera, principalmente fluvial ya que el transporte se da por los ríos. Sin embargo, la pesca artesanal y marítima, son en gran parte la economía de la zona y del uso del agua, considerando la ausencia de servicios públicos y sanitarios. (Centro Virtual Cervantes, 1950). Por otra parte, se han hecho múltiples esfuerzos en recuperar la pesca artesanal, para lo cual se ha creado una zona exclusiva de pesca tipo artesanal y un nodo llamado GIC-PA (Grupo Interinstitucional y Comunitario de Pesca Artesanal), debido a que en los últimos años se había mantenido en letargo el uso de las prácticas tradicionales de pesca.

Para esta subregión la diversidad del recurso hídrico, se presenta en las tablas 20 y 21, para los ríos y quebradas.

5.5.2.1 Ríos de la Subregión del Pacífico Norte

Tabla 200. Ríos de la subregión del Pacífico Norte

Ríos Identificados en IGAC		
Juradó	Valle	Coquí
Putumá	Boroboro	Arusí
Cunché	Jampavado	Arusicito
Cupía	Huaca	Joví
Tribuga	Jurubida	Nuquí
Partadó	Chadó	Panguí

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.5.2.2 Quebradas de la Subregión del Pacífico Norte

Tabla 21. Quebradas de la subregión Pacífico Norte

Quebradas Identificadas en IGAC	
Trueno	Anija
Caña	Nimiquía
Molaudó	Juna
El bando	Bravo
Macana	Mutatá
Tundo	

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.5.3 Proyectos Hidroeléctricos en la subregión Pacífico Norte

Los proyectos hidroeléctricos desarrollados en esta subregión se presentan en la tabla 22.

Tabla 22. Listado de proyectos de PCH en la subregión Pacífico Norte

Tipo	Nombre de Proyecto Hidroeléctrico	Fuente Hídrica	Subregión	Capacidad
PCH	Mutatá	Río Chigorodó	Pacífico Norte	-
	Juradó	Río Partadó	Pacífico Norte	1000 kW
	Cúpica	Río Cúpica	Pacífico Norte	300 kW

Fuente. Adaptación del Autor a la Investigación en Pequeñas Centrales en Colombia realizada en 2012 por M. Sc. Jesús Ernesto Torres Quintero, y complementada con información de Chocó 7 días, Planes de Desarrollo Nacional 2010-2014, y los proyectos descritos en el Plan Energético Nacional al 2025.

5.6 Subregión Zona del Pacífico Sur

5.6.1 Precipitación

La subregión del Pacífico Sur cuenta con la mayor variedad de las componentes mencionadas junto con la subregión de San Juan. Se puede apreciar en los Mapas de Precipitación Anual Media, Números de Días con Lluvia, Temperatura Media y Clasificación Climática que la subregión cuenta con un comportamiento climático variado, para el cual se describe una trayectoria de norte a sureste en forma de L, pasando por la costa pacífica y el litoral del Río San Juan, hasta el límite departamental con el Valle del Cauca.

Bajo esa misma ruta, la subregión describe una disminución en la precipitación desde los 7000 hasta los 1000 mm, presentándose los cambios más representativos en el extremo sureste de la región, sobre la frontera departamental al oriente con el Valle del Cauca debido a las estructuras montañosas allí presentes. Las temperaturas son decrecientes en la ruta descrita variando desde los 28°C a los 12°C y para las clasificaciones climáticas se presenta una transición en el siguiente orden: Cálido Súper Húmedo, Cálido Húmedo, Cálido Semi Húmedo, Templado Semi Árido, Templado Semi Húmedo, Templado Húmedo, y Frío Húmedo sobre la frontera departamental.

Se presenta un decrecimiento similar del número de días lluviosos del año, entre los 250 y los 100 mm, exceptuando un notable altibajo sobre el litoral del Río San Juan que presenta una precipitación media entre los 250 y 300 mm anualmente, esto se debe en gran medida al gran caudal de este río.

5.6.2 Descripción del Recurso Hídrico

Para esta subregión la diversidad del recurso hídrico se presenta en las tablas 23 y 24 para los ríos y quebradas respectivamente:

5.6.2.1 Ríos de la Subregión del Pacífico Sur

Tabla 23. Ríos de la subregión Pacífico Sur

Ríos Identificados en IGAC			
Baudó	Nauca	Piliza	Bichichi
Condotico	Evarí	Apartadó	Hijúa
Condoto	Pavasa	Ampora	Pichima
Chori	Catripe	Abaquíá	Togoramá
Miácora	San Juan	Berreberre	Salado
Imamaro	Dubasa	Usagará	Orpúa
Jengaró	Tocasina	Jurataga	Taparal
Tumandó	Catrú	Dotenedo	Copomá
Urudó	Misarán	Siviru	Cucharita
Cugucho	Quiparadó	Ordó	Munguidó
Hijna	Purricha	Siguirisúa	Aguaciara
Capiro	Purrichita	Docampadó	Cucurupí
			Guapágara

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.5.2.2 Quebradas de la Subregión del Pacífico Sur

Tabla 24. Quebradas de la Subregión Pacífico Sur

Quebradas Identificadas en IGAC			
Charo	El Pie	Naíde	Taparal
El salto	Purrinchita	Lana	Uná
Condoto	Torreidó	Teteral	Simicama
Joniorreo	Quera	Jemia	Pichindé
Tripticay	Sibida	Chirichin	San José
Pavarandó	Virudó	Docordó	Pantano
Aguaclara	Orochocó	Medio Grande	La Troja
Condota	Señor	Caimito	La Trojita
Pavarandó	Dotenera	Santa Rita	Tapurdú

La sierpe	Brava	Reyes	Venadito
Cusacusa	Osaba	Reyecitos	Andeudó
Iruto	Quensura	Curumiado	Janga Piragua
Marido	Almendro	Botapunto	Chorro
Urudú	Curundú	Botapuro	Cascajo
Acosó	Vírica	Pángala	El Bagre
Baudocito	Tordú	Sandocito	La Brea
Tadocito	Aguasucia	Pital	Betequí
Sandó	Beriguado		

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.7 Subregión San Juan

5.7.1 Precipitación

La subregión de San Juan tiende a ser muy uniforme en su distribución climática, exceptuando la frontera con los Departamentos de Risaralda y Valle del Cauca, en dónde se notan cambios abruptos debido a la proximidad de las regiones montañosas. Como se evidencia en la Precipitación Anual Media, Números de Días con Lluvia, Temperatura Media, y Clasificación Climática del Departamento del Chocó del IDEAM, se observa que la subregión cuenta con una alta proporción propensa a lluvias, obteniéndose en gran parte del territorio una precipitación anual variable de occidente a oriente entre los 7000-4000 mm sobre la cuenca del Río San Juan, exceptuando en el límite departamental con Risaralda que presenta una precipitación entre los 4000-2500 mm, y el límite departamental con el Valle del Cauca que presenta las menores lluvias entre los 2500 y los 1000 mm de precipitación anual. Se observa el mismo comportamiento para los días lluviosos del año entre 250 y 100, así como para la disminución de temperaturas entre los 28°C sobre la cuenca del Río San Juan y los 12°C sobre la región limítrofe con el Departamento de Risaralda principalmente.

El clima predominante es Cálido Húmedo, exceptuando el costado oriental de la región que presenta Templado Súper Húmedo, Templado Húmedo, Templado Semi Húmedo, Templado Semi Árido, y Frío Super Húmedo en la región limítrofe con el Departamento de Risaralda, y en menor proporción con la frontera con el Valle del Cauca.

5.7.2 Descripción del Recurso Hídrico

Los ríos de la región son usados para el transporte de mercancía y personal, principalmente el Río San Juan que es el más grande de toda la zona. Por lo general, dadas sus condiciones climatológicas y poblacionales, no tiende a ser una región agrícola y gran parte de la población usa el recurso como agua potable. Para esta subregión la diversidad del recurso hídrico, se presenta en las tablas 25 y 26 para los ríos, aguas superficiales y quebradas, como se detallan a continuación:

5.6.2.1 Ríos de la Subregión de San Juan

Tabla 25. Ríos de la subregión San Juan

Ríos Identificados en IGAC			
San juan	Suramita	San pablo	Mondó
San cristobal	Garrapatas	Quito	El pital
Cajón	Opogodó	Certeguí	Grubata
Río negro	Condoto	Habita	Iró
Chopogoro	Cocotea	Tamaná	Cruces
Taparal	Aristos	Rijorodó	Chidorodó
Sipí	Cirato	Tajuató	Manglucito
Lindo	Tadocito	Tarena	

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

5.6.2.2 Quebradas de la Subregión de San Juan

Tabla 26. Quebradas de la subregión San Juan

Quebradas Identificadas en IGAC			
Ardagueda	Don Bartolo	Paidocito	Dipurdó
Becordó	El Coco	Matara	Dipurdocito
Pepecorro	Matías	Terdo	calle Larga
Peradó	Baurado	El Suruco	Barurú
Sabalito	Chingaradó	Las Ánimas	Candelaria
Fugiadó	Berrenchido	Minguimaío	Paredes
Chontaduro	Ordo	Bebedó	Irabubú
Teodó	Barranca	Ororó	Sorobiatá
Serpie	Nóvita	Apotó	Rumbazón
Cumperro	Agua clara	Carbonero	La Platina
Doidó	Topacundro	Torra	Santa Ana
Jumao	Adranera	El Barro	Corcovado
Jedó	Chigorodó	El Escobar	Paido
La Torre	Pimia	Guadeley	

Fuente. Adaptación de Autor al Mapa Departamental de Chocó (IGAC)

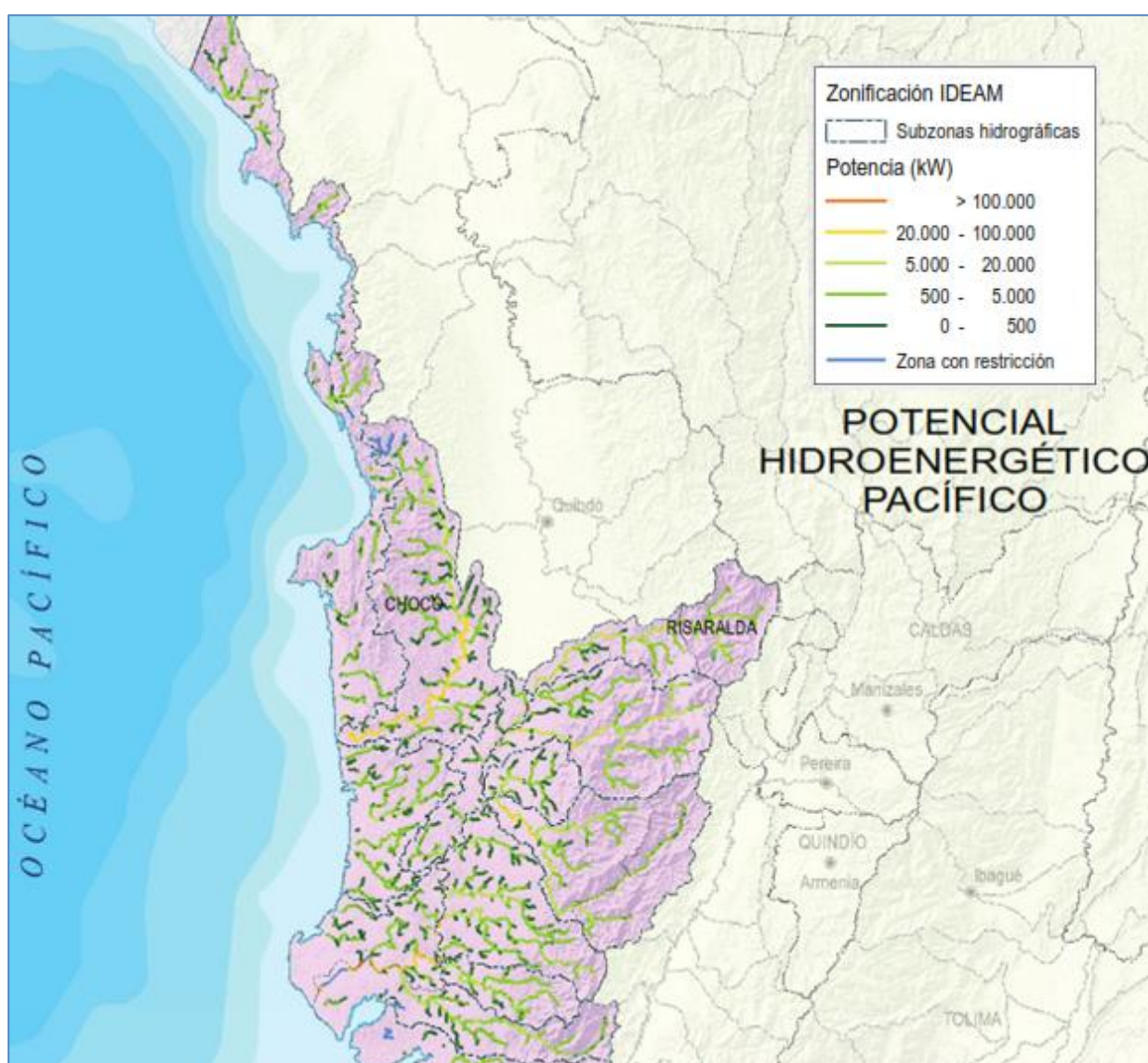
5.8 Potencial Hidroenergético del Chocó por subzonas hidrográficas

Con base en la descripción presentada por subregiones en cuanto al recurso hidrográfico y usando la herramienta del Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia del 2015, es posible revisar el potencial de generación de energía con los ríos relacionados y ubicados en los mapas de potencial hidroenergético para las subregiones que comprenden la costa pacífica y aquellas que comprenden la costa caribe, lo cual se ilustra en las Figuras 33 y 34 respectivamente.

5.8.1 Potencial Hidroenergético Subregiones del Pacífico del Chocó

La Figura 33 permite identificar los ríos con mayor potencialidad hidroenergética para las subregiones de Pacífico Norte, Pacífico Sur, San Juan y una parte del Atrato. Realizando un acercamiento en cada una de las subregiones se precisa que el potencial hidroenergético predominante está en la franja que corresponde de 5.000 a 20.000 kW, seguido por aquella de 500 – 5000 kW.

Figura 33. Mapa hidroenergético de Chocó – Subregiones Pacífico Norte, Sur y San Juan

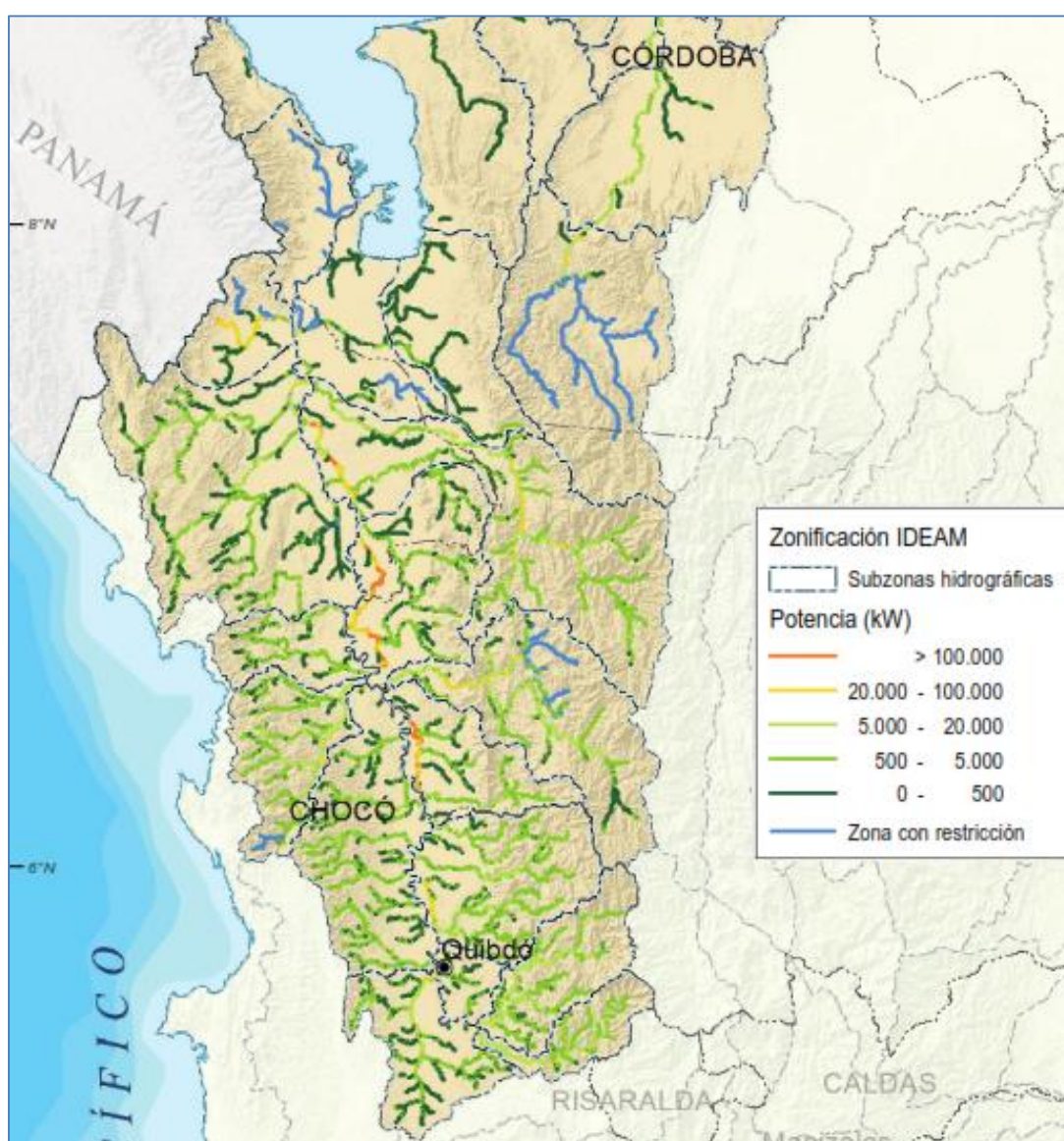


Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, Mapa 4.8. UPME. 2015

5.8.2 Potencial Hidroenergético Subregión del Choco con frontera Caribe

La figura 34 permite identificar los ríos con mayor potencialidad hidroenergética para las subregiones de Darién y la otra parte del Atrato. Realizando un acercamiento en cada una de las subregiones se precisa que el potencial hidroenergético predominante está en la franja que corresponde a 500 a 5.000 kW, seguido por aquella de 0 – 500 kW, así como se observan subzonas con restricciones ambientales.

Figura 34. Mapa hidroenergético de Chocó - Subregiones Darien y Atrato

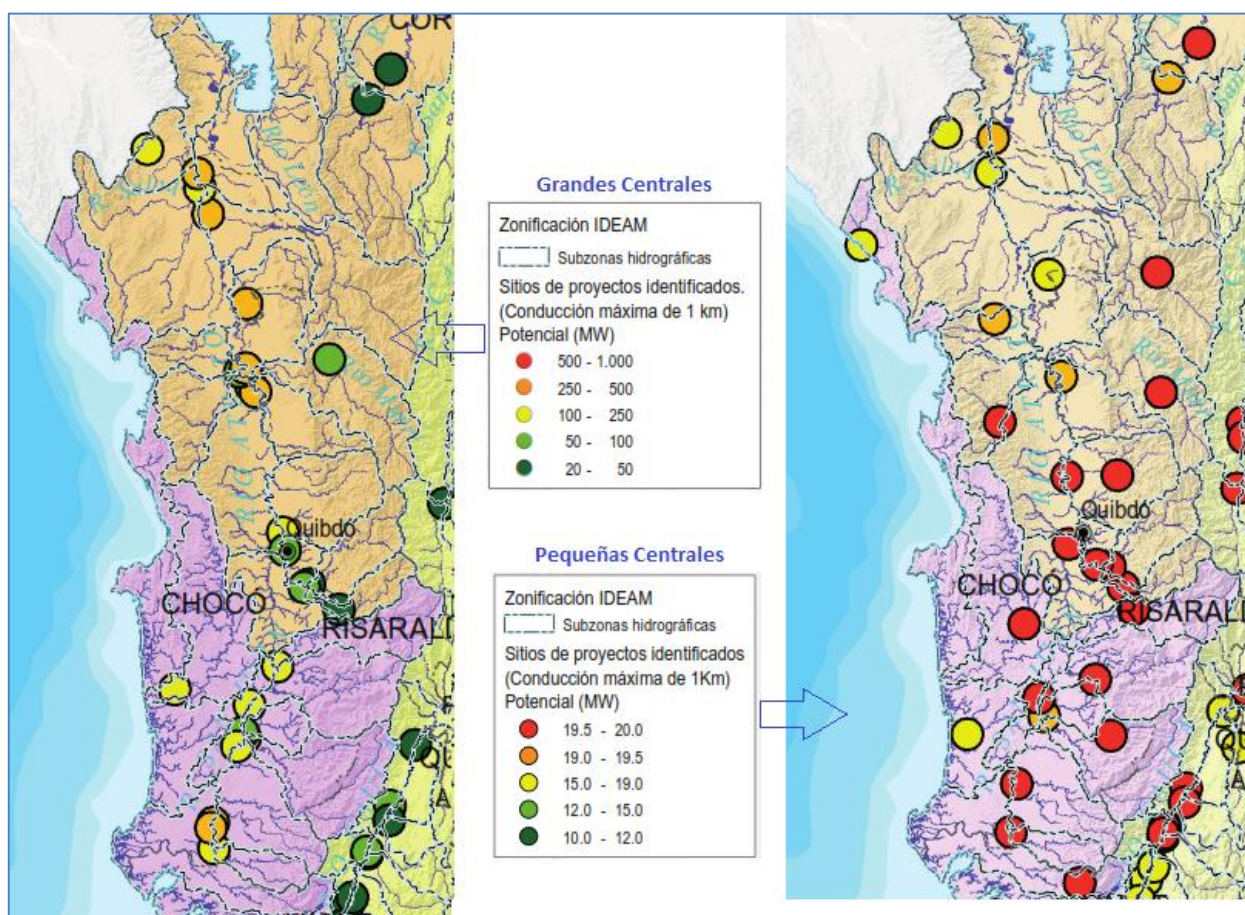


Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, Mapa 4.8. UPME. 2015

5.8.3 Proyectos Hidroeléctricos Identificados para el Departamento del Chocó

De igual manera en la Figura 35, se muestra una relación de los proyectos con Pequeñas y Grandes Centrales Hidroeléctricas que han sido identificados para el Departamento del Chocó.

Figura 35. Proyectos Hidroeléctricos identificados para el Departamento del Chocó



Fuente: Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, Mapas 4.15 y 4.16. UPME. 2015 y adaptación propia

De la gráfica se observa que la ubicación de los proyectos identificados con potencialidad para grandes centrales hidroeléctricas es en las subregiones del Darién, Atrato y San Juan principalmente, así como un proyecto en la región del Bajo Baudó. En el caso de PCHs, se identifican los sitios del Darién por el municipio de Riosucio, el Atrato (alto, medio y bajo), a lo largo del San Juan, así como en el Pacífico Norte destaca la región de Juradó y en el Pacífico Sur el Bajo Baudó.

5. 9 Resultados de la potencialidad del recurso hídrico

De acuerdo al análisis realizado para las diferentes subregiones del departamento en relación con la velocidad promedio y dirección del viento se concluye:

- El análisis del recurso hídrico permite destacar el alto potencial hidroenergético del cual está provisto el departamento del Chocó. Las subregiones identificadas con mayor potencial del recurso hídrico con fines de desarrollo de proyectos de generación hidroeléctrica a gran escala corresponden a las de San Juan, Baudó, Atrato y algunas zonas del Darién. Para el caso de la potencialidad de desarrollo de proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas existe también una correspondencia en la localización de zonas potenciales como son la de San Juan, Atrato y algunas subregiones como Jurado en Pacífico Norte y Bajo Baudó en Pacífico Sur.
- En el departamento no se dispone de un número suficiente de estaciones hidrológicas que suministren información del recurso hídrico insitu. La mayoría de la información analizada ha sido el resultado del procesamiento de algoritmos de modelación del recurso hídrico por parte del IDEAM, UPME y herramientas SIG del IGAC, los cuales si bien pueden suministrar valores aproximados de la potencialidad de este recurso, están sujetos a incertidumbre. Es altamente recomendable que se promueva la instalación de estaciones de medición por subregiones, lo cual permita hacer sostenible el proceso de identificación de la oferta energética de los recursos hídricos y nos permita hacer comparaciones y retroalimentación a los modelos numéricos en una siguiente fase.
- Para el caso del desarrollo específico de proyectos con centrales hidroléctricas, cabe resaltar que el estudio presentado deber ser tomado como una referencia y que para el dimensionado y diseño específico de proyectos hidroenergéticos debe realizarse la correspondiente caracterización geográfica, hídrica, social, ambiental y cálculo de las necesidades energéticas que permita establecer de manera adecuada la oferta de energía con el fin de promover la sostenibilidad de las soluciones.

6. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DE LA BIOMASA

Como Biomasa se consideran todos aquellos compuestos que se generan de procesos de fotosíntesis, que debido a su contenido de carbono, pueden producir energía mediante procesos térmicos o químicos (VARGAS, F.S). En Colombia según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el potencial de la biomasa es de 16.267MWh/año, de los cuales 11.828 MWh/año provienen de residuos agrícolas (*UPME, Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollos, 2010*).

La producción agrícola del Departamento del Chocó, en el año 2013, de acuerdo a los datos obtenidos en los cultivos de: Arroz, Maíz, Arracacha, Papa Criolla, Caña Panelera, Palma de Aceite, Plátano (tradicional y tecnificado), Banano, entre otros, fue de 316.356 toneladas, en un área cosechada total de 76.602 hectáreas (SIOA, 2010), siendo el arroz y maíz, los cultivos que más participan, con un 99,93% del total del área cosechada.

6.1 Biomasa a partir de cultivos y residuos energéticos

A pesar que el departamento del Chocó cuenta con una gran variedad de cultivos transitorios y permanentes, como se describe en las tablas 27 y 28 respectivamente, no todos pueden ser utilizados como fuente de recursos primarios para la generación de energía. Por lo tanto, serán objeto de este estudio, aquellos cultivos que son de interés para el aprovechamiento energético, dando especial énfasis a los cultivos que suministran una cantidad considerable de biomasa residual que puede ser utilizada tanto en procesos térmicos (combustión, gasificación y pirolisis), como en procesos bioquímicos (fermentación alcohólica y digestión anaerobia).

Tabla 27. Cultivos transitorios en el departamento del Chocó para el Año 2013

Tipo de Cultivo	Área Sembrada (Has)	Producción (Ton/Año)	Región (Ton/Año)	Municipio (Ton/Año)
Arroz Secado Manual	11.148	35.370		Riosucio: 14.863
				Medio Baudó: 6.180
			Daríen: 22.700	Carmen del Darién: 5.849
			Baudó: 9.026	Bajo Baudó: 1.260
			Atrato: 3.644	Unguía: 690
				Quibdó: 1.836
Maíz	9.095	16.548		Riosucio: 7.808
				Medio Baudó: 570
			Daríen: 14.571	Carmen del Darién: 5.803
			Baudó: 1.133	Bajo Baudó: 220
			Atrato: 844	Unguía: 240
				Quibdó: 220
Yuca	6.767	59.787	Daríen: 36.857	Riosucio: 28.950
			Baudó: 10.908	Medio Baudó: 10.200
			Atrato: 4.354	Quibdó: 3.600
*Papa Criolla y Arracacha	1	12	Atrato: 12	Carmen de Atrato: 12
Ñame	564	4.678	Daríen: 3.673	Acandí: 1.980
			San Juan: 329	Carmen del Darién: 1.189
			Atrato: 257	Unguía: 504
Achín	1.065	9.902	San Juan: 6.404	Litoral del San Juan: 6.000
			Baudó: 1.568	Bajo Baudó: 1.358
			Atrato: 1.207	Quibdó: 7.000

* Solo reporta información el municipio del Carmen de Atrato

Fuente: Datos tomados del SIOA – Evaluaciones Agropecuarias 2013 y elaboración propia

Tabla 28. Cultivos permanentes en el departamento del Chocó

Tipo de Cultivo	Área Sembrada (Has)	Producción (Ton/Año)	Región (Ton/Año)	Municipio (Ton/Año)
Cacao	2.933	1.233	Darién: 761	Acandí: 315
			San Juan: 202	Riosucio: 225
			Baudó: 183	Unguía: 221
Caña Panelera	1.997	4.090	San Juan: 1.665	Medio Baudó: 711
			Atrato: 1.164	Quibdó: 645
			Baudó: 984	Istmina: 490
Coco	511	6.376	Pacífico: 3.620	Bajo Baudó: 2.064
			Baudó: 2.124	Bahía Solano: 1.190
			San Juan: 364	Nuquí: 1.680
*Palma Africana	336	655	Darién: 655	Riosucio: 655
Plátano	13.613	103.180	Darién: 44.370	Riosucio: 38.350
			Baudó: 26.594	Alto Baudó: 22.614
			Atrato: 20.523	Quibdó: 7.500
Plátano Tecnificado	2.320	23.200	Darién: N.D	Unguía: N.D
**Café	130	260	Atrato: 130	Carmen del Darién: N.D
Borojó	1.330	5.326	San Juan: 2.782	Carmen de Atrato: 260
			Atrato: 1.964	Istmina: 1.280
			Baudó: 532	Atrato: 662
Chontaduro	813	606	San Juan: 461	Alto Baudó: 464
			Atrato: 145	San José del Palmar: 446
				Bojayá: 99
Piña	243	3.623	Atrato: 1.636	Quibdó: 40
			San Juan: 1.285	Medio Atrato: 750
			Baudó: 640	Istmina: 555
***Lulo	7	77	Atrato: 77	Atrato: 450
****Mora	9	54	Atrato: 54	Medio Atrato: 77
*****Aguacate	215	738	San Juan: N.D	Carmen del Atrato: 54
			Atrato: N.D	San José del Palmar: N.D
*****Banano	831	3.796		Carmen del Atrato: N.D

Fuente: Datos tomados del SIOA – Evaluaciones Agropecuarias 2013 y elaboración propia

N.D: Registro no disponible.

* Solo reporta información el municipio de Riosucio.

** Solo se siembra en el municipio del Carmen de Atrato.

*** Solo reporta información el municipio del Medio Atrato.

**** Solo se siembra en el municipio del Carmen de Atrato.

***** No se reportó la cantidad por región.

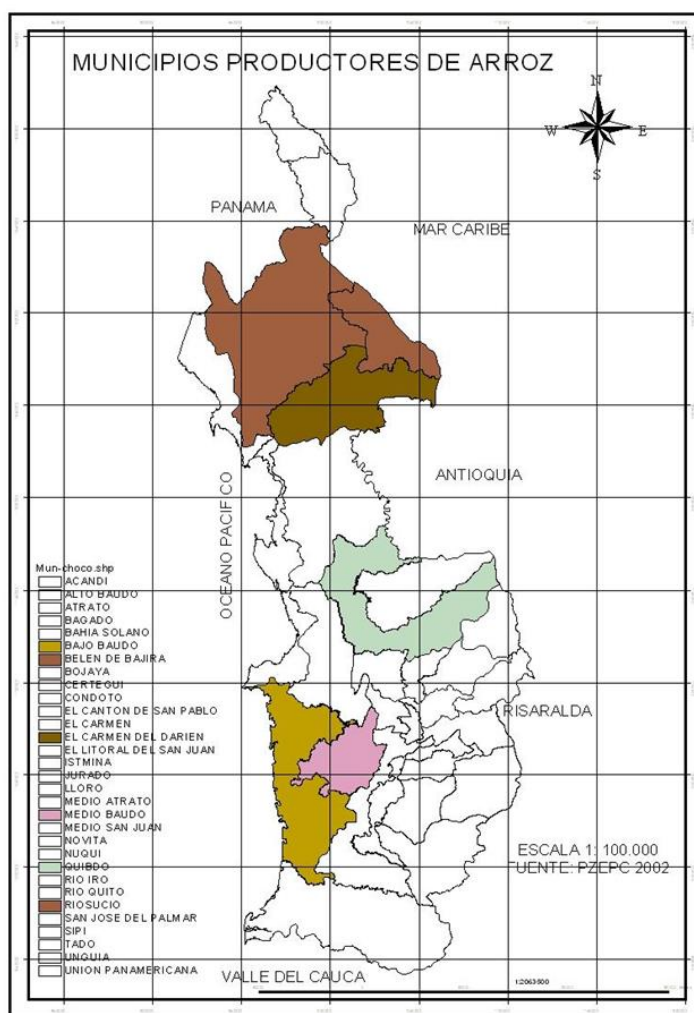
***** No se reportó a qué región pertenece esa producción.

6.1.1 Potencial del Arroz Secano Manual

El departamento del Chocó está dentro de los departamentos con mayor número de Unidades dedicadas a la Producción de Arroz (4.693 UPA), para el año 2013 registró una producción de arroz secano manual de 35.370 Ton/año, siendo las subregiones del Darién (22.700 Ton/año), Baudó (9.026 Ton/año), Atrato (3.644 Ton/año), las mayores productoras (SIOA). Los Municipios que presentaron mayores producciones fueron: Riosucio con 14.863 Ton/año, Medio Baudó con 6.180 Ton/año, Carmen del Darién con 5.849 Ton/año, Bajo Baudó con 1.260 Ton/año, Unguía con 690 Ton/año y Quibdó con 1.836 Ton/año (Ver Figura 36).

Sin embargo, en el proceso de pilado del arroz, se desecha la cáscara o pajilla, la cual constituye aproximadamente el 25% del peso del grano. Esta pajilla aunque es resistente al fuego, puede ser utilizada como combustible que genere calor, debido a que su poder calorífico es similar al de la madera y al de otros residuos agrícolas (ASSUREIRA, 2002); su densidad es de aproximadamente 110 kg/m³ y su poder calorífico es de 13.900 KJ/Kg.

Con esta consideración, se puede estimar que en el departamento del Chocó se están desperdiciando anualmente 8.843 Ton aproximadamente en pajillas de arroz, las cuales pueden ser utilizadas como fuente de energía biomásica a través de un proceso térmico como la gasificación para la producción de gas de síntesis o syngas.

Figura 36. Municipios productores de Arroz Secano Manual

Fuente: PZEPC 2002

De acuerdo con la producción registrada de arroz para el año 2013, el departamento del Chocó cuenta con un potencial energético bruto de 3,9 MWh/año, (Ver tabla 29), distribuido en las diferentes subregiones así: Darién con 2,5 MWh/año, Pacífico Sur con 1 MWh/año y Atrato con 0,4 MWh/año, en donde los municipios de Riosucio (1,6 MWh/año), Medio Baudó (0,68 MWh/año), Carmen del Darién (0,64 MWh/año), Bajo Baudó (0,14 MWh/año), Unguía (0,08 MWh/año) y Quibdó (0,2 MWh/año), aportarían este potencial energético.

Tabla 29. Potencial Energético Bruto en el departamento del Chocó – Cultivos y Residuos

Cultivo	Producción (Ton/año)	Producto Energético	Porcentaje Energético (%)	Producción Producto Energético (Ton/Año)	Poder Calorífico (KJ/Kg)	Potencial Energético Bruto (MWh/Año)
Arroz Secano Manual	35.370	Cascarilla	25	8.842,5	13.900	3,9
Maíz	16.548	Alcohol	37	6.122,76	26.700	5,18
Caña Panelera	4.090	Bagazo	29	1.186,1	8.895	0,33
Caña Panelera	4.090	Residuos de cosecha	46	1881,4	15.000	0,89
Cacao	1.233	Aceite	50	616,5	36.000	0,7
Yuca	59.787	Alcohol	13	7.772,31	26.700	6,58

Fuente: Elaboración propia. Algunos datos tomados de [7].

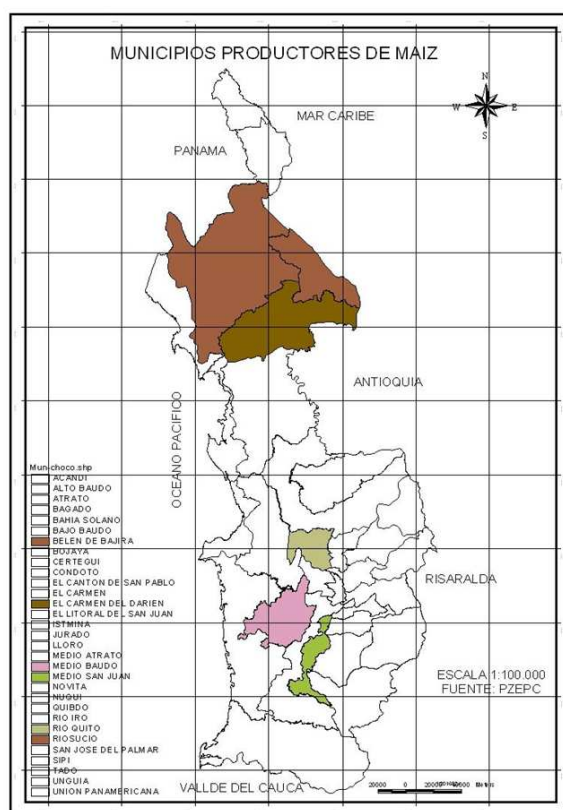
6.1.2 Potencial del Maíz

Actualmente en el mundo se está usando el etanol como combustible, no sólo con el fin de disminuir la dependencia del petróleo y enfrentar la crisis energética, sino también, como una manera de combatir la reducción del gran impacto ambiental generado por la combustión de derivados del petróleo. Respecto a la producción de etanol, se encontró que durante el 2003, más de 25 millones de toneladas de maíz (11% de la producción anual del cereal), se destinaron a la producción de 10.637 millones de litros de etanol, en donde los principales productores de alcohol como combustible son Brasil (lo produce a partir de la caña de azúcar y lo empela como “Hidro-Alcohol” 95% etanol o como aditivo de la gasolina 24% de etanol), Estados Unidos y Canadá (lo producen a partir de maíz y lo utilizan en diferentes formulaciones que van desde el 5% al 85% de etanol). Actualmente en Colombia, mediante la Ley 693 de 2001 se autorizó “el uso de alcoholes carburantes en centros urbanos de más de 500 mil habitantes”, con una mezcla 90 % de gasolina y 10% de etanol, el cual se genera a partir de la fermentación de los extractos

de cultivos como la caña de azúcar, el maíz, el trigo o la yuca, dando origen a lo que comúnmente se conoce como biogasolina (gasohol o mezcla E10).

El porcentaje energético, que puede ser aprovechado del Maíz es de un 37 % y su poder calorífico es de 26.700 KJ/Kg, el cual puede ser usado en la producción de alcohol como combustible, siempre y cuando se mantenga los equilibrios correspondientes de seguridad alimentaria. Respecto al cultivo de Maíz, el departamento del Chocó registró en el año 2013, una producción de 16.548 Ton/año, con una participación del Darién (14.571 Ton/año), Pacífico Sur (1.133 Ton/año) y Atrato (844 Ton/año), como las subregiones que reportaron esta cosecha. Sin embargo, los municipios que presentaron mayores producciones fueron: Riosucio con 7.808 Ton/año, Carmen del Darién 5.803 Ton/año, Medio Baudó con 570 Ton/año, Acandí con 360 Ton/año, Unguía con 240 Ton/año, Bajo Baudó y Quibdó, ambos con 220 Ton/año. En la Figura 37 se presentan los municipios de la subregiones con mayor potencialidad para la producción de maíz en el departamento del Chocó.

Figura 37. Municipios productores de Maíz



Fuente: PZEPC 2002

Se estima que en el departamento del Chocó, para el año 2013, existe un potencial energético bruto de 5,18 MWh/año (Ver Tabla 29) y que sólo en la subregión del Darién presenta un potencial de 4,56 MWh/año, seguido de la subregión del Pacífico Sur con 0,35 MWh/año y la subregión Atrato con 0,26 MWh/año. Así entonces, los municipios de Riosucio (2,45 MWh/año), Carmen del Darién (1,82 MWh/año), Medio Baudó (0,18 MWh/año), Acandí (0,11 MWh/año), Unguía (0,08 MWh/año), Bajo Baudó y Quibdó (0,07 MWh/año) aportarían este potencial.

6.1.3 Potencial de la Caña Panelera

Después del café, Colombia, ocupa el segundo lugar en extensión en el cultivo de la caña, en donde el 61 % del área cultivada se dedica a la producción de panela, el 32 % a la producción de azúcar y el 7% a mieles, guarapos y forrajes, siendo Santander, Boyacá y Cundinamarca, los departamentos que concentran la mayor producción (cerca del 50 % del total producido). Debido a los bajos precios de la panela, la sobreproducción de caña y los productos sustitutos, ha ocasionado que en el país se le reste importancia a este cultivo, utilizando 226.000 hectáreas para el cultivo de caña (Rodríguez, 1998). En la tabla 30 se presenta la producción que reportaron para el año 2010 aquellos departamentos paneleros, entre los cuales se ubica del departamento del Chocó.

Tabla 30. Departamentos paneleros en Colombia, año 2010

Departamentos Paneleros (año 2010)	
Departamento	Producción Toneladas/año
Santander	226.915
Boyacá	212.353
Cundinamarca	175.904
Antioquia	157.093
Caldas	76.274
Nariño	73.928
Tolima	71.024
Cauca	64.920
Huila	49.109

Norte de Santander	42.226
Valle del Cauca	33.979
Risaralda	26.901
Meta	15.299
Cesar	14.968
Caquetá	8.165
Bolívar	7.316
Putumayo	5.388
Arauca	3.418
Chocó	3.346
Quindío	2.327
Sucre	1.439
Córdoba	1.027
Casanare	886
Amazonas	330
La Guajira	198
Total	1.274.733

Fuente: Fondo de Fomento Panelero, Fedepanela e Invima. Minagricultura

La caña panelera participa con el 10,6 % del área destinada a cultivos permanentes y con el 6,3 % del área total cultivada en Colombia, lo que la ubica en el quinto lugar entre los cultivos del país, solamente superada por el café, el maíz, el arroz y el plátano. Se estima que constituye la economía básica de 236 municipios en doce departamentos. Se ha calculado también que existen cerca de 70.000 unidades agrícolas que cultivan caña para la producción panelera y aproximadamente 15.000 trapiches en todo el país (LEISA, 2005). Sin embargo, el cultivo de la caña panelera, deja una gran producción de bagazo y residuos de cosecha, los cuales, pueden ser sometidos a un proceso de secado, para luego ser aprovechados en la producción de energía; en donde según estudios del ICA (Manejo Fitosanitario del cultivo de la caña panelera. Medidas para la temporada invernal, Bogotá 2011) esto podría llevar a un aumento en la eficiencia energética y disminución de la demanda de leña del bosque de hasta un 30 %, contribuyendo así al reemplazo de aquellos combustibles como el carbón, guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), madera y cauchos de llantas, los cuales traen consecuencias negativas para el medio ambiente y la salud humana, cumpliendo de esta manera con lo que demanda el

Decreto 948 de 1995 (Junio 5), en su artículo 26 “Queda prohibida la quema abierta, o el uso como combustible en calderas u hornos en procesos industriales, de llantas, baterías, plásticos, otros elementos y desechos que emitan contaminantes tóxicos al aire”.

Características físico-químicas del bagazo

El bagazo es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña. En la tabla 31 (a), (b), (c), (d) se muestran las características fundamentales del bagazo de caña.

Tabla 31. Características biomásicas del Bagazo

(a) Análisis Inmediato (% base seca)

Característica	%
Carbono Fijo	41,9
Volátiles	46,36
Cenizas (815 ⁰)	11,74

(b) Análisis Elemental (% base seca)

Característica	%
Carbono	42,54
Hidrógeno	5,17
Nitrógeno	0,63
Azufre	0,30
Oxígeno	39,62

Fuente: GIRALDO, MERENCIO. Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado.

(c) Análisis Sólidos (% base seca)

Característica	%
Lignocelulósicos	45
Sólidos Insolubles	2-3
Sólidos solubles	2-3
Humedad	50

(d) Análisis Celulosa (% base seca)

	Bagazo Integral	Fibra	Medula
Celulosa %	46,6	47,7	41,2
Hemicelulosa %	25,2	25	26
Lignina %	20,7	19,5	21,7

Fuente: VAZ Carlos. Proyecto Etanol

Se estima que por la utilización del bagazo producto de la extracción de la miel de caña para usos industriales, agropecuarios y fabricación de panela, existe un potencial energético de 1.114 MWh/año y de 2.979 MWh/año para los residuos de cosecha. En cuanto al departamento del Chocó, para el año 2013, el área cosechada de cultivos de caña panelera fue de 1.997 Has, estando representada en 4.090 ton/año de producción, siendo las subregiones más importantes: San Juan con 1.665 Ton/año representando el 41 % de la producción total, Atrato con 1.164 ton que representan el 28 % de la producción y Pacífico Sur con 984 Ton/año equivalente al 24 % de la producción. Los principales municipios productores fueron: Medio Baudó con 711 Ton/año, Quibdó con 645 Ton, e Istmina con 490 Ton/año (SIOA, 2013). De esta producción, solo el 29 % puede ser aprovechado como potencial energético, quedando así que de la producción total para este periodo, el departamento del Chocó cuenta con un potencial energético bruto de 0,33 MWh/año (Ver Tabla 29), distribuidos así: subregión del San Juan (0,14 MWh/año), subregión Atrato (0,1 MWh/año), subregión del Pacífico Sur (0,08 MWh/año). Respecto a los municipios, en el Medio Baudó se contaría con un potencial energético bruto de 0,06 MWh/año, Quibdó (0,05 MWh/año) e Istmina (0,04 MWh/año). A parte del bagazo de caña, también los residuos de cosecha generados de ésta, pueden ser aprovechados como recurso energético, siendo estos más eficientes que los generados a partir del bagazo, quedando un potencial energético bruto de 0,89 MWh/año (Ver Tabla 29), distribuido en las subregiones de la siguiente manera: Pacífico Sur con 0,22 MWh/año, Atrato con 0,25 MWh/año, San Juan 0,36 MWh/año

6.1.4 Potencial del Cacao

En Colombia el Cacao se cultiva a escala comercial, constituyéndose en un artículo de exportación, siendo el departamento de Santander el primer productor de Cacao en el país. No obstante, este cultivo también se produce en la Cuenca del Atrato, Hoya del río Magdalena, Valle del Cauca y Norte de Santander, entre otros (VAZ Carlos). En el primer semestre de 2013 la producción de Cacao en Colombia fue de 25.322 toneladas, en el año 2014 subió a 27.598 ton, y en 2015 ascendió a 31.553 ton, generando así una tasa de crecimiento semestral del 12% en promedio, gracias a la labor de la Federación Nacional de Cacaoteros – Fondo Nacional del Cacao y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (FEDECACAO).

En el departamento del Chocó, existen asociaciones productoras de Cacao, como las que se encuentran en el municipio de Riosucio – Chocó: APROCAMALOSAN y ASOPROANES (Asociación de Productores Agroforestales Nuestros Esfuerzos); esta última, de acuerdo con la información suministrada por el representante legal del momento en la visita realizada durante las actividades programadas por el PERS-Chocó, donde se recopiló información primaria. ASOPROANES cuenta con 48 asociados, en donde para la fecha se tenían 300 Has de siembra, de las cuales 96 estaban en producción.

Para el año 2013, el área cosechada de cultivo de Cacao fue de aproximadamente 2.933 Has, representando una producción de 1.233 Ton/año, viéndose afectado el rendimiento en comparación con los años anteriores en un 20 %. Respecto a la producción, la subregión del Darién aportó 761 ton que representan el 62% de la producción departamental, la subregión del San Juan aportó 202 ton/año equivalente al 16 % de la producción y la subregión del Pacífico Sur suministró 83 ton/año representando el 15 % de la producción.

Los principales municipios productores de cacao en la subregión son Acandí con 315 ton/año, Riosucio con 225 ton/año y Unguía con 221 ton/año (SIOA, 2013). De esta producción reportada, se puede utilizar el 50% con fines energéticos. Por lo tanto, el departamento del Chocó, contaría con un potencial energético bruto de 0,7 MWh/año (Ver Tabla 29), distribuidos en las diferentes subregiones así: la subregión del Darién contaría con un potencial energético bruto de 0,43 MWh/año, la subregión del Pacífico Sur con 0,1 MWh/año y la subregión del San Juan con 0,12 MWh/año.

6.1.5 Potencial de la Yuca

En Colombia, la yuca, se muestra como uno de los cultivos más prometedores, debido a que después de ser sometida a un proceso de degradación del almidón y fermentación de sus azúcares, se puede producir bioetanol. La raíz tuberosa de la yuca, es una buena fuente de almidón, ya que el 90 % de su peso seco está compuesto por carbohidratos (SHARKAWY EI, 2004; OSPINA PB, CEBALLOS H, ALVAREZ E, BELLOTTI AC, CALVERT LA 2002). Se cree que a través del procesamiento de la yuca, se puede llegar a obtener hasta 280 litros de etanol al 96%, a partir de una tonelada de yuca con un 30% de almidón (FAO, 2006).

En cuanto al rendimiento en litros de alcohol por hectárea de producto, se observa que mientras en la caña de azúcar se obtienen 75 litros de etanol a partir de una tonelada, en yuca se obtienen 200 litros. En términos generales, el rendimiento en litros por hectárea por año empleando caña de azúcar es de $4.900 \text{ L Has}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que en yuca es de $6.000 \text{ L Has}^{-1} \text{ año}^{-1}$ demostrando el alto potencial de la yuca para producir alcohol carburante.

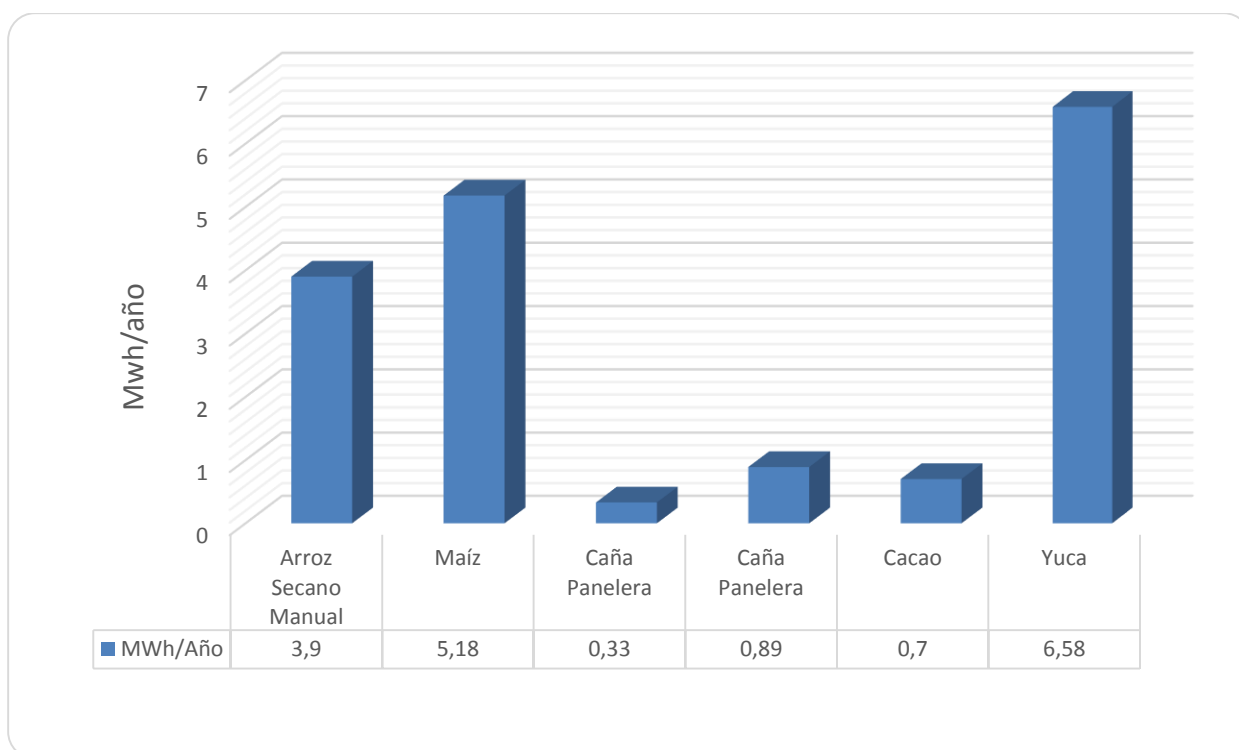
En el departamento del Chocó, según datos tomados de SIOA, en el año 2013, se sembraron 6.767 Has del cultivo de yuca, viéndose reflejada una producción de 59.787 ton/año, obteniendo un rendimiento de 8,78 ton / Has. Para este año de acuerdo a la producción, las subregiones más importantes fueron: Darién con 36.857 ton/año que representa el 50% de la producción departamental, Pacífico Sur con 10.908 ton/año que representa el 15% de la producción y Atrato con 4.354 ton/año representa el 8% de la producción departamental, siendo los principales municipios productores: Riosucio con 28.950 ton/año, Medio Baudó con 10.200 ton/año, y Quibdó con 3.600 ton/año. Teniendo en cuenta los datos registrados en el estudio realizado por la UPME (*Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia*), el 13 % de este cultivo, puede ser aprovechable como recurso energético, en donde el poder calorífico de la yuca es de 26.700 KJ/Kg. Por lo tanto, el departamento contaría con un potencial energético bruto de 6,58 MWh/año (Ver Tabla 29) distribuido en sus subregiones así: Darién (4,06 MWh/año), del Pacífico Sur (1,2 MWh/año) y Atrato (0,48 MWh/año), esto siempre y cuando se mantenga el equilibrio de seguridad alimentaria señalado ampliamente en la literatura de biomasa para uso final en biocombustibles.

6.1.6 Análisis del potencial energético bruto – cultivos y residuos de cosecha por subregión en el departamento del chocó

El potencial energético actual en cuanto a la utilización de cultivos y residuos de cosechas identificado para Colombia es de 16.267 MWh/año de energía primaria o potencial bruto, el cual se distribuye entre aceite combustible 658 MWh/año, alcohol carburante 2.640 MWh/año, residuos agroindustriales y de cosecha 11.828, residuos de bosques plantados 442 MWh/año y residuos de bosques naturales 698 MWh/año.

En la Figura 38, se presenta el potencial energético que tendría el departamento del Chocó en cuanto al aprovechamiento de cultivos y residuos con fines energéticos, observándose que la Yuca, es el cultivo con mayor producción y por ende, el de mayor potencial con fines energéticos, aportando así un promedio de 6,58 MWh/año, que de ser aprovechados de manera correcta, ayudaría a suplir una de las muchas necesidades básicas insatisfechas (NBI), que hay en el departamento del Chocó.

Figura 38. Potencial Energético Bruto. Cultivos y Residuos, departamento del Chocó



Fuente: Elaboración propia

En las tablas 32, 33, 34, 35 se presenta el potencial de cada subregión; pudiéndose evidenciar que el Darién, es la subregión donde se puede obtener un mejor aprovechamiento de la biomasa como potencial energético proveniente de residuos agrícolas. De igual forma, el Maíz y el Arroz, son cultivos que muestran un gran potencial energético, representados en 5,18 y 3,9 MWh/año respectivamente, los cuales se perfilan como alternativas de interés energético.

Tabla 32. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del Darién

Cultivo	Producción (Ton/año)	Producto Energético	Porcentaje Energético (%)	Producción Producto Energético (Ton/Año)	Poder Calorífico (KJ/Kg)	Potencial Energético Bruto (MWh/Año)
Arroz Secano Manual	22.700	Cascarilla	25	5.675	13.900	2,5
Maíz	14.571	Alcohol	37	5.391,27	26.700	4,56
Caña Panelera	0	Bagazo	29	0	8.895	0
Caña Panelera	0	Residuos de cosecha	46	0	15.000	0
Cacao	761	Aceite	50	380,5	36.000	0,43
Yuca	36.857	Alcohol	13	4.791,41	26.700	4,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del Pacífico Sur

Cultivo	Producción (Ton/año)	Producto Energético	Porcentaje Energético (%)	Producción Producto Energético (Ton/Año)	Poder Calorífico (KJ/Kg)	Potencial Energético Bruto (MWh/Año)
Arroz Secano Manual	9.026	Cascarilla	25	2.256,5	13.900	1
Maíz	1.133	Alcohol	37	419,21	26.700	0,35
Caña Panelera	984	Bagazo	29	285,36	8.895	0,08
Caña Panelera	984	Residuos de cosecha	46	452,64	15.000	0,22
Cacao	183	Aceite	50	91,5	36.000	0,1
Yuca	10.908	Alcohol	13	1.418,04	26.700	1,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del Atrato

Cultivo	Producción (Ton/año)	Producto Energético	Porcentaje Energético (%)	Producción Producto Energético (Ton/Año)	Poder Calorífico (KJ/Kg)	Potencial Energético Bruto (MWh/Año)
Arroz Secano Manual	3.644	Cascarilla	25	911	13.900	0,4
Maíz	844	Alcohol	37	312,28	26.700	0,26
Caña Panelera	1.164	Bagazo	29	337,56	8.895	0,095
Caña Panelera	1.164	Residuos de cosecha	46	535,44	15.000	0,25
Yuca	4.354	Alcohol	13	566,02	26.700	0,48

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Potencial Energético Bruto – Cultivos y Residuos - Subregión del San Juan

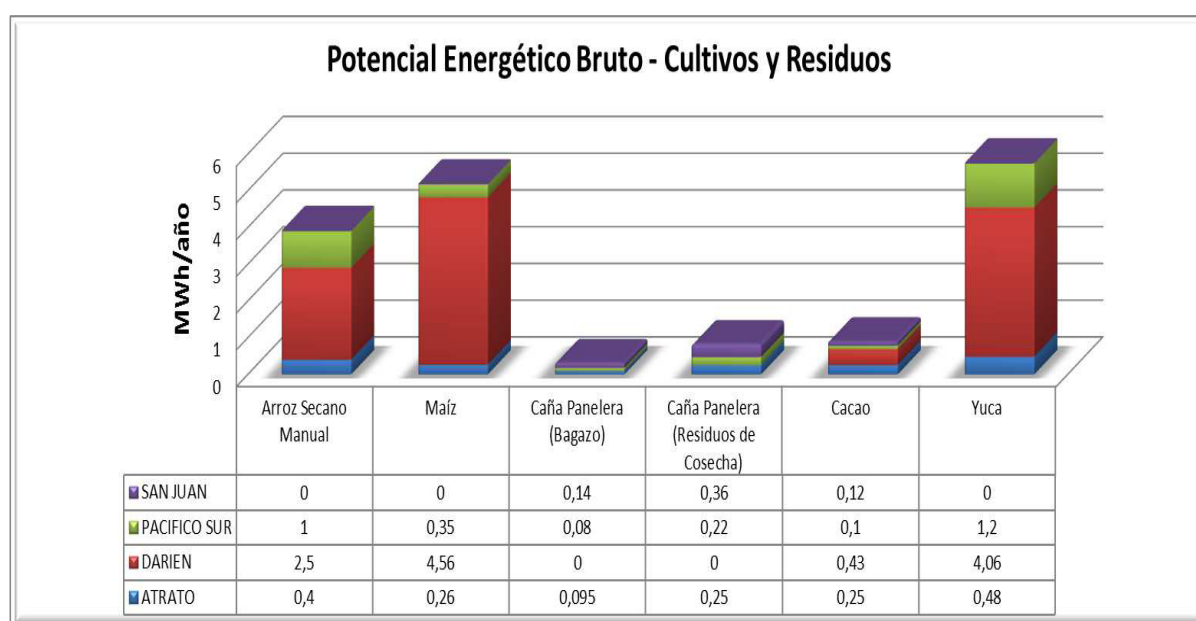
Cultivo	Producción (Ton/año)	Producto Energético	Porcentaje Energético (%)	Producción Producto Energético (Ton/Año)	Poder Calorífico (KJ/Kg)	Potencial Energético Bruto (MWh/Año)
Arroz Secado Manual	NR	Cascarilla	25	NR	13.900	NR
Maíz	NR	Alcohol	37	NR	26.700	NR
Caña Panelera	1.665	Bagazo	29	482,85	8.895	0,14
Caña Panelera	1.665	Residuos de cosecha	46	765,9	15.000	0,36
Cacao	202	Aceite	50	101	36.000	0,12
Yuca	NR	Alcohol	13	NR	26.700	NR

NR: No Registra.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 39, se muestra el consolidado de los cultivos y residuos por subregión, en donde la Yuca, el Maíz y el Arroz, son los cultivos de mayor interés energético, dado que éstos se cultivan en cuatro de las cinco subregiones del departamento del Chocó, mientras que la Caña Panelera y el Cacao, son cultivos de menor interés con fines energéticos, debido a su baja producción. En el Anexo IV se presenta un consolidado de mapas que ilustran los municipios del departamento con mayor potencialidad de biomasa para los cultivos de arroz, cacao, maíz, caña panelera y yuca.

Figura 39. Potencial Energético Bruto. Cultivos y Residuos por subregiones



Fuente: Elaboración propia

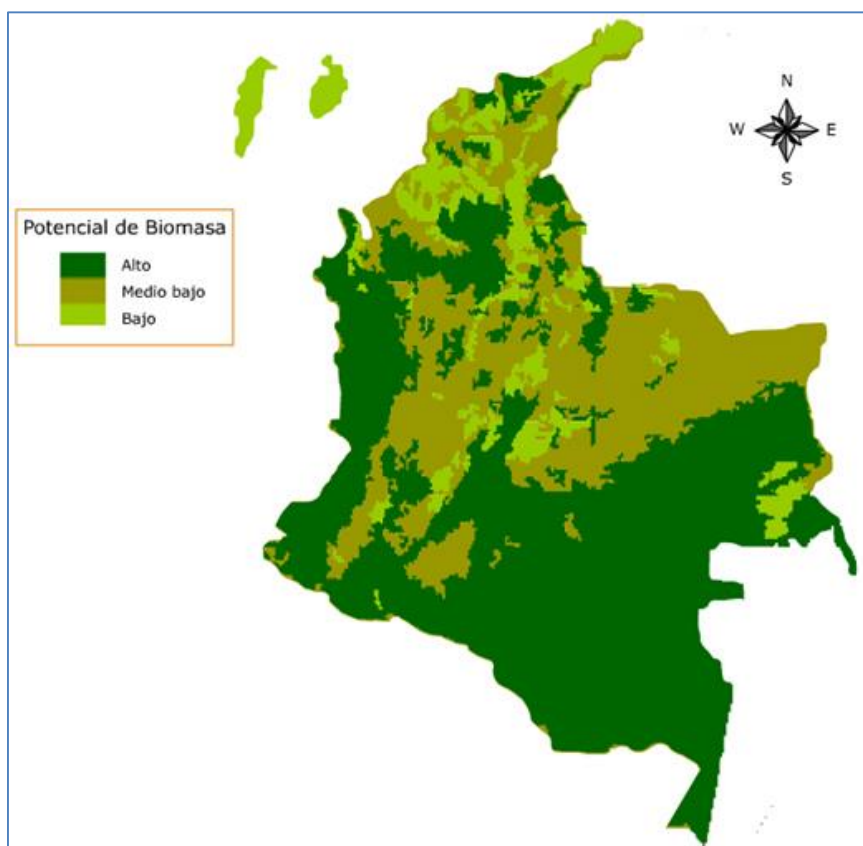
Es importante aclarar que la subregión del San Juan, para el año de estudio, no le reportó información a la secretaria de desarrollo económico y recursos naturales del departamento del Chocó, acerca de la producción de Arroz Secano Manual, Maíz y Yuca. Igualmente la subregión del Darién, no reportó producción de Caña Panelera y por lo tanto para el caso específico de formulación de proyectos de bioenergía para estas zonas es necesario hacer un levantamiento de información en campo. De igual manera se aclara que no se encontró información acerca de los cultivos o residuos de cosecha que se dan en la subregión Pacífico Norte, la cual está conformada por los municipios de Juradó, Bahía Solano y Nuquí, razón por la cual no fue tomada en cuenta en esta primera fase del este estudio de oferta energética.

6.2 Biomasa a partir de residuos forestales

Hace miles de años, alguien colocó madera en el fuego para generar calor; ese fue el primer uso de la biomasa como combustible. La biomasa, que engloba la materia orgánica animal y vegetal, es el recurso renovable más utilizado en el mundo por más de dos mil millones de personas y en el caso de Colombia tiene un potencial bastante elevado. La gran ventaja de la biomasa es que es posible convertir un residuo en un recurso, lo que supone un aumento del reciclaje, una reducción de los desechos y una contribución al medio ambiente mediante el control de las emisiones de CO₂ que contribuya a mitigar el Cambio Climático.

En Colombia se dispone de una alta potencialidad en bioenergía, debido a la gran capacidad para el aprovechamiento de residuos forestales y agrícolas que tiene el país, sobre todo en banano, cascarilla de arroz, pulpa de café y explotaciones silvícolas. El potencial energético de la biomasa en Colombia está estimado en unos 16 GWh al año y se ilustra en la Figura 40.

Figura 40. Potencial Energético de la Biomasa en Colombia



Fuente: UPME y Observatorio de Energía Renovable.

De acuerdo a la resolución 1926 de 2013 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el departamento del Chocó cuenta con una extensión de bosques de 3.552.424 hectáreas (*el concepto bosque en este contexto aplica para las tierras con vocación forestal con o sin cobertura arbórea*). El 61.7% de los bosques del Chocó pertenecen al tipo de cobertura Bosque Natural denso alto de tierra firme, seguido por los bosques densos altos de tierras inundables (Prioridades de conservación elaborado por WWF –CODECHOCO 2012).

Conforme a la resolución ministerial 0421 de 2013 – MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), el 74,5% del área boscosa del Chocó es bosque natural objeto de ordenación forestal, de los cuales solo el 14% cuenta con planes de ordenación forestal aprobados y adoptados mediante acto administrativo por el Consejo Directivo de CODECHOCO. Esto equivale a 662.000 hectáreas aproximadamente, de las cuales 360.587 hectáreas están en la categoría Bosque productor ubicadas en las cuencas de los ríos Baudó, Quito y Tagachí - Buey. El resto del área cuenta con planes que se encuentran en ajustes por parte del MADS, es decir cerca de 2.800.000 hectáreas.

Con base en la información reportada en los Planes de Manejo Forestal, las principales familias botánicas identificadas en los bosques corresponden a *Annonaceae*, *Melastomataceae*, *Moraceae*, *Rubiaceae*, *Arecaceae*, *Myristicaceae*, *Clusiaceae*. Y las especies forestales de mayor peso ecológico y aprovechamiento son *Cariniana pyriformis*, *Carapa guianensis*, *Prioria copaifera*, *Anacardium excelsun*, *Cedrela sp.*, *Huberodendron patinoi*, *Couma macrocarpa*, *Humirastrun procera*, *Bossimum utile*, entre otras.

De igual manera los bosques del Chocó están compuestos principalmente por especies forestales con densidades de madera media a media alta, tal como se expresa en la tabla 36.

Tabla 36. Densidad de las Principales Especies Forestales del Chocó

Nº	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	DENSIDAD
1	Abarco	<i>Cariniana pyriformis</i>	590 Kg/m ³
2	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	520 Kg/m ³
3	Algarrobo	<i>Hymenaea courbaril</i>	770 Kg/m ³
4	Caimito	<i>Pouteria sp</i>	740 Kg/m ³
5	Jigua	<i>Ocotea sp</i>	180 Kg/m ³
6	Cativo	<i>Prioria copaifera Griseb</i>	390 Kg/m ³
7	Otobo	<i>Dialyanthera otoba</i>	350 Kg/m ³

8	Choiba	<i>Dipteryx oleífera Benth</i>	850 Kg/m ³
9	guayacan	<i>Centrolobium paraense</i>	580 Kg/m ³
10	Guamo	<i>Inga sp</i>	520 Kg/m ³
11	Cedro macho	<i>Guarea trichiloides L.</i>	520 Kg/m ³
12	Peine mono	<i>Apeiba aspera</i>	300 Kg/m ³
13	Sande	<i>Brosimum utile</i>	420 Kg/m ³
14	Nuanamo	<i>Virola sp</i>	400 Kg/m ³
15	Carbonero	<i>Hirtella racemosa</i>	600 Kg/m ³
16	Dormilon	<i>Voschysia ferruginea Mart</i>	370 Kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 37, se presentan las principales especies forestales por subregión, en el departamento del Chocó.

Tabla 37. Principales especies forestales por subregiones

Nº	REGION	ESPECIES	
1	ATRATO	Guatteria sp, Couma sp, Protium sp, Hymenae oblongifolia,	Dipteryx oleífera punctata, Brosimum utile, Virola sp Eschweilera
2	DARIEN	Prioria Copaífera Carapa guianensis, Virola spp, Tabebuia rosea, Brosimum utile, Pouteria sp. Clarisia	Inga sp, Huberodendron patinoi, Cariniana Pyriformis, Apeiba aspera, Ocotea sp Dipteryx oleífera Racemosa Eschweilera sp,
3	PACIFICO SUR	Cedrella sp. Brosimum utile. Tabebuia Rossea, Avicennia	Ocotea sp Huberodendron patinoi, germinans, Mora megistosperma
4	PACIFICO NORTE	Pentaclethra macroloba, Brosimum utile, Jacaranda	Genipa americana copaia, Pouteria sp, Nectandra sp
5	SAN JUAN	Dialyanthera otoba, Inga sp, Brosimum utile	Eschweilera punctata, Cedrella sp. Guarea trichiloides L

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con información suministrada por la Universidad Nacional de Colombia en su publicación de UN Periódico (*Árboles del Chocó entre la lucha de David y Goliath*), en el Chocó se ha perdido el 40% de sus bosques por la deforestación. En la actualidad se estima que por actividad minera se destruyen alrededor de 348 Has/año de cobertura boscosa, hecho que reduce ostensiblemente la oferta de productos forestales en especial en las cuencas de los ríos San Juan y Quito.

En el departamento del Chocó aún no se cuenta con Parcelas Permanentes de Crecimiento PPC, que permitan establecer a ciencia cierta el crecimiento propio de sus bosques, lo que se entendería como el Incremento Medio Anual – IMA. No obstante y conforme con la literatura, las tasas de crecimiento promedio para bosques tropicales van de 1 a 3 m³/Has/año, siendo para el caso del Chocó la tasa más cercana a 1 m³/Has/año.

Sobre la base de lo anterior y tomando como referencia los inventarios forestales realizados en diferentes subregiones del Chocó, tales como el Proyecto Monte Bravo para la zona Darién y Bajo Atrato, el Plan de Mejoramiento Forestal - COCOMACIA – 2008 para el Medio Atrato, el Plan de Mejoramiento Forestal ACADESAN (Consejo Comunitario General del San Juan) y ASOCASAN – 2009 (Consejo Comunitario Mayor del Alto San Juan) para la zona del San Juan, se estima que para el departamento el volumen promedio total de madera es de 260 m³/Has a partir de individuos mayores a 10cm de DAP (Diámetro a la Altura del Pecho). Sin embargo y a efectos de realizar un aprovechamiento forestal sostenible, se propone un sistema de regulación basado en Diámetros Mínimos de Corta de 60cm de DAP criterio claramente conservador respecto a la norma (Estatuto Forestal de CODECHOCO, Resolución 987 de julio 02 de 1998) que es de 40cm de DAP reforzado con un factor adicional de remanencia/semilleros para árboles mayores del DMC (Diámetro Mínimo de Corta)) que se propone sea de un 40%. Con los criterios de selección, regulación, y supuestos de crecimiento, se calcula un volumen de corta permisible de 46.99 m³ que es posible de reponer en un ciclo de corta de 20 años. Este volumen de corta refleja el carácter conservador de la propuesta ya que constituye el 55% del volumen que podría ser extraído legalmente aplicando la normatividad vigente.

Por tanto, si se multiplica el valor a extraer por el número de hectáreas con cobertura boscosa se tendría un potencial de extracción para todo el Chocó y permitiendo la renovabilidad y persistencia del recurso forestal en el tiempo de:

Potencial del extracción = $46.99 \text{ m}^3 \times 3.552.424 \text{ has}$

Potencial de extracción = $166.928.404 \text{ m}^3$

Si a este volumen se le descuenta el aprovechamiento efectivo de madera aserrada que según estudios hechos por (Medina et al 2007) corresponden a un 35%, es decir la cantidad de madera que es efectivamente transformada en el aprovechamiento convencional, se tendría un potencial equivalente de $108.503.463 \text{ m}^3$

Es necesario mencionar que al ser CODECHOCO una Corporación para el desarrollo sostenible, el cupo global de aprovechamiento forestal lo otorga el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual desde el 2009 ha venido asignando un cupo promedio anual de 300.000 m^3 a través de las resoluciones 2101 de 2009, 0421 de 2013 y 0664 de 2015. Dado que CODECHOCO no tiene ordenado forestalmente todo su territorio, en la resolución 0664 de 2015 se establece que el volumen máximo a aprovechar por hectárea es de 25 m^3 equivalente al 53% de lo propuesto en el cálculo total de volumen que inicialmente se hizo con 49.9 m^3 además que la intensidad del aprovechamiento no deberá ser superior $12.5 \text{ m}^3/\text{Has/año}$. Por lo tanto a la fecha actual, la disponibilidad de volumen maderable es de $25 \text{ m}^3 \times 3.552.424 \text{ Has}$ equivalente a un potencial de $88.810.600 \text{ m}^3$ y si le descontamos lo efectivamente aserrado y extraído del bosque que como se mencionó corresponde al 35, se tendría un potencial equivalente neto de $31.083.710 \text{ m}^3$.

Dado que el análisis sobre la oferta volumétrica de madera por subregión en el departamento del Chocó se ha llevado a cabo considerando las condiciones biofísicas y ecológicas, los valores estimados de madera se calculan de acuerdo a los tipos de bosques clasificados según metodología Corin Land Cover ajustado para Colombia, además de usar información de Planes de Manejo Forestal presentados a CODECHOCO por diferentes asistentes técnicos y estudios de ordenación forestal sin publicar elaborados por CODECHOCO entre 2012 y 2015, los cuales se encuentran en revisión por parte de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS.

La tabla 38 presenta el volumen total estimado de madera disponible como recurso energético para cada una de las subregiones.

Tabla 38. Volumen total estimado de madera por subregión

N	SUBREGION	HECTAREAS	VOLUMEN TOTAL (m ³)
1	ATRATO	1.344.276	33.606.900
2	DARIEN	1.244.959	65.500.623,41
3	PACIFICO SUR	1.098.966	26.724.150
4	PACIFICO NORTE	293.503	13.791.705,97
5	SAN JUAN	815.237	20.380.925

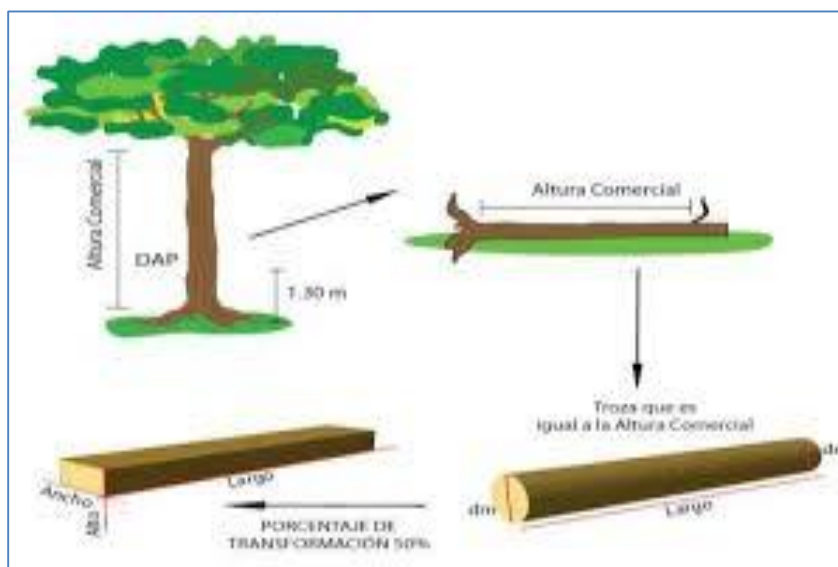
Fuente: Elaboración Propia

Es importante mencionar que el volumen expresado en la tabla 38, representa el volumen total en pie, no obstante, al momento de realizar las operaciones forestales *in situ* se presenta un gran porcentaje de desperdicio. De acuerdo a la FAO, un 60 % del total de un árbol talado se queda en el bosque, así como las especies no comerciales se dejan para corta y quema, o simplemente se talan y se dejan descomponer para facilitar el acceso a la extracción de árboles. Las prácticas de aserrar y escuadrar los rollizos en el bosque en lugar de hacerlo en el aserradero hacen que se desperdicie otro 8 a 10 % y un 30 a 50 %, respectivamente, lo cual va incrementando la cantidad de residuo forestal que puede ser usado como recurso energético. En la tabla 39, se consolida la cantidad de residuos de madera dejados en el bosque y en la Figura 41 se esquematiza el aprovechamiento forestal por etapas.

Tabla 39. Proporción de residuos de madera dejada en el bosque

PARTE O PRODUCTO DEL ÁRBOL	Proporción (%)
Dejado en el bosque	
Copa, ramas y follaje	23,0
Tocón (excluidas las raíces)	10,0
Aserrín	5,0
Aserrío	
Virutas, costeros y recortes	17,0
Aserrín y menudos	7,5
Pérdidas varias	4,0
Corteza	5,5
Madera aserrada	28,0
Total	100,0

Fuente: Elaboración propia y datos de la FAO

Figura 41. Aprovechamiento forestal en etapas

Fuente: Proyecto gobernanza Forestal

Conforme a la tabla 39, la figura 41 y lo reportado por (Medina et al, 2007) frente al desperdicio de madera en las operaciones forestales de aprovechamiento, las subregiones tendrían la siguiente oferta volumétrica, expresada en las tablas 40,41,42,43,44,45.

Tabla 40. Disponibilidad de volumen de madera posterior a la operación forestal por subregión

SUBREGIÓN	Volumen comercial m ³ (39,76% Desperdicio)	Volumen Troza m ³ (70,76% Desperdicio)	Volumen Bloque m ³ (86,41% Desperdicio)	Volumen Procesado m ³ (91,34% Desperdicio)
ATRATO	13.362.103,44	23.780.242,44	29.039.722,29	30.696.542,46
DARIEN	26.043.047,87	46.348.241,12	56.599.088,69	59.828.269,42
PACIFICO SUR	10.625.522,04	18.910.008,54	23.092.338,01	24.409.838,61
PACIFICO NORTE	5.483.582,29	9.759.011,14	11.917.416,13	12.597.344,23
SAN JUAN	8.103.455,78	14.421.542,53	17.611.157,29	18.615.936,90
Total	63.617.711,42	113.219.045,77	138.259.722,41	146.147.931,62

Fuente: Elaboración propia con datos de Medina et al y la FAO

Tabla 41. Proporción de madera disponible para la subregión del Atrato

SUBREGIÓN	Parte o producto del árbol	Proporción (%)	Volumen m ³
ATRATO	Dejado en el bosque:		12.770.622,00
	Copa, ramas y follaje	23,0	7.729.587,00
	Tocón (excluidas las raíces)	10,0	3.360.690,00
	Aserrín	5,0	1.680.345,00
	Aserrío:		20.836.278,00
	Virutas, costeros y recortes	17,0	5.713.173,00
	Aserrín y menudos	7,5	2.520.517,50
	Pérdidas varias	4,0	1.344.276,00
	Corteza	5,5	1.848.379,50
	madera aserrada	28,0	9.409.932,00
	Total	100,0	33.606.900

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

Tabla 42. Proporción de madera disponible para la subregión del Darién

SUBREGIÓN	Parte o producto del árbol	Proporción (%)	Volumen m ³
DARIEN	Dejado en el bosque:		24.890.236,90
	Copa, ramas y follaje	23,0	15.065.143,38
	Tocón (excluidas las raíces)	10,0	6.550.062,34
	Aserrín	5,0	3.275.031,17
	Aserrío:		40.610.386,51
	Virutas, costeros y recortes	17,0	11.135.105,98
	Aserrín y menudos	7,5	4.912.546,76
	Pérdidas varias	4,0	2.620.024,94
	Corteza	5,5	3.602.534,29
	madera aserrada	28,0	18.340.174,55
	Total	100,0	65.500.623,41

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

Tabla 43. Proporción de madera disponible para la subregión del Pacífico Sur

SUBREGIÓN	Parte o producto del árbol	Proporción (%)	Volumen m ³
PACIFICO SUR	Dejado en el bosque:		10.155.177,00
	Copa, ramas y follaje	23,0	6.146.554,50
	Tocón (excluidas las raíces)	10,0	2.672.415,00
	Aserrín	5,0	1.336.207,50
	Aserrío:		16.568.973,00
	Virutas, costeros y recortes	17,0	4.543.105,50
	Aserrín y menudos	7,5	2.004.311,25
	Pérdidas varias	4,0	1.068.966,00
	Corteza	5,5	1.469.828,25
	madera aserrada	28,0	7.482.762,00
	Total	100,0	26.724.150

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

Tabla 44. Proporción de madera disponible para la subregión del Pacífico Norte

SUBREGIÓN	Parte o producto del árbol	Proporción (%)	Volumen m ³
PACIFICO NORTE	Dejado en el bosque:		5.240.848,27
	Copa, ramas y follaje	23,0	3.172.092,37
	Tocón (excluidas las raíces)	10,0	1.379.170,60
	Aserrín	5,0	689.585,30
	Aserrío:		8.550.857,70
	Virutas, costeros y recortes	17,0	2.344.590,01
	Aserrín y menudos	7,5	1.034.377,95
	Pérdidas varias	4,0	551.668,24
	Corteza	5,5	758.543,83
	madera aserrada	28,0	3.861.677,67
	Total	100,0	13.791.705,97

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

Tabla 45. Proporción de madera disponible para la subregión del San Juan

SUBREGIÓN	Parte o producto del árbol	Proporción (%)	Volumen m ³
SAN JUAN	Dejado en el bosque:		7.744.751,50
	Copa, ramas y follaje	23,0	4.687.612,75
	Tocón (excluidas las raíces)	10,0	2.038.092,50
	Aserrín	5,0	1.019.046,25
	Aserrío:		12.636.173,50
	Virutas, costeros y recortes	17,0	3.464.757,25
	Aserrín y menudos	7,5	1.528.569,38
	Pérdidas varias	4,0	815.237,00
	Corteza	5,5	1.120.950,88
	madera aserrada	28,0	5.706.659,00
	Total	100,0	20.380.925

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

En el Anexo V-A se presenta un consolidado del volumen estimado de madera por cada una de las subregiones analizadas. En cuanto al análisis de la utilización de la madera como biocombustible, la humedad es el factor de mayor variación y al mismo tiempo, de mayor efecto. El contenido de humedad se ubica entre el 45 y el 55% cuando la madera es recién cortada. La densidad de la madera (ver tabla 46), depende de la cantidad del porcentaje de humedad que ésta contenga. En este estudio se considera trabajar con un 10% de humedad, y con una densidad 168 Kg/m³ cuando la madera se encuentra en la etapa de aserrín. De igual forma se toma un valor promedio de poder calorífico para la “madera seca” de 19.000 KJ/Kg, conociendo que éste depende de la composición física y química, así como del contenido de resinas de cada especie y, sobre todo, del contenido de humedad de la madera.

Se advierte, que tanto la densidad como el poder calorífico, depende de la especie de la madera y del estado en que se encuentre ésta. Por lo tanto, si se quiere estimar el potencial energético de alguna especie de madera en especial, se recomienda consultar su densidad, el poder calorífico y su porcentaje aprovechable.

Tabla 46. Densidad aparente de la madera combustible (Kg/m³)

Humedad (%)	Chips	Recortes	Cortezas	Virutas	Aserrín
10	168	178	332	105	168
20	195	200	260	120	190
30	223	227	296	136	216
40	256	265	346	160	251
50	288	320	416	192	304
60	320	410	480		

Fuente: CETEC. Centro Tecnológico de Minas Gerais

El alto contenido de volátiles es una de las características esenciales de la madera en relación con su comportamiento en el proceso de quema, factor que convierte a la madera en un combustible químicamente de bajo poder contaminante, en donde el porcentaje de ceniza (tabla 47) se calcula en 0,5 % del peso de la leña seca.

Tabla 47. Composición química, porcentaje por peso en leña seca

Elemento	Madera
Carbono	51,8
Hidrógeno	6,3
Oxígeno	41,3
Nitrógeno	0,1
Cenizas	0,5

Fuente: CETEC. Centro Tecnológico de Minas Gerais

Teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas, respecto a la densidad y el poder calorífico, el potencial energético bruto que cada subregión dispone para ser usado en procesos energéticos se presenta en la tabla 48.

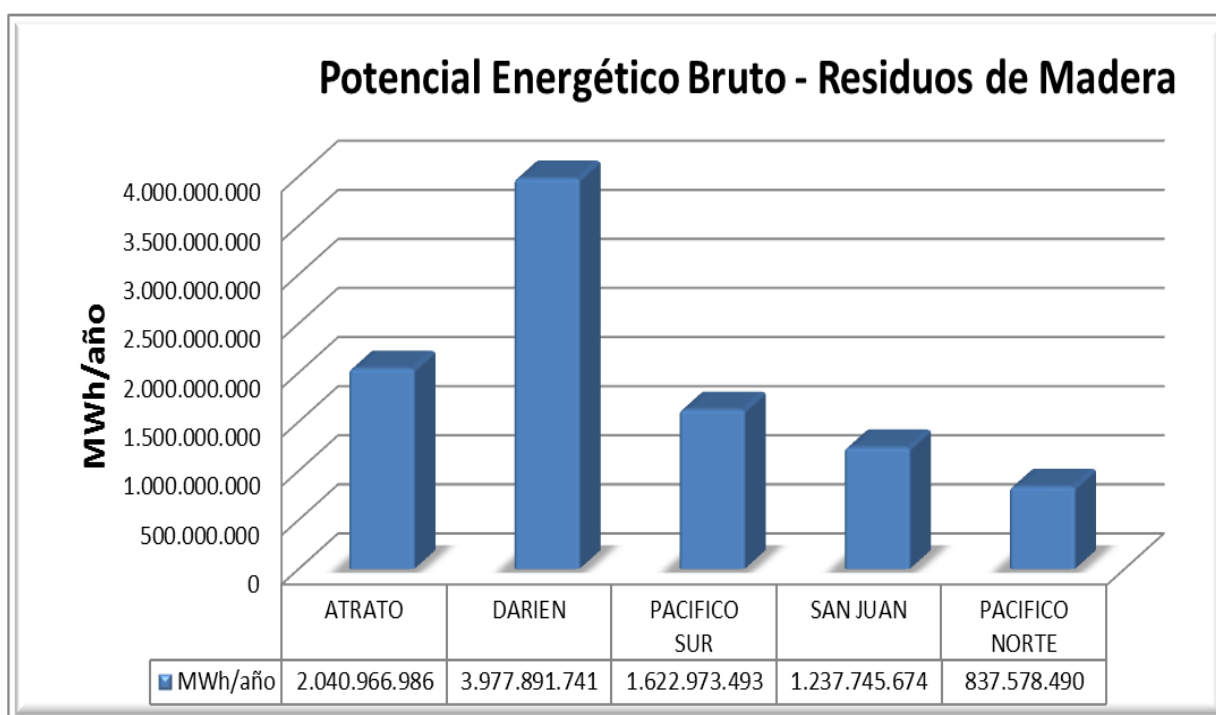
Tabla 48. Potencial Energético Bruto - Residuos de madera por subregión

Subregión	MWh/año
ATRATO	2.040.966.986
DARIEN	3.977.891.741
PACIFICO SUR	1.622.973.493
SAN JUAN	1.237.745.674
PACIFICO NORTE	837.578.490

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en la Figura 42, el Darién se presenta como una de las subregiones con mayor recursos renovables con fines energéticos, con 3.977,89 MWh/año, provenientes del uso de residuos maderables, seguida de la subregión del Atrato con 2.040,97 MWh/año, Pacífico Sur con 1.622,97 MWh/año, San Juan con 1.237,75 MWh/año y Pacífico Norte con 837,56 MWh/año, lo que hace que todas las subregiones del Chocó sean de interés en cuanto al potencial energético bruto de los residuos de la madera lo cual se representa en el mapa del Anexo V – B.

Figura 42. Potencial Energético Bruto de Residuos de Madera



Fuente: Elaboración propia.

Los residuos maderables, provienen de lo dejado en el bosque, después de talar el árbol y de los aserríos, que en comparación con los residuos de cultivos agrícolas, éstos le brindan al departamento del Chocó un potencial energético bastante considerable que debería ser aprovechado en la producción de energía térmica y eléctrica, mediante procesos térmicos como la gasificación y la combustión, lo cual impulsaría la fabricación de pellets en el departamento, los cuales son considerados como un biocombustible cilíndrico hecho por la compresión de virutas y astillas molturadas y secas, procedentes de residuos de madera limpios, de serrerías o de otras industrias forestales o agroforestales.

6.3 Resultados de la potencialidad del recurso de la biomasa

De acuerdo al análisis realizado para las diferentes subregiones del departamento en relación con la velocidad promedio y dirección del viento se concluye:

- El análisis del recurso de la biomasa en las distintas subregiones confirma un alto potencial bioenergético para el departamento del Chocó. Las subregiones identificadas con mayor potencial del recurso de biomasa con fines de desarrollo de proyectos de generación de energía corresponde a la del Darién para el caso de cultivos y residuos agrícolas, así como el Pacífico Sur, el Atrato y nuevamente el Darién para el caso de residuos de madera.
- En el departamento no se dispone de fuentes de información permanentes sobre el estado de la evolución de la biomasa y su potencialidad energética insitu, por lo cual es recomendable que se promuevan proyectos asociados a los usos finales de los residuos y cultivos energéticos de los productos descritos en este estudio, con el fin de hacer sostenible el proceso de determinación de la oferta de biomasa mediante mecanismos de medición por subregiones, los cuales incentiven tanto la investigación como el desarrollo de proyectos energéticos que hagan uso del alto potencial de este recurso en fases subsiguientes.
- Para el caso del desarrollo específico de proyectos de generación de energía con biomasa, cabe resaltar que el estudio presentado deber ser tomado como una referencia y que para el dimensionado y diseño específico de proyectos térmicos o bioquímicos debe realizarse la correspondiente caracterización geográfica, social, ambiental y cálculo de las necesidades energéticas que permita establecer de manera adecuada la oferta de energía necesaria con el fin de promover la sostenibilidad de las soluciones.

ANEXOS

ANEXO I – A. Mapa de radiación solar multianual sobre superficie horizontal

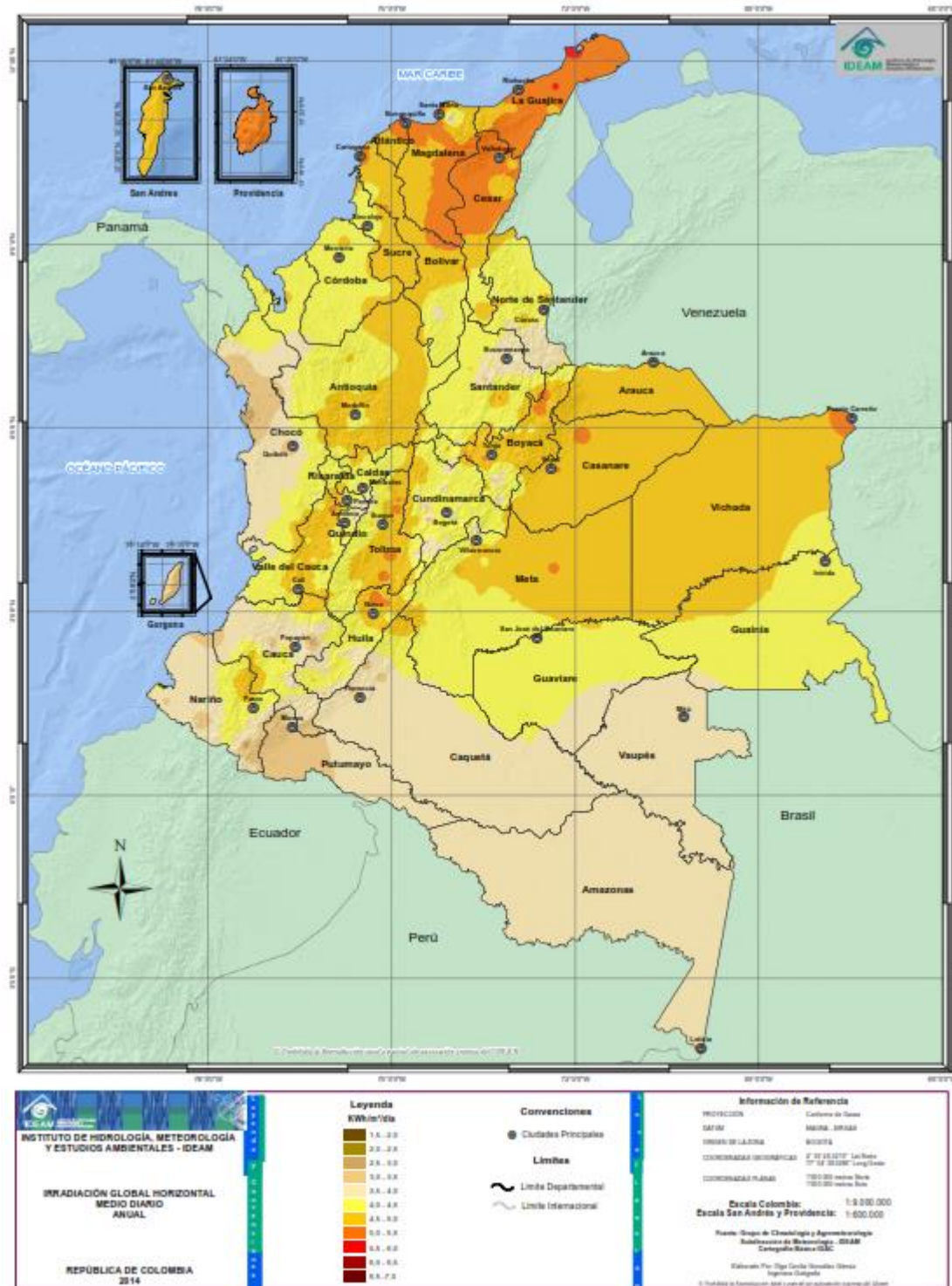
ANEXO I – B. Mapa multianual de distribución del brillo solar medio diario

ANEXO II. Comportamiento mensual de la radiación solar global promedio multianual por subregiones - 3 TIER

ANEXO III. Mapa de radiación solar global promedio multianual Departamento del Chocó Oferta Energética PERS Chocó

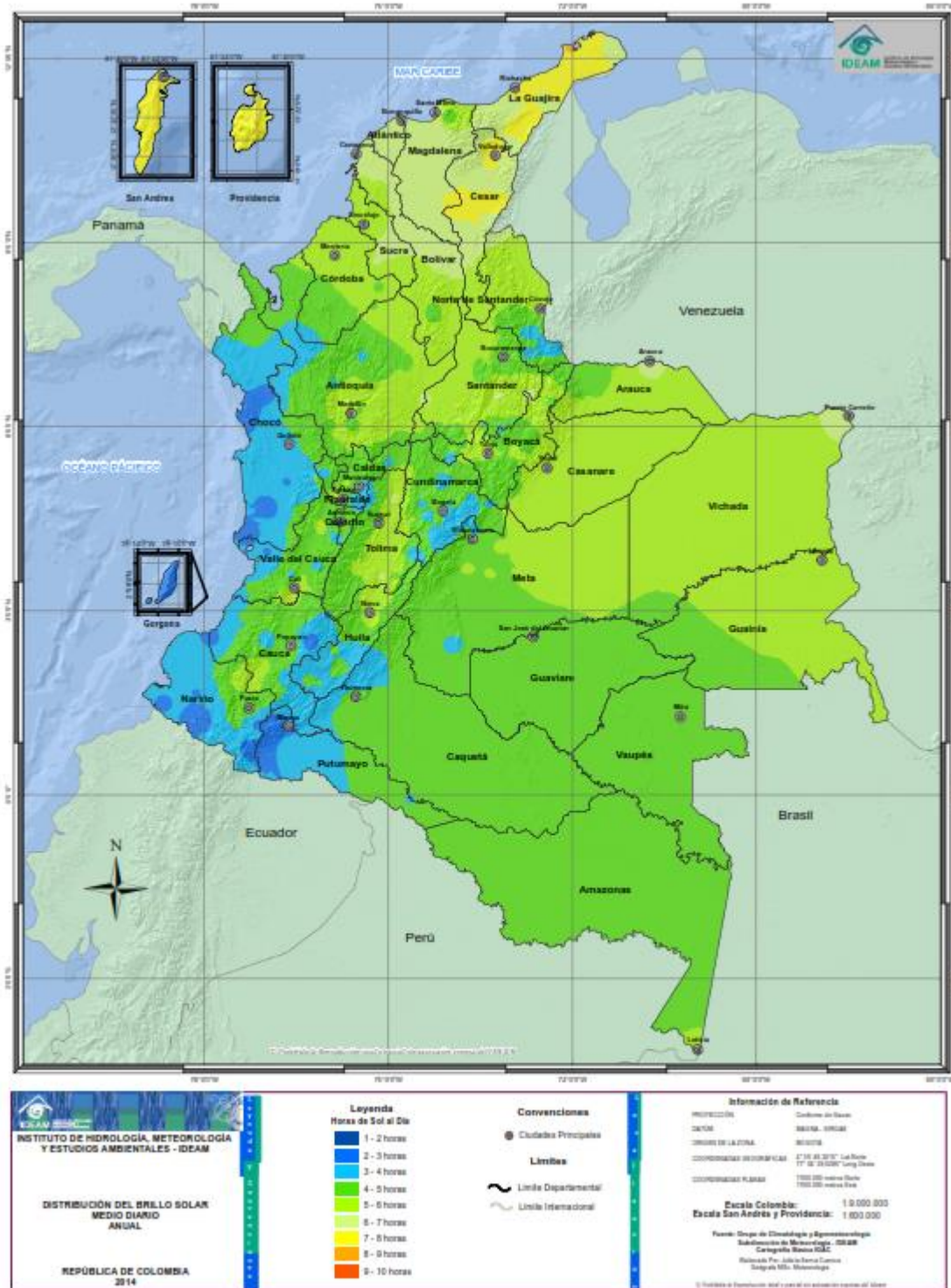
ANEXO IV. Mapas de potencialidad de biomasa derivada de cultivos y residuos energéticos para Departamento del Chocó

ANEXO I – A. Mapa de radiación solar multianual sobre superficie horizontal



Fuente: Atlas Interactivo IDEAM – UPME. 2015

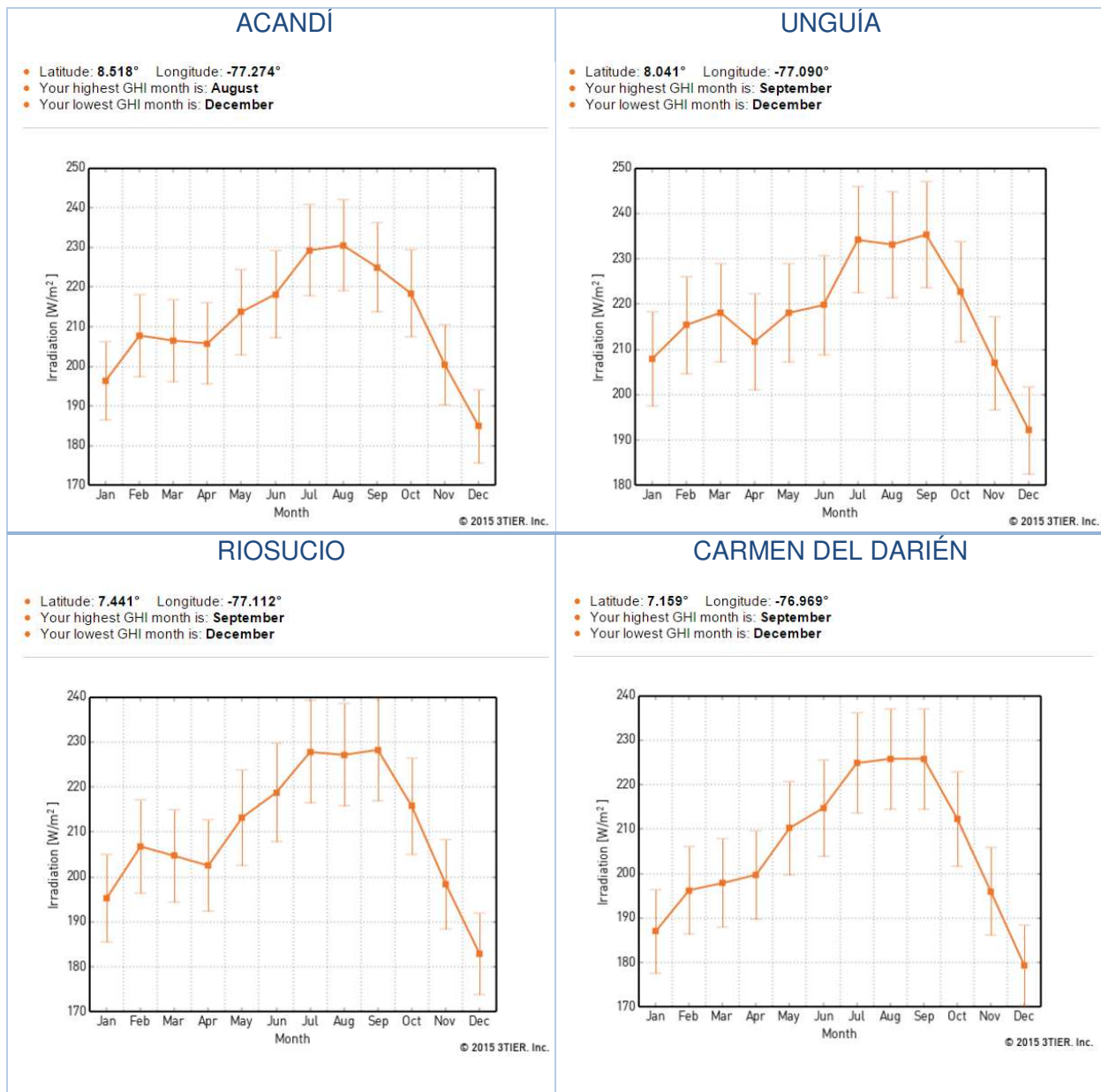
ANEXO I – B. Mapa multianual de distribución del brillo solar medio diario



Fuente: Atlas Interactivo IDEAM – UPME. 2015

ANEXO II. Comportamiento mensual de la radiación solar global promedio multianual por subregiones 3 TIER

ZONA DEL DARIEN

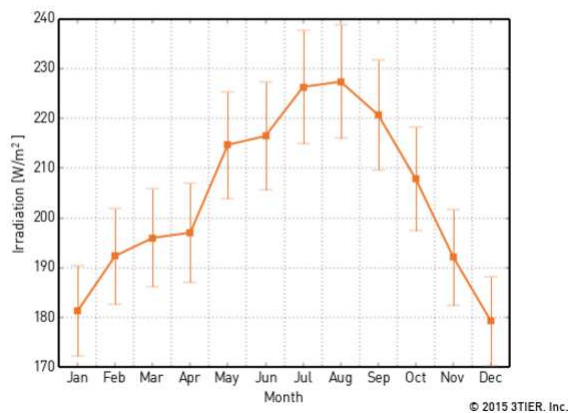


Fuente: Solar Prospecting Tools – 3TIER (Vaisala), 2015

ZONA DEL ATRATO

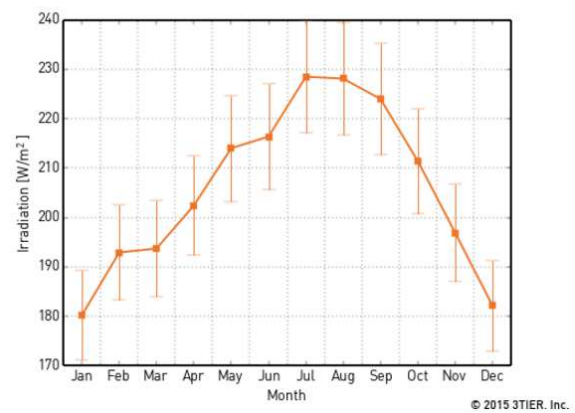
BOJAYÁ

- Latitude: **6.566°** Longitude: **-76.894°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **December**



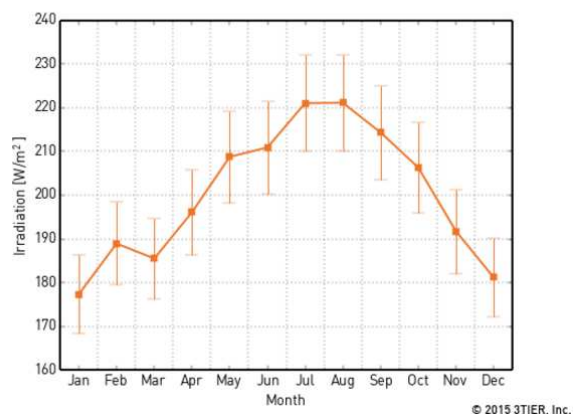
ATRATO

- Latitude: **5.576°** Longitude: **-76.605°**
- Your highest GHI month is: **July**
- Your lowest GHI month is: **January**



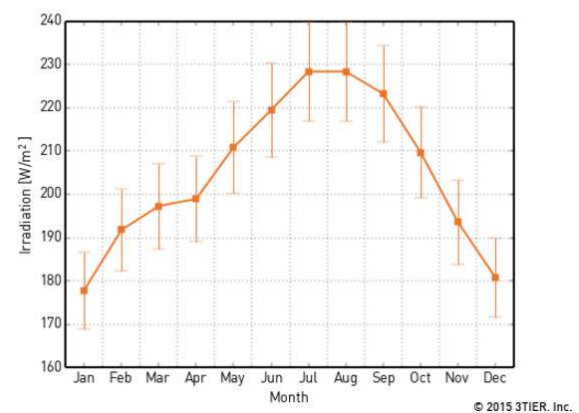
BAGADÓ

- Latitude: **5.398°** Longitude: **-76.392°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **January**



RIO QUITO

- Latitude: **5.621°** Longitude: **-76.823°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **January**

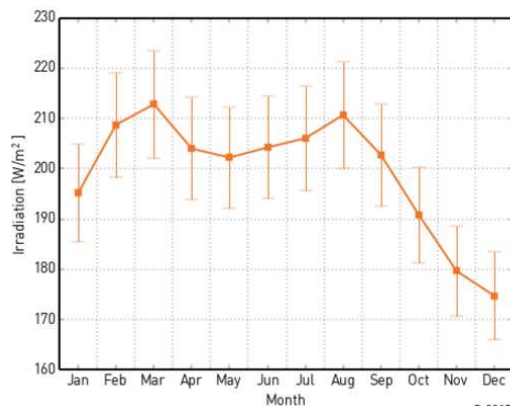


Fuente: Solar Prospecting Tools – 3TIER (Vaisala), 2015

ZONA DEL PACÍFICO NORTE

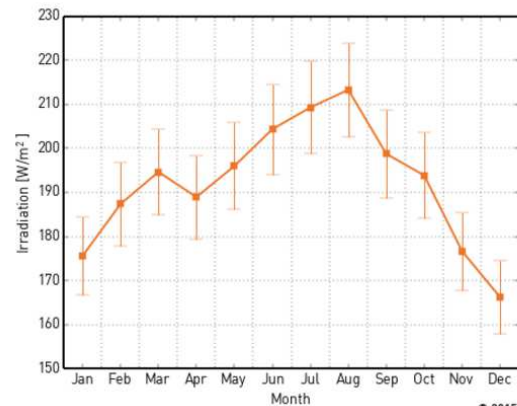
JURADÓ

- Latitude: **7.111°** Longitude: **-77.754°**
- Your highest GHI month is: **March**
- Your lowest GHI month is: **December**



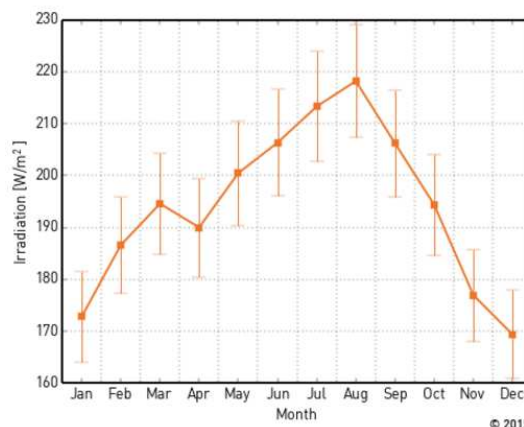
BAHIA SOLANO

- Latitude: **6.228°** Longitude: **-77.398°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **December**



NUQUÍ

- Latitude: **5.709°** Longitude: **-77.257°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **December**

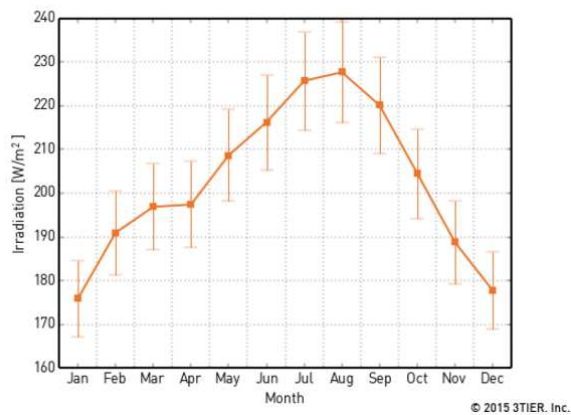


Fuente: Solar Prospecting Tools – 3TIER (Vaisala), 2015

ZONA DEL PACÍFICO SUR

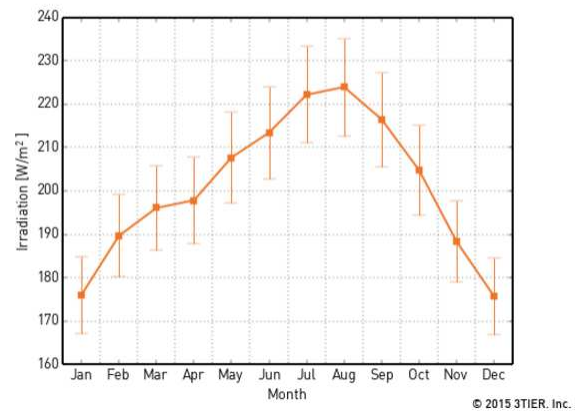
ALTO BAUDÓ

- Latitude: **5.523°** Longitude: **-76.972°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **January**



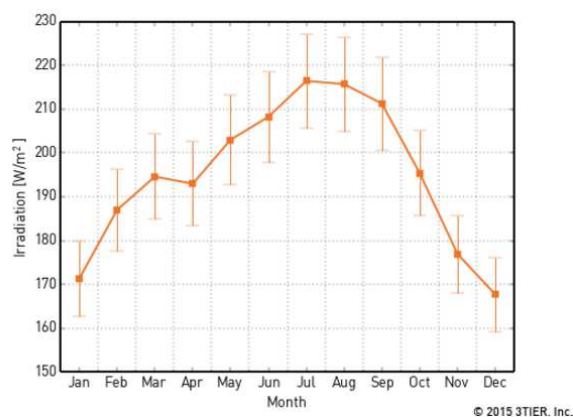
MEDIO BAUDÓ

- Latitude: **5.112°** Longitude: **-76.972°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **December**



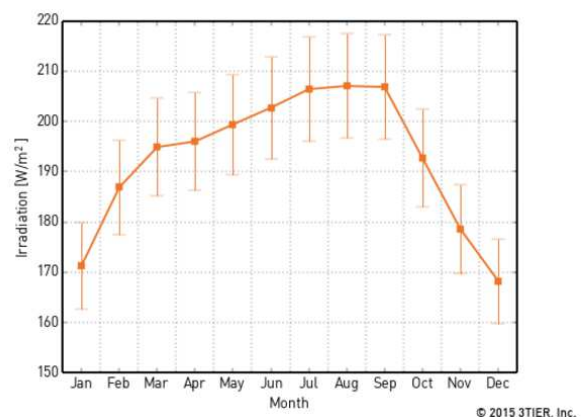
BAJO BAUDÓ

- Latitude: **4.977°** Longitude: **-77.353°**
- Your highest GHI month is: **July**
- Your lowest GHI month is: **December**



LITORAL DE SAN JUAN

- Latitude: **4.257°** Longitude: **-77.358°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **December**

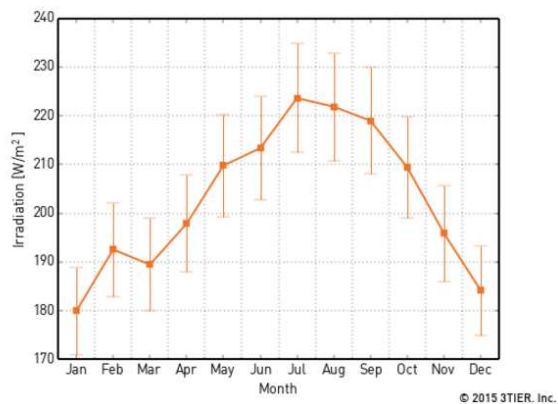


Fuente: Solar Prospecting Tools – 3TIER (Vaisala), 2015

ZONA DEL SAN JUAN

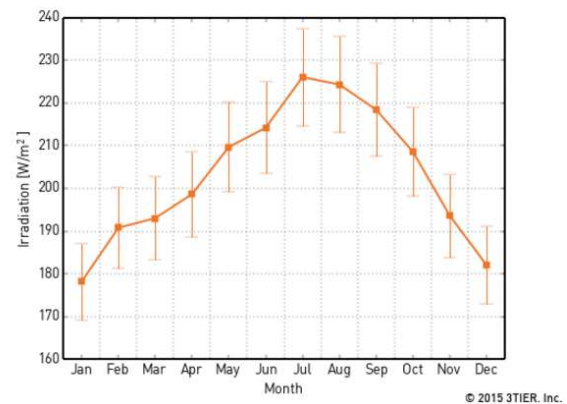
TADÓ

- Latitude: **5.249°** Longitude: **-76.561°**
- Your highest GHI month is: **July**
- Your lowest GHI month is: **January**



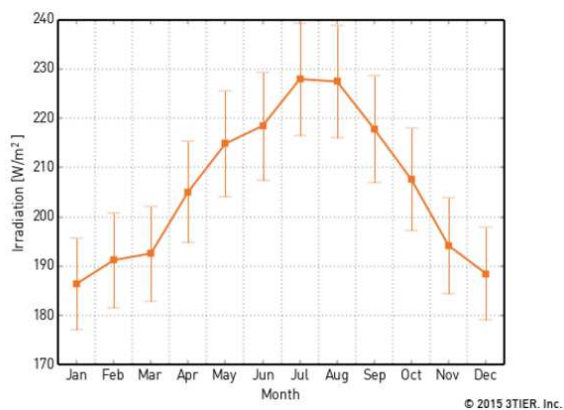
MEDIO SAN JUAN

- Latitude: **5.078°** Longitude: **-76.712°**
- Your highest GHI month is: **July**
- Your lowest GHI month is: **January**



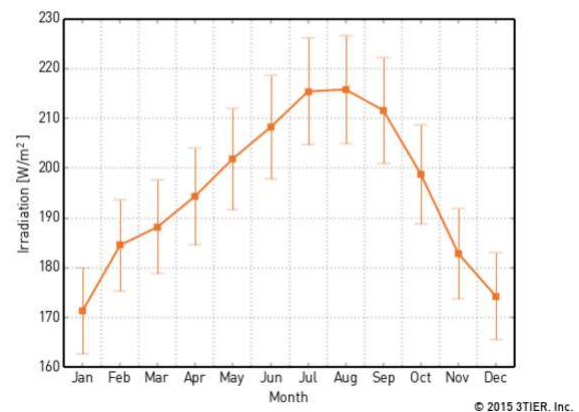
SAN JOSE DEL PALMAR

- Latitude: **5.001°** Longitude: **-76.240°**
- Your highest GHI month is: **July**
- Your lowest GHI month is: **January**



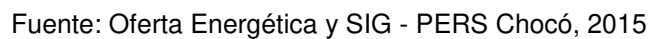
SIPÍ

- Latitude: **4.632°** Longitude: **-76.627°**
- Your highest GHI month is: **August**
- Your lowest GHI month is: **January**



Fuente: Solar Prospecting Tools – 3TIER (Vaisala), 2015

Oferta Energética PERS Chocó



MUNICIPIOS PRODUCTORES DE ARROZ

República de Panamá

OCEANO PACÍFICO

Acandí

MAR CARIBE

27800

Unguía

Riosucio

27615

Bajirá

Carmen del Darión

27150

Belavieta

Ciudad Mutis

Quibdó

27001

El Carmen

Belén de Bajirá

27086

Medio Baudó (Boca de Pepé)

27430

Quibdó

27001

Riosucio

27615

Carmen del Darión

27150

Bajo Baudó

27077

Unguía

27800

Convenções

- Cabecera municipal
- Vías
- Quebradas
- Ríos
- Ciénagas
- Bancos de Arena
- Municipios del Chocó
- Departamentos de Colombia
- Límite marítimo
- Repúblicas de Panamá

0 15 30 40 50m

ESC.: 1:2.381.000

Municipios Productores de Arroz

Código	Nombre
27077	Bajo Baudó (Pizarro)
27150	Carmen del Darión (curbaradó)
27615	Riosucio
27001	Quibdó
27430	Medio Baudó (Boca de Pepé)
27086	Belén de Bajirá
27800	Unguía

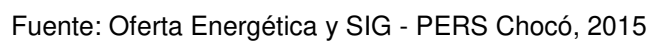
Mapas de Referencia

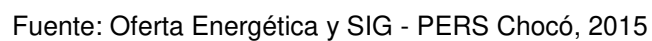
Proyectos y Responsables

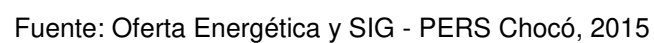
Parámetros Técnicos

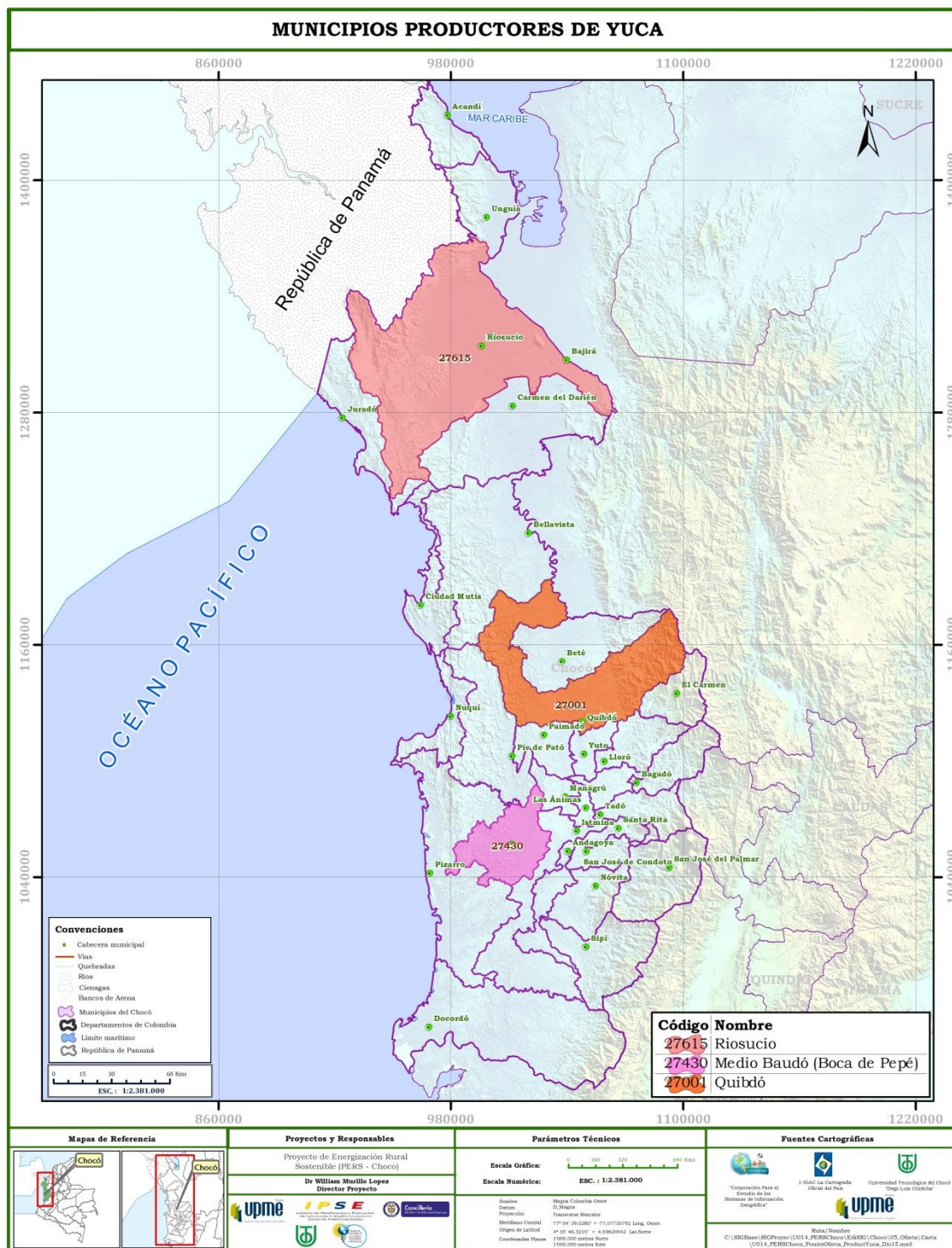
Fuentes Cartográficas

121



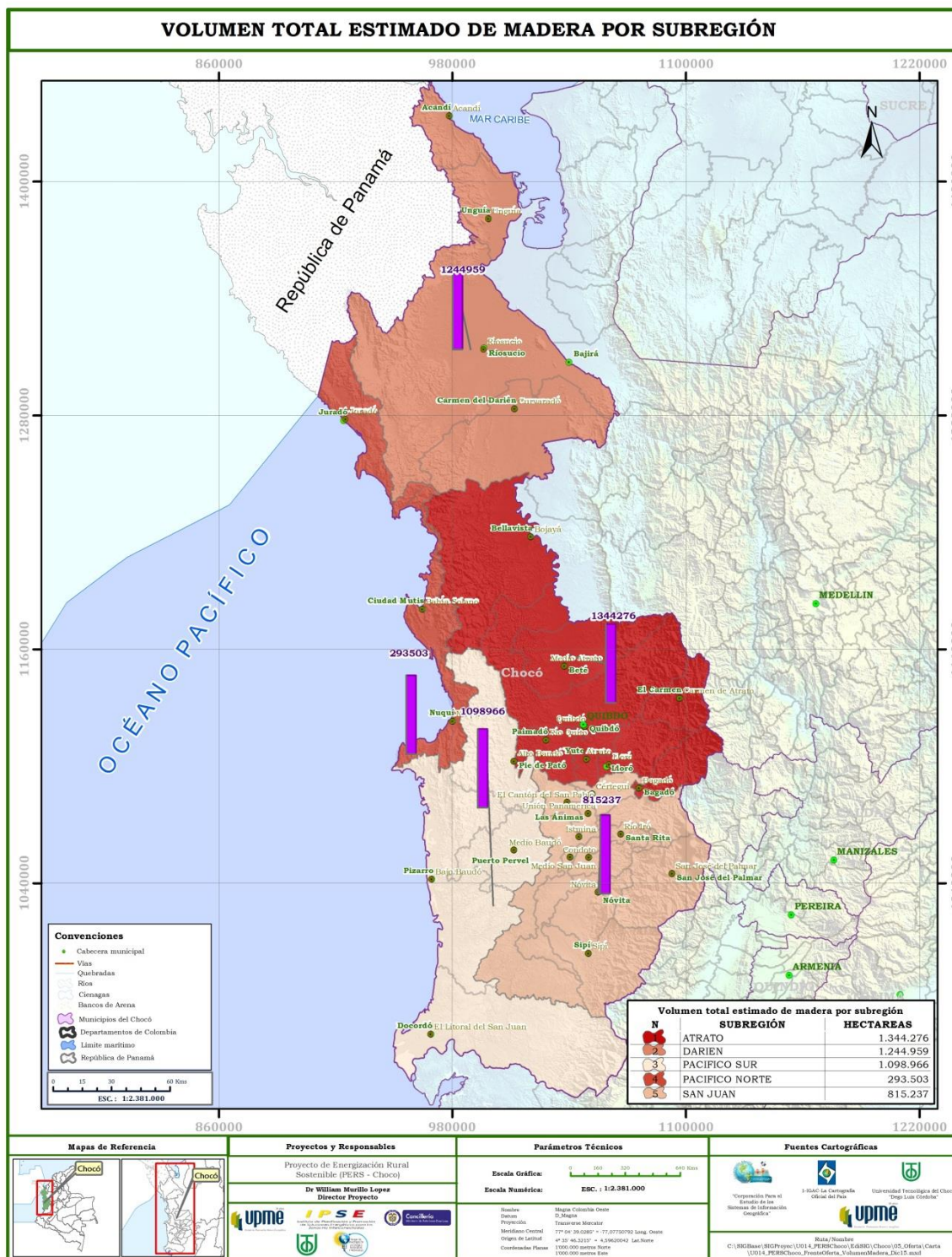






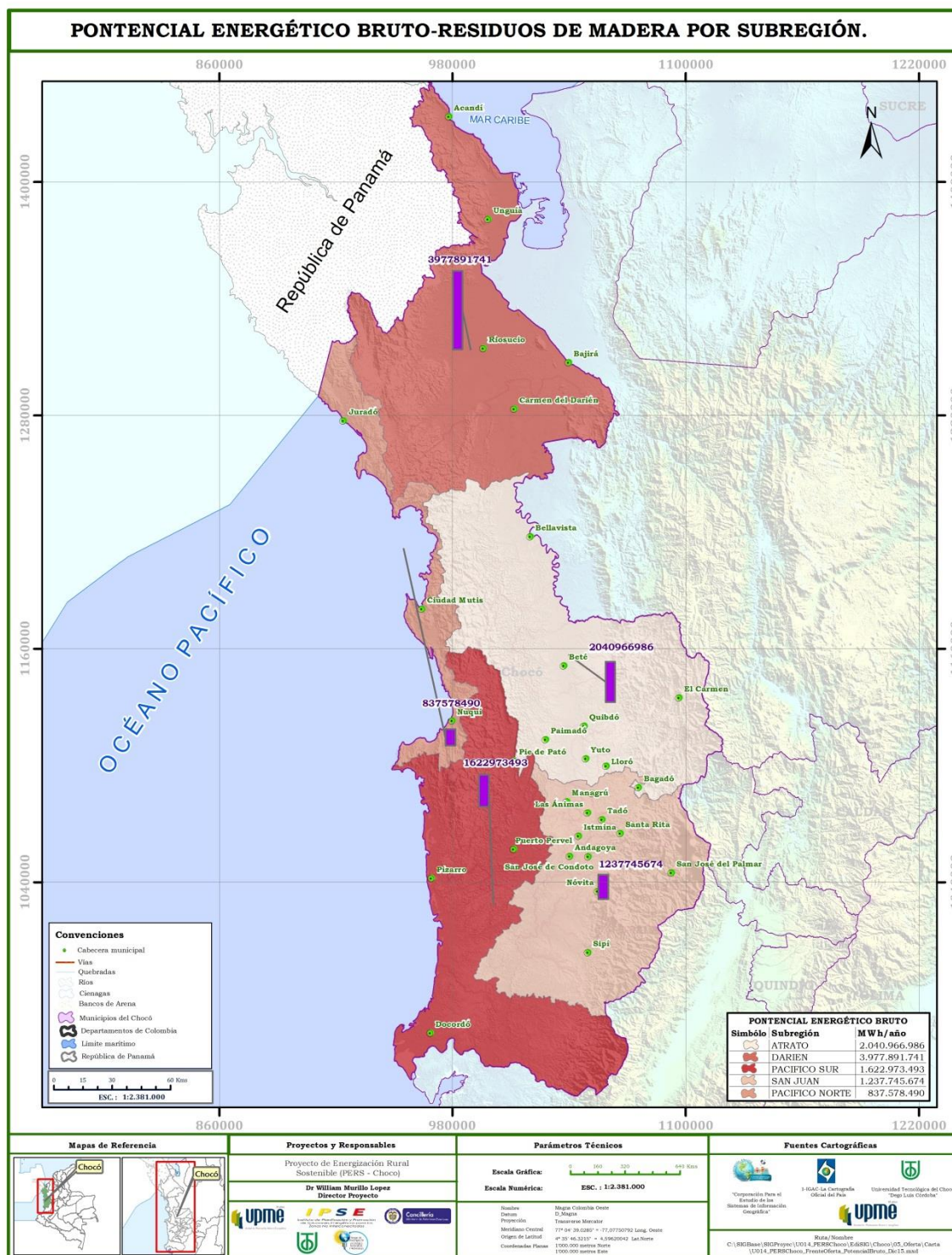
Fuente: Oferta Energética y SIG - PERS Chocó, 2015

ANEXO V - A. Mapa de volumen estimado de madera por subregiones



Fuente: Oferta Energética y SIG - PERS Chocó, 2015

ANEXO V - B. Mapa de potencialidad de biomasa derivada de residuos de madera



Fuente: Oferta Energética y SIG - PERS Chocó, 2015

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, G. I. (2000). Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango. Recuperado el 30 de 06 de 2015, de Proyecto BIOPACIFICO: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/geografia/cpacifi2/68.htm>
- Assureira, E. (2002). Combustible alternativo: La cascarilla de arroz.
- Cardona, C. A. Sánchez O. J., Montoya, M. I. & Quintero, J. A. (2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia et Técnica*. Año XI. No 28. Octubre UTP. ISSN 0122-170.
- CETEC, (1981). Produção e utilização de carvão vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- CETEC, (1982). Produção e utilização de carvão vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- CREEB, (2006). Características del cultivo del cacao en Santander. Centro Regional de Estudios Económicos. Bucaramanga. Noviembre.
- Chocó 7 Días. (s.f.). Minminas tiene archivados 34 proyectos de centrales hidroeléctricas en el Chocó. Chocó 7 Días.
- CIOH. (s.f.). Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hídricas. Obtenido de Climatología del Caribe: <http://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ClimatologiaCaribe7.php>
- CODECHOCO, (2009). *Guía Ambiental para Proyectos de Transmisión de Energía Eléctrica*. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó.
- CODECHOCO, (1998). *Nuevo Estatuto Forestal de CODECHOCO*. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó.
- Consorcio Energético Corpoema. (2010). Unidad de Planeación Mineroenergética. Obtenido de Formulación de un Plan de Desarrollo Para las FANCE en Colombia: http://www.upme.gov.co/Sigic/Informes/Informe_Avance_01.pdf
- Conway, R. (2005). Biofuel production: implications for grain industry and consumers. Lincoln, NE.
- DANE. (2005). Censo General: Chocó. Chocó: DANE.
- El-Sharkawy MA. (2004). Cassava Biology and Physiology. *Plant Mol. Biol.* 56:481-501.
- Diario El País. (2012). La pesca en el Pacífico colombiano se encuentra entre la riqueza y el olvido. Obtenido de <http://www.elpais.com.co/elpais/valle/noticias/pesca-pacifico-colombiano-encuentra-entre-riqueza-y-olvido>.

- FAO, Enfoques. (2006). *El mercado de almidón añade valor a la yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: URL: <http://www.fao.org/AG/esp/revista/0610sp1.htm> 2006.
- Gobernación de Chocó. (2015). *Municipios del Departamento del Chocó*. Gobernación de Chocó. Obtenido de: http://www.choco.gov.co/territorios.shtml?scrl=41&apc=bbxx-4-&scr_41_Go=1
- IDEAM. (2015). *Atlas Climatológico de Colombia*. Insituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Sistema de Información Ambiental, Atlas Interactivo Obtenido de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IDEAM. (2015). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Insituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Sistema de Información Ambiental, Atlas Interactivo Obtenido de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (2015). *Atlas de Viento de Colombia*. Insituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Sistema de Información Ambiental, Atlas Interactivo Obtenido de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>
- IDEAM. (2015). *Meteorología del Océano Pacífico*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (2015).
- IGAC. (s.f.). Mapa Departamental del Chocó. Bogotá D.C., Departamento del Chocó, Colombia.
- INECC. (s.f.). *El Mar Caribe. Instituto Nacional de Ecología y cambio Climático*, México. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/619/caribe.pdf>.
- IRENA, (2015). Global Atlas for Renewable Energy. International Renewable Energy Agency.
- Jansson C, Westerbergh A, Zhang J, HU X, Sun C. (2009). *Cassava, a potential biofuel crop in (the) People's Republic of China*. Applied Energy. 2009; S95-S99.
- LEISA, (2005). Mejorando la producción de panela en Colombia. Revista de Agroecología.
- Martínez, C. (30 de 08 de 2012). ChocoGeografía. Obtenido de Departamento del Chocó: Parte Administrativa: <http://chocogeografia.blogspot.com/2012/09/parte-dministrativa.html>
- Martínez, C. (30 de 08 de 2012). ChocoGeografía. Obtenido de Departamento del Chocó: Hidrografía: <http://chocogeografia.blogspot.com/2012/09/hidrografia.html>
- Medina Arroyo H. Martínez M. Barrios F. Bonilla J. (2007). *Determinación del porcentaje de desperdicio en las labores de aprovechamiento forestal en un bosque pluvial tropical en el municipio de Medio San Juan, Chocó, Colombia*. NOVA - Publicación Científica En Ciencias Biomédicas - ISSN:1794-2470 Vol.5 No. 8 Julio - Diciembre de 2007:101-212
- Merencio D, Giraldo G. Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado.

- Mojica A, Paredes J. 820049. El cultivo de la caña panelera y la agroindustria panelera en el departamento de Santander.
- OAS. (2014). Organization of American States. Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea30s/ch048.htm>.
- Ospina PB, Ceballos H, Alvarez E, Bellotti AC, Calvert LA, et ál. *La yuca en el Tercer Milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. CIAT: Cali 2002.
- PZEPC 2002.
- Quesada Z. Marquez E, Mena J. Diagnóstico del Recurso Hídrico en el Departamento del Chocó. CODECHOCÓ.
- SIERRA, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*. Universidad de Sucre.
- SIOA. (2013). *Sistema de Información de Oferta Agropecuaria, Evaluaciones Agropecuarias Municipales*.
- Tonukari NJ. (2004). Cassava and the future of starch. *Electron. J Biotechnol.* 7(1):5-8.
- UPME. (2003). *Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. (2010). *Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo*. Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. (2013). *Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2013-2027*. Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. SI3EA. (2015). *Sistema de Información de Eficiencia Energética Y Energías Alternativas*. Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. (2015). *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética.
- Vargas, F.S., Guerrero, C., Arango J. (2008). *Tecnologías para el aprovechamiento de los Biocombustibles*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Vargas F, Guerrero W. (2010). *Transformación microbiana del bagazo de caña panelera en azúcares fermentables útiles para la obtención de bioetanol*, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2010.
- Vaz Rossell. Carlos E. (2009). *Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: integration to conventional bioethanol production process*, Universidad de Campinas, Brazil.
- Vergagni, G. (2004). *Industria del etanol a partir del maíz*. MAIZAR (V&A Desarrollos Empresarios).
- 3TIER. (2015). *Renewable Energy Power Forecasting*. Vaisala

3TIER. (2015). Solar Prospecting Tools, *Renewable Energy Power Forecasting*. Vaisala

3TIER. (2015). Wind Prospecting Tools, *Renewable Energy Power Forecasting*. Vaisala

Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Chocó (PERS-CHOCÓ)

Convenio Interinstitucional CV008 DE 2014

Universidad Tecnológica del Chocó

Eduardo García
RECTOR

William Murillo
COORDINADOR PERS CHOCÓ

Ricardo Sanabria
COORDINADOR TÉCNICO PERS CHOCÓ

Pedro Pineda
COORDINADOR OFERTA ENERGÉTICA PERS CHOCÓ

Edison Banguero
ASISTENTE DE OFERTA ENERGÉTICA PERS CHOCÓ

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

USAID, Programa de Energías Limpias para Colombia (CCEP)

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE)

Ministerio de Relaciones Exteriores Cancillería de Colombia



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DEL CHOCÓ
"DIEGO LUIS CÓRDOBA"





Coordinación de Oferta Energética
PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL SOSTENIBLE DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ
PERS CHOCÓ

2015