

Paz

Vida y Futuro

Energía Sostenible

Evolución

## OFERTA ENERGETICA DE NORTE DE SANTANDER



Plan de Energización Rural Sostenible

**pers**  
NORTE DE SANTANDER



## Tabla de Contenido

Presentación .....	12
1.    Introducción .....	14
2.    Objetivos .....	16
2.1.  Objetivo general .....	16
2.2.  Objetivos específicos .....	16
3.    Aspectos Generales .....	17
3.1.  Contexto Regional .....	17
3.2.  Sistema Interconectado Nacional .....	18
3.3.  Canasta Energética Actual de Norte de Santander .....	20
3.4.  Plan de Energización Rural Sostenible de Norte De Santander .....	21
4.    Potencial Energético de Norte De Santander .....	27
4.1    Energías Renovables.....	27
4.2    Energía Solar Fotovoltaica .....	29
4.2.1.  Marco teórico.....	29
4.2.2.  Metodología .....	33
4.2.3.  Resultados y análisis de resultados .....	40
4.2.3.1.  Caracterización de la Oferta De Energía Solar .....	40
4.2.3.2.  Mapas de radiación.....	66
4.2.3.3.  Recurso Solar de Norte de Santander.....	70

4.2.3.4.	Promedio de insolación por Subregiones .....	72
4.2.3.5.	Análisis del Recurso Solar del Departamento.....	77
4.2.3.6.	Oferta de Energía Solar en Norte de Santander .....	79
4.2.3.7.	Potencial Solar de Norte de Santander .....	81
4.3	Energía a Partir de Biomasa .....	83
4.3.1.	Marco teórico.....	83
4.3.2.	Metodología .....	95
4.3.3.	Resultados y análisis de resultados .....	97
4.4	Energía Hídrica.....	120
4.4.1.	Marco teórico .....	120
4.4.2.	Metodología .....	143
4.4.3.	Resultados y análisis de resultados .....	148
4.5	Energía Eólica.....	152
4.5.1.	Marco teórico .....	152
4.5.2.	Metodología .....	160
4.5.3.	Resultados y análisis de resultados .....	160
5.	Conclusiones .....	178
6.	Bibliografía.....	186
Anexos.....		198

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Canasta energética de Norte de Santander .....	21
<b>Tabla 2.</b> Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	32
<b>Tabla 3.</b> Estaciones de radiación solar del IDEAM en Norte de Santander.....	36
<b>Tabla 4.</b> Estaciones de brillo solar del IDEAM en Norte de Santander.....	36
<b>Tabla 5.</b> Estaciones meteorológicas utilizadas.....	37
<b>Tabla 6.</b> Coeficientes de regresión-Estación UFPS .....	42
<b>Tabla 7.</b> Estadísticos de regresión-Estación UFPS .....	42
<b>Tabla 8.</b> Coeficientes de regresión-Estación UNIPAMPLONA.....	45
<b>Tabla 9.</b> Estadísticos de regresión-Estación UNIPAMPLONA.....	45
<b>Tabla 10.</b> Coeficientes de regresión-Estación Herrán.....	47
<b>Tabla 11.</b> Estadísticos de regresión-Estación Herrán.....	48
<b>Tabla 12.</b> Insolación-Parque Nacional Tamá .....	50
<b>Tabla 13.</b> Insolación solar-Estación Ragonvalia.....	52
<b>Tabla 14.</b> Insolación solar-Estación Blonay Chinácota .....	52
<b>Tabla 15.</b> Insolación solar- Estación Ábrego Centro Administrativo .....	54
<b>Tabla 16.</b> Insolación solar-Estación Escuela Agronómica de Cáchira.....	54
<b>Tabla 17.</b> Insolación solar- Estación Instituto Agronómico de Convención.....	55
<b>Tabla 18.</b> Insolación solar-Estación Instituto Agronómico Convención .....	56
<b>Tabla 19.</b> Insolación solar-Estación Aeropuerto Aguas Claras, Ocaña .....	57
<b>Tabla 20.</b> Insolación solar-Estación ISER Pamplona.....	58
<b>Tabla 21.</b> Insolación solar-Estación Finca La Palmita, Pamplonita.....	60
<b>Tabla 22.</b> Insolación solar-Estación Silos .....	60

<b>Tabla 23.</b> Insolación Solar-Estación Tibú .....	61
<b>Tabla 24.</b> Insolación solar-Estación Aeropuerto Camilo Daza .....	62
<b>Tabla 25.</b> Insolación solar-Estación Risaralda, El Zulia .....	63
<b>Tabla 26.</b> Insolación solar- Estación Granja HJC, Cucutilla.....	64
<b>Tabla 27.</b> Insolación solar-Estación Francisco Romero, Salazar .....	65
<b>Tabla 28.</b> Escala de insolación solar global-Atlas del IDEAM.....	66
<b>Tabla 29.</b> Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 1 .....	67
<b>Tabla 30.</b> Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 2 .....	67
<b>Tabla 31.</b> Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 3 .....	68
<b>Tabla 32.</b> Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 4 .....	68
<b>Tabla 33.</b> Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 5 .....	69
<b>Tabla 34.</b> Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 6 .....	69
<b>Tabla 35.</b> Parámetros de radiación solar por municipio.....	81
<b>Tabla 36.</b> Descripción de la ruta metodológica desarrollada - Componente de Biomasa - PERS NDS.....	95
<b>Tabla 37.</b> Oferta energética - cultivo de plátano - Norte de Santander.....	98
<b>Tabla 38.</b> Oferta energética - cultivo de caña panelera - Norte de Santander.....	101
<b>Tabla 39.</b> Oferta energética - cultivo de palma de aceite - Norte de Santander.....	103
<b>Tabla 40.</b> Oferta energética - cultivo de arroz - Norte de Santander.....	108
<b>Tabla 41.</b> Oferta energética - cultivo de café - Norte de Santander.....	110
<b>Tabla 42.</b> Oferta energética - cultivo de cacao - Norte de Santander.....	115
<b>Tabla 43.</b> Oferta energética - Producción bovina - Norte de Santander.....	118
<b>Tabla 44.</b> Estaciones representativas de Precipitación IDEAM en el departamento .....	131

<b>Tabla 45.</b> Estaciones representativas de Precipitación IDEAM en el departamento .....	133
<b>Tabla 46.</b> Concesiones de agua a sistemas de riego en el departamento. ....	138
<b>Tabla 47.</b> PCH en proceso de obtener licencias ambientales. ....	141
<b>Tabla 48.</b> Clasificación de aerogeneradores.....	157
<b>Tabla 49.</b> Densidad de Potencia del viento por Región. ....	162
<b>Tabla 50.</b> Estaciones IDEAM como parámetro Temperatura para el departamento.....	168
<b>Tabla 51.</b> Estaciones IDEAM como parámetro Viento para el departamento. ....	169
<b>Tabla 52.</b> Estaciones variable viento del IDEAM con periodos de tiempo de las series. ....	177

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Consumo de Energéticos en Colombia.....	19
<b>Figura 2.</b> Matriz energética Colombia. ....	20
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo para el análisis de la oferta solar FV .....	35
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo de interpolación de datos de datos.....	38
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo para determinar los coeficientes de Angstrom-Prescott .....	39
<b>Figura 6.</b> Regresión lineal entre radiación relativa y brillo solar-Estación UFPS .....	41
<b>Figura 7.</b> Insolación mensual estimada-Estación UFPS .....	43
<b>Figura 8.</b> Regresión lineal entre radiación relativa y brillo solar -Estación UNIPAMPLONA .....	44
<b>Figura 9.</b> Insolación mensual estimada-Estación UNIPAMPLONA.....	46
<b>Figura 10.</b> Regresión lineal entre radiación relativa y brillo solar -Estación Herrán.....	46
<b>Figura 11.</b> Insolación mensual estimada-Estación Herrán.....	48
<b>Figura 12.</b> Insolación mensual Parque Nacional Tamá.....	51
<b>Figura 13.</b> Función de densidad de Insolación solar en zonas rurales del departamento.....	71
<b>Figura 14.</b> Resumen de Insolación en el departamento .....	72
<b>Figura 15.</b> Promedio de Insolación en la subregión Centro.....	73
<b>Figura 16.</b> Promedio de Insolación en la subregión Norte.....	73
<b>Figura 17.</b> Promedio de Insolación en la subregión Occidente.....	74
<b>Figura 18.</b> Promedio de Insolación en la subregión Oriente.....	75
<b>Figura 19.</b> Promedio de Insolación en la subregión Suroccidente.....	75
<b>Figura 20.</b> Promedio de Insolación en la subregión Suroriente.....	76

<b>Figura 21.</b> Promedio de Insolación para los municipios del departamento. ....	76
<b>Figura 22.</b> Mapa de radiación solar de Norte de Santander .....	83
<b>Figura 23.</b> Distribución de la oferta energética - cultivo de plátano - Norte de Santander.....	99
<b>Figura 24.</b> Densidad de potencial energético - cultivo de plátano - Norte de Santander.....	99
<b>Figura 25.</b> Distribución de la oferta energética - cultivo de caña panelera - Norte de Santander.....	102
<b>Figura 26.</b> Densidad de potencial energético - cultivo de caña panelera - Norte de Santander. ....	103
<b>Figura 27.</b> Distribución de la oferta energética - cultivo de palma de aceite - Norte de Santander.....	106
<b>Figura 28.</b> Densidad de potencial energético - cultivo de palma de aceite - Norte de Santander.....	107
<b>Figura 29.</b> Distribución de la oferta energética - cultivo de arroz - Norte de Santander. ....	109
<b>Figura 30.</b> Densidad de potencial energético - cultivo de arroz - Norte de Santander. ....	112
<b>Figura 31.</b> Distribución de la oferta energética - cultivo de café - Norte de Santander.....	113
<b>Figura 32.</b> Densidad de potencial energético - cultivo de café - Norte de Santander. ....	114
<b>Figura 33.</b> Distribución de la oferta energética - cultivo de cacao - Norte de Santander. ....	116
<b>Figura 34.</b> Densidad de potencial energético - cultivo de cacao - Norte de Santander.....	116
<b>Figura 35.</b> Distribución de la oferta energética - producción bovina - Norte de Santander. ....	119
<b>Figura 36.</b> Densidad de potencial energético - producción bovina - Norte de Santander.....	121
<b>Figura 37.</b> Cuencas Norte de Santander.....	122
<b>Figura 38.</b> Divisoria de cuencas y recurso hídrico en el departamento. ....	123

<b>Figura 39.</b> Divisoria de cuencas, recurso hídrico y estaciones hidrometeorológicas del IDEAM en el departamento.....	125
<b>Figura 40.</b> Estaciones Hidrometeorológicas requeridas en el componente Hídrico sin filtrar y divisoria municipal del departamento.....	126
<b>Figura 41.</b> Estaciones Hidrometeorológicas requeridas en el componente Hídrico segundo filtro y divisoria municipal del departamento.....	128
<b>Figura 42.</b> Subregiones y divisoria municipal del departamento Norte de Santander.....	128
<b>Figura 43.</b> Subregiones, divisoria municipal del departamento Norte de Santander y estaciones hidrometeorológicas del IDEAM.....	130
<b>Figura 44.</b> Estaciones representativas Precipitación IDEAM en el departamento .....	131
<b>Figura 45.</b> Ciclos de Precipitación Estación Camilo Daza .....	132
<b>Figura 46.</b> Ciclos de Precipitación Estación Parque Nacional Tama.....	133
<b>Figura 47.</b> Estaciones representativas Caudal IDEAM en el departamento .....	134
<b>Figura 48.</b> Ciclos de Caudales Estación La Donjuana Aut.....	135
<b>Figura 49.</b> Ciclos de Caudales Estación San Javier-Pte Zulia .....	135
<b>Figura 50.</b> Distritos de riego del departamento Norte de Santander.....	139
<b>Figura 51.</b> Límite de cuencas y límite municipal del departamento, resaltando la cuenca del río Chitagá, El Zulia, Lebrija, Pamplonita y Sardinata.....	140
<b>Figura 52.</b> Límite de cuencas y límite municipal del departamento, resaltando la cuenca del río Chitagá y El Zulia.....	142
<b>Figura 53.</b> Ejemplo Curva de Duración de Caudales (CDC).....	145
<b>Figura 54.</b> Precipitación media anual para Norte de Santander .....	149

<b>Figura 55.</b> Índice de Precipitación, I.P. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.P. .....	150
<b>Figura 56.</b> Índice de área de drenaje, I.Acum. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.Acum .....	150
<b>Figura 57.</b> Índice de Pendiente, I.S. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.S. ..	151
<b>Figura 58.</b> Índice de Potencial Hídrico, IPH. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.P.H. ....	151
<b>Figura 59.</b> Mapa de Velocidad Media del Viento en Superficie Promedio Multianual a 50m de altura.....	163
<b>Figura 60.</b> Densidad de energía a 20m de altura. ....	165
<b>Figura 61.</b> Estaciones Climatológicas del IDEAM que involucran el parámetro temperatura en el departamento. ....	167
<b>Figura 62.</b> Estaciones Climatológicas del IDEAM que involucran el parámetro viento en el departamento.....	168
<b>Figura 63.</b> Velocidad media mensual del viento, Estación Camilo Daza – IDEAM.....	169
<b>Figura 64.</b> Velocidad media mensual del viento, Estación Ábrego Centro Administrativo - IDEAM. ....	170
<b>Figura 65.</b> Velocidad media mensual del viento, Estación Tibú - IDEAM. ....	171
<b>Figura 66.</b> Modelo de Elevación Digital departamento. ....	175
<b>Figura 67.</b> Detalle de municipios con mayor Índice de Potencial Hídrico .....	184

## Lista de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Oferta energética del cultivo de plátano en Norte de Santander. ....	198
<b>Anexo 2.</b> Oferta energética - cultivo de caña panelera - Norte de Santander. ....	199
<b>Anexo 3.</b> Oferta energética del cultivo de café en Norte de Santander. ....	200
<b>Anexo 4.</b> Oferta energética de la producción bovina en Norte de Santander. ....	201

## **Presentación**

Alcanzar el objetivo de Universalización del Servicio de Energía Eléctrica, podría ser bastante complejo si se entiende que existen obstáculos como la ausencia de información sobre la situación social, económica y energética del país, de los departamentos y/o municipios, y en particular en las zonas rurales de Colombia.

Esta situación conlleva a la existencia de debilidades que impiden adelantar una planeación energética de mediano y largo plazo, por parte de las entidades nacionales y territoriales.

Por otra parte, la falta de promoción y el desconocimiento sobre el potencial de aprovechamiento de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable – FNCER – regionales, no ha permitido una diversificación más amplia de la matriz energética; y hoy en día, a pesar de que en Colombia el recurso agua participa en un 80% en la producción total de energía eléctrica, existe la necesidad de dar espacio para la entrada de las FNCER y así disminuir la participación de los combustibles fósiles y además, dar atención a las necesidades de la población rural que no tiene el servicio de energía eléctrica.

Dentro de este contexto, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE, la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME y El Ministerio de Relaciones Exteriores, suscribieron con la Universidad Francisco de Paula Santander – UFPS, un convenio interadministrativo con el objeto de desarrollar el Plan de Energización Rural Sostenible del Norte de Santander – PERS N de S, y definir la estrategia que determine la diversificación de la canasta energética regional, reduzca los obstáculos para la

penetración de otras fuentes de energía, propenda por la disminución de las emisiones de gases efecto invernadero, y busque el desarrollo sostenible de los sectores energético y productivo del departamento.

El PERS N de S ha sido estructurado a partir de una caracterización socioeconómica y energética regional, que incluye aspectos relevantes en relación con la productividad potencial que la energización rural permitirá desarrollar; formulando una política pública en donde se definen lineamientos y estrategias de desarrollo, y la identificación de un banco inicial de proyectos de energización sostenibles para un período de 15 años, donde no solamente el fin sea llegar con servicio de energía eléctrica a las zonas aisladas, sino también apoyo al crecimiento y el desarrollo de las comunidades rurales.

## 1. Introducción

El presente documento fundamenta la propuesta desarrollada por el Plan de Energización Rural Sostenible de Norte de Santander – PERS N DE S, con base en el análisis de la oferta energética actual del departamento Norte de Santander; para lo cual se evaluaron las tendencias del consumo de los recursos de electricidad, gas natural por red – GN, y gas licuado de petróleo – GLP, recursos que son los utilizados por el usuario final ubicado en el sector rural; y la identificación de potenciales energéticos para Fuentes No Convencionales de Energía Renovable.

Como primera medida se establecen los conceptos generales sobre la promoción y uso de las fuentes de energía no convencionales con base en lo establecido por la Ley 1715 de 2014, para posteriormente plantear las bases teóricas sobre las cuales se formularon los estudios de oferta para los recursos agua, viento, biomasa y sol.

Así mismo, se incluyen aspectos básicos sobre la caracterización socioeconómica del departamento, cobertura del servicio público domiciliario de energía eléctrica y la forma como la oferta de recursos energéticos convencionales abastece el consumo que se determinó para electricidad, GN y GLP; utilizando para ello información secundaria provista por los Grupos de Investigación para el Desarrollo Socioeconómico – GIDSE y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada – GIDMA, prestadores del servicio y/o la reportada por estos últimos al Sistema Único de Información – SUI.

Posteriormente, se presentan los resultados de los estudios de los grupos de investigación oferta solar, eólica, aprovechamientos hidroeléctricos, biomasa y la prospectiva de expansión de la red eléctrica desde el enfoque del plan de expansión e inversiones del operador de red – OR Centrales Eléctricas del Norte de Santander – CENS; resultados y prospectiva que sirven como base para determinar la matriz energética futura del Departamento, incluyendo la participación de la nueva oferta de recursos energéticos no convencionales renovables.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones que el PERS N de S formula con el objeto de definir una hoja de ruta que permita proponer estrategias articulables en materia de política pública, planes, programas y proyectos de sustento energético que relacionen la productividad, el desarrollo empresarial y la calidad de vida de las comunidades de la Región, especialmente aquellas ubicadas en zonas rurales dispersas.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Determinar la oferta energética actual y futura para el departamento Norte de Santander, de acuerdo con la información secundaria de consumos de los recursos utilizados por el usuario final y los resultados del PERS N DE S.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la oferta energética del Departamento Norte de Santander, a partir del recurso hídrico.
- Determinar la oferta energética eólica del Departamento Norte de Santander.
- Estimar para el Departamento Norte de Santander el potencial energético a partir de biomasa.
- Calcular el potencial energético solar fotovoltaico para el Departamento Norte de Santander.
- Definir la oferta de energía eléctrica del Departamento Norte de Santander.

### 3. Aspectos Generales

#### 3.1. Contexto Regional

Norte de Santander fue fundado el 3 de agosto de 1.555 e instituido como departamento el 25 de julio de 1.910, hace parte de la Región Centro – Oriente de Colombia. Limita al norte y este con Venezuela, al sur con Boyacá, al suroeste con Santander y al oeste con Cesar; tiene una extensión de 21.658 km<sup>2</sup> (IGAC, 2010) que se divide en cuarenta (40) municipios, distribuidos en seis (6) subregiones, y una población proyectada de 1.367.708 habitantes (DANE, 2016).

Debido a la ubicación geográfica y la articulación como principal eje económico y comercial, la zona urbana preponderante del Departamento está concentrada en el Área Metropolitana de Cúcuta, conformada por los municipios de Cúcuta, Los Patios, Villa del Rosario, El Zulia, San Cayetano y Puerto Santander; los cuales suman en proyecciones poblacionales 863.463 habitantes (DANE, 2016), es decir, el 63% del total departamental.

El comportamiento sostenido en la distribución de la población del Departamento y que se referencia en el periodo 2010 - 2016, permite observar que para este último año el 79% de la población de Norte de Santander está ubicada en las cabeceras municipales. Paralelamente, el 21% de la población está en la zona rural dispersa, donde tradicionalmente se han desarrollado las actividades agropecuarias, que dinamizan el sector primario de la economía.

De acuerdo con el DANE (2005), la población indígena es de 7.247 personas ubicadas en 9 resguardos indígenas localizados en las subregiones Norte, Occidental y Suroriental; también en

términos de enfoque diferencial, la población negra, mulata o afrocolombiana es de 22.022 personas.

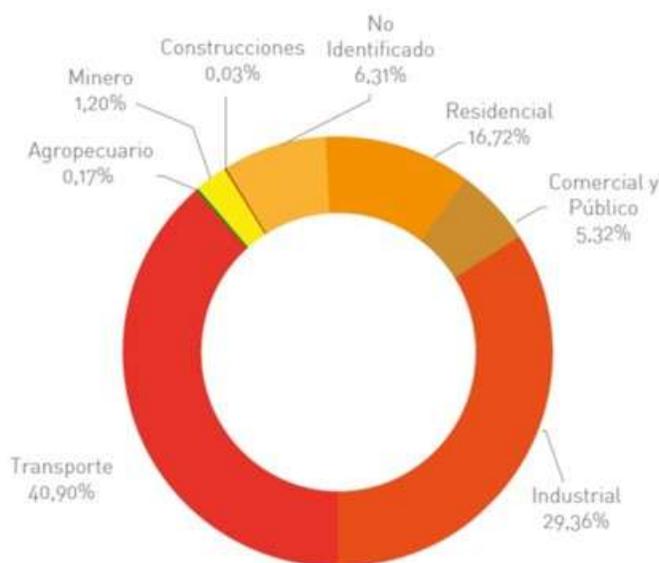
### **3.2. Sistema Interconectado Nacional**

El Sistema Eléctrico Nacional o Sistema Interconectado Nacional – SIN, está descrito por las fuentes de electricidad, la electricidad generada y energía perdida durante la transformación y el uso, así como el consumo final de electricidad por sectores. Estos tres factores armonizan los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, destinados a satisfacer necesidades colectivas de forma permanente, considerándose al servicio domiciliario de energía eléctrica como de carácter esencial y utilidad pública.

De acuerdo con el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 – 2022 (UPME, 2017), en el sector residencial urbano los energéticos más empleados durante el 2016 fueron electricidad y gas natural, con participaciones del 55% y 35% respectivamente, seguidos de una pequeña participación del GLP. En cuanto a las zonas rurales, la leña sigue siendo el energético con mayor demanda (77%), seguida del GLP (14%).

Desde el enfoque socioeconómico, es claro que la matriz de electricidad nacional tiene como principales sectores de consumo final del recurso, el transporte (40,90%), la industria (29,36%) y el residencial (16,72%) (Ver Figura 1)

**Figura 1.** Consumo de Energéticos en Colombia.



Fuente: Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 – 2022 (UPME, 2017).

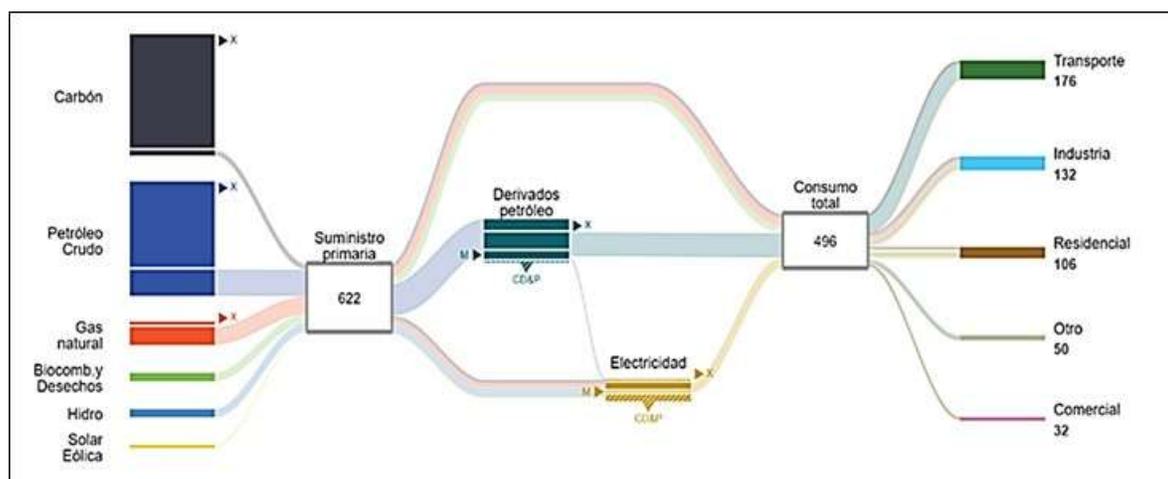
En la actualidad, las diferentes entidades que integran el Sector Eléctrico Nacional tienen la misión de promover el uso sostenible de la energía y la gestión de la demanda en el tiempo. Esta tarea necesariamente, debe articular las metas y compromisos globales que referencian los Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS, como el itinerario de la acción general para afrontar los cambios en el contexto.

En el país, la implementación de proyectos de generación de energía con Fuentes No Convencionales está en progreso, actores como el IPSE y la UPME, han venido impulsando el uso de energías renovables en las localidades apartadas sin este servicio. De esta manera, los procesos de reconversión y diversificación del cambio de la Matriz Energética en Colombia, plantean un escenario en el que las regiones deben articular sus procesos sociales y productivos

para hacerse más sostenibles y viables a todos los actores que la integran, suministrando los bienes y servicios requeridos en el desarrollo de la vida.

Es así que, en el año 2013, la matriz energética de Colombia (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013) presentó avances en la producción de energía a partir de fuentes como biocombustibles, desechos y recursos hídrico, solar y eólico (ver Figura 2).

**Figura 2.** Matriz energética Colombia.



Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (2013). Base de datos de energía.

### 3.3. Canasta Energética Actual de Norte de Santander

Para el año 2016, el departamento Norte de Santander, suplió sus necesidades energéticas, a partir de tres fuentes principales:

Energía eléctrica: 1,164.08 GWh

Gas licuado del petróleo (GLP): 134,358 m<sup>3</sup>

Gas natural por red: 70,845 m<sup>3</sup>

A partir de lo anterior, se calculó la canasta energética actual del Norte de Santander, quedando representada de la siguiente manera (Ver

Tabla 1):

**Tabla 1.** Canasta energética de Norte de Santander

Canasta Energética	Tera Joules	%
Gas Natural	3,55	0,08%
GLP	20,92	0,50%
Electricidad	4.193,28	99,42%
<b>Total recursos (TeraJoules)</b>	<b>4.217,75</b>	<b>100%</b>

Fuente: CENS, SUI y SIEL. Cálculos PERS N DE S

De acuerdo con lo anterior, los consumos de gas natural, GLP y electricidad fueron del orden de los 4,218 Tera Joules, equivalente aproximadamente al 1.3% del total nacional. Por otro lado, considerando que tan sólo el 60% de la energía eléctrica producida en Colombia proviene del recurso renovable agua, el departamento Norte de Santander tendría una canasta energética con una participación del 40% de la energía provista para el usuario final, proveniente de fuentes convencionales y/o combustibles fósiles.

### 3.4. Plan de Energización Rural Sostenible de Norte De Santander

Los planes de energización rural sostenible son iniciativas que buscan identificar, formular y estructurar proyectos, lineamientos y estrategias de desarrollo energético para comunidades

rurales, como estrategia para dinamizar el desarrollo social, económico y ambiental de las regiones, partiendo del análisis de los elementos regionales relevantes en materia de emprendimiento y productividad.

Formular el Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento Norte de Santander, es la oportunidad de identificar: 1) La forma como atendemos nuestras necesidades de energía eléctrica como servicio público domiciliario esencial, 2) Cuál es la cobertura del mismo a nivel urbano y rural, y 3) Con base en la demanda actual y teniendo como objetivo de alcanzar una cobertura del 100%, proyectar la demanda de energía y diseñar una hoja de ruta que permita proponer estrategias articulables en materia de política pública, planes, programas y proyectos de sustento energético que relacionen la productividad, el desarrollo empresarial y la calidad de vida de las comunidades de la Región, especialmente aquellas ubicadas en zonas rurales dispersas.

La ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.

A continuación, se presentan los términos y definiciones que dan contexto al análisis sobre oferta energética con la identificación de las fuentes de energía actuales y de potencial uso en el inmediato futuro, en el marco del Plan de Energización Rural Sostenible de Norte de Santander:

**Eficiencia Energética.** Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. A través de la eficiencia energética, se busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables.

**Energía de biomasa.** Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en la degradación espontánea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos, y que no contiene o hayan estado en contacto con trazas de elementos que confieren algún grado de peligrosidad.

**Energía de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.** Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en los cuerpos de agua a pequeña escala.

**Energía eólica.** Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en el movimiento de las masas de aire.

**Energía solar.** Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste de la radiación electromagnética proveniente del sol.

**FAER:** El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas – FAER –, permite que los Entes Territoriales con apoyo de las Empresas Prestadoras del Servicio de energía sean gestores de planes, programas y proyectos de inversión priorizados para la construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica. El objetivo es ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las zonas rurales interconectadas, conforme con los planes de ampliación de cobertura que se estructuren.

**FAZNI:** EL Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas financia los planes, programas y proyectos de inversión en infraestructura energética y en las zonas no interconectadas (ZNI y/o proyectos priorizados de inversión para construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica y para la reposición o la rehabilitación de la existente, con el propósito de ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las Zonas No Interconectadas.

**FENOGE:** El Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía financia parcial o totalmente programas y proyectos dirigidos a los sectores público, comercial, de servicios, industrial, o a los estratos 1, 2 y 3 del sector residencial, para la implementación de soluciones de autogeneración a pequeña escala basados en Fuentes No Convencionales de Energía Renovable; y también para financiar parcial o totalmente, programas y proyectos destinados a mejorar la eficiencia energética.

**Fuentes convencionales de energía.** Se denomina así a todas las energías que son de uso frecuente en el mundo o que son las fuentes más comunes para producir energía eléctrica. Son ejemplos de energía convencional: el petróleo, carbón mineral, gas natural, la electricidad, etc.

**Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE).** Son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente.

**Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER).** Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares

**Matriz Eléctrica:** Representación cuantitativa de las energías primarias que se utilizan en la generación de electricidad en un país.

**Sistema energético nacional.** Conjunto de fuentes energéticas, infraestructura, agentes productores, transportadores, distribuidores, comercializadores y consumidores que dan lugar a la explotación, transformación, transporte, distribución, comercialización y consumo de energía en sus diferentes formas, entendidas como energía eléctrica, combustibles líquidos, sólidos o gaseosos, u otra. Hacen parte del Sistema Energético Nacional, entre otros, el Sistema

Interconectado Nacional, las Zonas No Interconectadas, las redes nacionales de transporte y distribución de hidrocarburos y gas natural, las refinerías, los yacimientos petroleros y las minas de carbón, por mencionar solo algunos de sus elementos.

**Zonas No Interconectadas (ZNI).** Se entiende por Zonas No Interconectadas a los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

## 4. Potencial Energético de Norte De Santander

### 4.1 Energías Renovables

Las fuentes de energía son los recursos existentes en la naturaleza, de los que la humanidad puede obtener energía utilizable en sus actividades y son clasificadas de acuerdo con su origen, en renovables y no renovables según sean recursos "ilimitados" o "limitados". Se tienen como fuentes de energía:

- Viento.
- Agua.
- Sol.
- Materia (átomo)
- Combustibles fósiles.
- Biomasa.
- Geotérmica.

Por su parte, energía renovable es la energía obtenida de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales, y su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>.

Entre los diferentes tipos de energías renovables encontramos los siguientes:

- Energía hidráulica.
- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía geotérmica.
- Energía mareomotriz.
- Energía de la biomasa.

La energía hidroeléctrica es la fuente de energía renovable más utilizada del mundo, con una capacidad instalada mundial superior a los 1.000 GW, lo que representa más del 16% de la producción neta de electricidad en el mundo, y más del 65% de la capacidad de generación de energía mundial, a partir de fuentes renovables. En el caso de Colombia, la energía hidroeléctrica tiene una capacidad instalada de 10,943 MW que representa el 66% de la capacidad de generación nacional (16,595 MW) y participa en un 80% en la producción total de energía eléctrica del país.

Otra fuente de energía renovable de importancia es la radiación solar, considerando que energías renovables como el viento, las olas o la biomasa no son más que manifestaciones indirectas de ésta. La radiación solar interceptada por la Tierra constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance.

Finalmente, en contraposición a las energías renovables, las fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración.

## **4.2 Energía Solar Fotovoltaica**

### **4.2.1. Marco teórico.**

**Energía solar.** La energía solar es una forma de energía renovable resultante de la radiación emitida en forma de luz y calor producida por el Sol. El término “energía renovable” enmarca a aquellas fuentes de energía que teóricamente no se agotarían con el transcurrir del tiempo. Debido a que el tiempo de vida del Sol es superior al de la Tierra y que la cantidad de potencia almacenada en este es cercana a 23000 TW, la energía solar se convierte en una fuente virtualmente inagotable y una alternativa para la generación de energía eléctrica.

La mayor parte de las fuentes de energías renovables tienen una relación directa o indirecta con la energía solar. Por ejemplo, la biomasa (que posteriormente se convierte en combustible) se produce debido a que la radiación solar llega a la Tierra y las plantas realizan fotosíntesis mediante la cual generan su alimento y crecen.

**Radiación solar global.** La radiación solar global es la energía emitida por el Sol en forma de ondas electromagnéticas y se propaga en todas las direcciones a través del espacio, estas ondas son generadas debido a las reacciones de hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear.

La radiación solar atraviesa la atmósfera de la Tierra y disminuye su intensidad debido a la difusión, reflexión en nubes y absorción por moléculas de gases y partículas en suspensión. Así mismo, la radiación solar llega a las superficies oceánicas y continentales donde es reflejada o absorbida. Además, la radiación absorbida es devuelta al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, transmitiéndose en forma de calor a la atmósfera.

Insolación solar global. La insolación permite determinar la cantidad de energía solar (en unidades de  $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ ) que incide sobre un área (Vélez et al., 2013). Esta variable es de primordial interés para determinar el recurso solar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos. Para estimar el valor de la insolación solar, en las zonas rurales de Norte de Santander, se propuso utilizar tres métodos de medición y estimación, que se exponen a continuación:

***Modelos empíricos de estimación.*** Los modelos empíricos permiten estimar la radiación solar global de un sitio a partir de otras variables climatológicas, utilizando ecuaciones que se ajustan a través de métodos de regresión.

Entidades como IDEAM y CORPONOR tienen a su cargo estaciones meteorológicas, en las que se miden variables climatológicas como: brillo solar, humedad, temperatura, velocidad de viento, entre otras. A partir de estas variables se puede determinar la insolación solar de un lugar. En esta sección se han seleccionado dos modelos empíricos que permiten determinar la insolación solar:

**Modelo de Angstrom-Prescott** (Vélez et al., 2013): permite estimar la insolación solar a partir de valores de heliofanía relativa (brillo solar), tal como lo muestra la ecuación 1:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad (1)$$

Dónde:

$\bar{H}$ , es la insolación solar del lugar.

$\bar{H}_0$ , es la insolación solar global extraterrestre.

$\bar{n}$  es la cantidad de horas de sol registradas.

$\bar{N}$  es la cantidad de horas de sol astronómicamente posibles (todos estos valores son promedios mensuales).

La relación  $\bar{n}/\bar{N}$ , es la heliofanía relativa o también llamada, brillo solar.

**Modelo de Hargreaves** (Chineke, 2008): la ecuación de Hargreaves permite estimar la insolación solar a partir de la radiación solar extraterrestre y la diferencia máxima de temperatura (ver ecuación 2).

$$R_s = 0,16 \cdot R_a T_d^{0,15} \quad (2)$$

Dónde:

$R_s$ , es la radiación solar global.

$R_a$ , es la radiación solar extraterrestre.

$T_d$ , es la diferencia máxima de temperatura.

Aplicaciones. Las aplicaciones de la energía solar son muy variadas. En la Tabla 2, se mencionan algunas de las más relevantes y su descripción:

**Tabla 2.** Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

<b>Aplicación</b>	<b>Descripción</b>
Sistemas fotovoltaicos conectados a la red	Esta aplicación utiliza la energía solar para producir energía eléctrica de tal forma que sea compatible con la red eléctrica que llega normalmente a los hogares interconectados a la red eléctrica y reducir el consumo energético.
Sistemas fotovoltaicos aislados	Los sistemas fotovoltaicos aislados, son también llamados sistemas fotovoltaicos autónomos. Estos se encargan principalmente de energizar hogares a los cuales no es técnicamente viable llevar la red eléctrica o que no están conectados al SIN.
Calentadores de agua	En esta aplicación, la energía solar es usada con el propósito de brindar calor a una masa de agua a través de unos tubos colectores de calor. Estos se encargan de elevar la temperatura de agua en un contenedor.
Iluminación de exteriores e interiores	La energía solar se convierte en energía eléctrica mediante dispositivos electrónicos. Luego, esta energía es transformada en luz, la cual es usada para iluminación en interiores y exteriores.
Centrales térmicas	En esta aplicación la luz del Sol es redirigida hacia un punto en específico a través de un gran arreglo de espejos. Este punto alcanza altas temperaturas de manera tal que al hacer transportar algún líquido, este se evapore y alimente a los generadores de energía eléctrica.
Alimentación de dispositivos electrónicos (Smartphone, Computadores, etc)	Se trata del uso de la energía solar con paneles solares para generar electricidad que alimenta a dispositivos electrónicos, en esta aplicación se encuentran cargadores de celulares, centrales de comunicación, alimentación de motobombas, etc.

#### 4.2.2. Metodología

Para el análisis de la oferta solar fotovoltaica del departamento Norte de Santander, se tomaron en cuenta las siguientes bases de datos de radiación solar global e Insolación:

- Base de datos de la Corporación Autónoma de Frontera Nororiental (CORPONOR).
- Bases de datos de “Global Solar Atlas” (WORLD BANK GROUP, n.d.).
- Base de datos de radiación solar global y brillo solar del IDEAM.
- Base de datos del Atlas de Radiación de Colombia.

La información fue analizada en el software de programación estadística llamado “R”, con ayuda de los paquetes de programación: XLConnect, para la importación y exportación de datos proveniente de archivos en formato XLSX, TXT y CSV, el paquete Sfsmisc, con el objetivo de realizar algunas integraciones numéricas y el paquete Ggplot2 para la realización de gráficas especializadas.

##### *Análisis de información de las bases de datos de CORPONOR.*

Se realizó el análisis de datos de 11 estaciones climatológicas proporcionadas por CORPONOR. Sin embargo, se encontró que: las bases de datos de 9 de las 11 no presentaba información de radiación o insolación. Además, las 2 estaciones restantes no contenían información por un periodo de tiempo superior a 5 años, ya que las bases consultadas presentaban ausencia de información para algunos meses del año, por lo cual se determinó que

esta información no sería tenida en cuenta para el análisis de la oferta de energía solar fotovoltaica en el Departamento.

Además, cabe mencionar que se trató de realizar un análisis de la radiación solar global usando el modelo de Hargreaves; sin embargo, debido a la falta de información de temperatura de los municipios del Departamento, este análisis no fue realizado y solo se llevó a cabo el análisis de la radiación solar global con el modelo de Angstrom-Prescott.

#### ***Análisis de la información proveniente Global Solar Atlas (GSA.)***

La información proveniente de la base de datos de GSA fue usada para elaborar el análisis estadístico de la radiación solar global de cada municipio de Norte de Santander, con esta información se realizaron gráficos estadísticos como histogramas, diagramas de cajas y diagramas de dispersión de la información de radiación de cada vereda y municipio del Departamento.

Para la consulta de la base de datos de la aplicación Global Solar Atlas fue necesario conocer la ubicación geográfica de las veredas de cada municipio, esta información fue obtenida a través de la página web del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la cual se puede encontrar en la página Web de la entidad (DANE, n.d.). Se descargó una base de datos con códigos de cada vereda del Departamento, luego ingresó a la aplicación del DANE el código y se extrajo la ubicación geográfica en coordenadas UTM de cada vereda presentada en la base de datos del DANE.

Con esta información, se realizó el análisis de la oferta solar fotovoltaica, utilizando un programa realizado en R, siguiendo el procedimiento que se presenta en la Figura 3.

**Figura 3.** Diagrama de flujo para el análisis de la oferta solar FV



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Finalmente, los resultados obtenidos se guardaron en forma de gráficas y tablas como lo explica el diagrama de flujo. Estos resultados son los proporcionados en el presente documento para la información extraída de la aplicación GSA.

### ***Análisis de la información de base de datos de radiación y brillo solar del IDEAM.***

La información proveniente de las bases de datos del IDEAM, como lo es la radiación solar global y el brillo solar, fue usada para calcular los coeficientes de la ecuación de Angstrom Prescott de manera mensual para algunos municipios de cada una de las subregiones de Norte de Santander.

Este análisis se realizó para 6 estaciones de radiación solar del IDEAM, según se describe en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Estaciones de radiación solar del IDEAM en Norte de Santander

<b>Municipio</b>	<b>Estación</b>	<b>Ubicación</b>
Ábrego	Ábrego	8,00N, -73,00E
Cinera	Cinera	8,00N, -72,00E
Salazar	Salazar	7,00N, -72,00E
Herrán	Alcaldía de Herrán	7,50N, -72,49E
Pamplona	UNIPAMPLONA	7,38N, -72,65E
Cúcuta	Universidad Francisco de Paula Santander	7,90N, -72,49E

Adicionalmente se trabajó con la información de brillo solar para 24 estaciones del IDEAM, ubicadas en los municipios que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Estaciones de brillo solar del IDEAM en Norte de Santander

<b>Municipio</b>	<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Ábrego	Ábrego Centro Administrativo	8,08N	-73,22E
Cáchira	Escuela Agronómica Cáchira	7,73N	-73,05E
Chinácota	Blonay	7,58N	-72,60E
Convención	Instituto Agronómico Convención	8,47N	-73,33E
Cúcuta	Aeropuerto Camilo Daza	7,92N	-72,50E
Cúcuta	Santa Isabel	8,23N	-72,43E
Cúcuta	San Faustino	8,07N	-72,42E
Cúcuta	Carmen de Tonchalá	7,83N	-72,55E
Cúcuta	Cinera-Villa Olga	8,17N	-72,47E
Cúcuta	Limoncito	8,10N	-72,57E
Cúcuta	Ceez ICA	8,18N	-72,52E
Cucutilla	Granja H.J.C	7,55N	-72,77E
El Zulia	Risaralda	8,23N	-72,53E
Herrán	Parque Nacional Tamá	7,42N	-72,43E
La Playa	La Playa	8,22N	-73,23E
Ocaña	Aeropuerto Aguas Claras	8,30N	-73,35E
Ocaña	Universidad Francisco de P. Santander	8,23N	-73,32E
Pamplona	ISER Pamplona	7,37N	-72,63E
Pamplonita	Finca La Palmita	7,52N	-72,63E
Ragonvalia	Ragonvalia	7,57N	-72,48E
Salazar	Salazar	7,77N	-72,82E
Salazar	Francisco Romero	7,77N	-72,80E
Silos	Silos	7,20N	-72,75E
Tibú	Tibú	8,63N	-72,72E

Esta información se filtró, tomando como parámetros: continuidad de recolección de datos con frecuencia diaria, y que los datos se encuentren dentro de un rango entre (0) y la constante solar extraterrestre.

Aplicado este filtro, se analizaron los datos de las estaciones que se presentan en la Tabla 5, las cuales cumplieron con las especificaciones dadas.

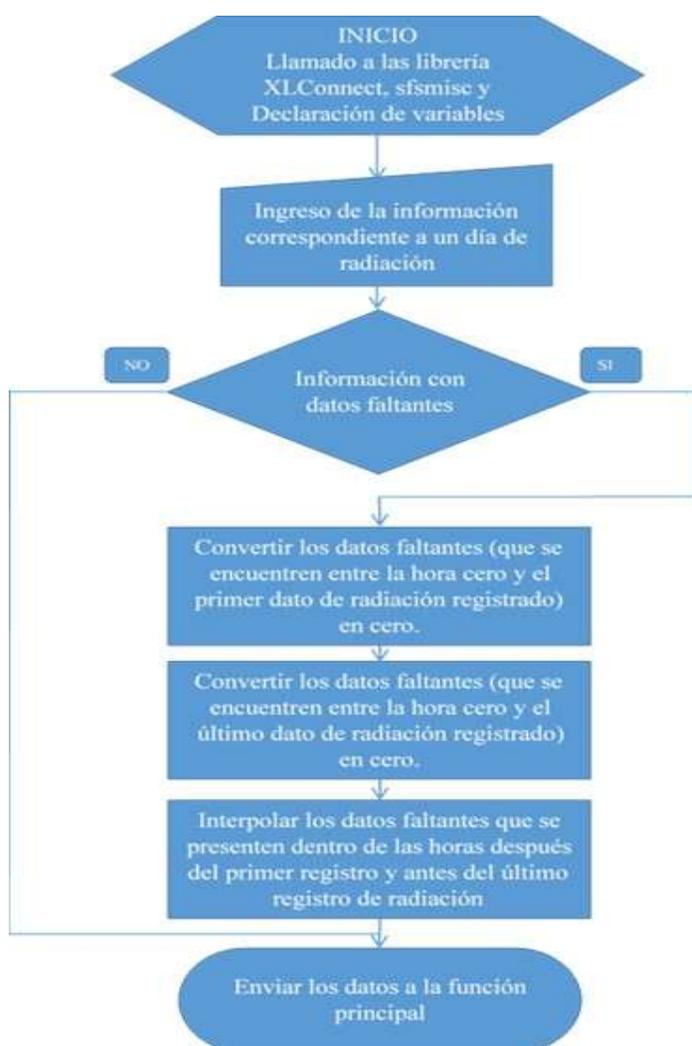
**Tabla 5.** Estaciones meteorológicas utilizadas

<b>Municipio</b>	<b>Estación</b>	<b>Ubicación</b>
------------------	-----------------	------------------

Herrán	Alcaldía de Herrán	7,50N, -72,49E
Pamplona	UNIPAMPLONA	7,38N, -72,65E
Cúcuta	Universidad Francisco de Paula Santander	7,90N, -72,49E

Debido a que la información restante se encontraba incompleta para algunas horas en diferentes días del año, se procedió a realizar una interpolación de los datos de radiación solar global, con una función en R llamada “Cálculo\_insolación\_función.R”, la cual se describe en la Figura 4.

**Figura 4.** Diagrama de flujo de interpolación de datos de datos



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

La función descrita, realiza una interpolación de los datos por medio de una librería de R, sin tener en cuenta los días que solo contienen datos faltantes, como se describe en el diagrama de flujo. Posteriormente, por medio de un script de R, se hallaron los coeficientes de Angstrom Prescott, siguiendo el procedimiento de la

Figura 5.

**Figura 5.** Diagrama de flujo para determinar los coeficientes de Angstrom-Prescott



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Finalmente, los resultados fueron guardados en gráficas y resúmenes estadísticos que se incluyen en el presente informe.

***Análisis de la información la base de datos del Atlas de Radiación de Colombia.***

Para el análisis de la base de datos del Atlas de Radiación de Colombia, se extrajeron los mapas de radiación solar para el Departamento Norte de Santander para cada uno de los meses del año, y se realizó un tratamiento en Adobe Illustrator (versión de prueba).

### **4.2.3. Resultados y análisis de resultados**

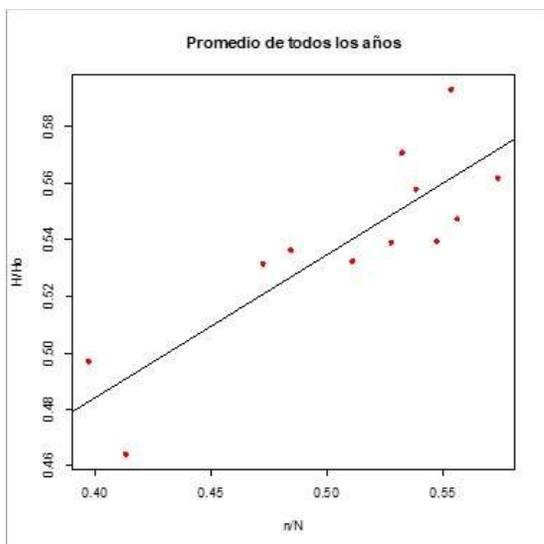
#### **4.2.3.1. Caracterización de la Oferta De Energía Solar**

**Estimación de la radiación solar global.** En las siguientes secciones se presentarán los resultados de los análisis realizados a partir de la información del GSA, la información de las estaciones meteorológicas de brillo solar y radiación solar global del IDEAM (analizadas a través del modelo de Angstrom-Prescott) e información proveniente del Atlas de Radiación de Colombia.

**Modelos empíricos.** A continuación, se presentan los resultados del análisis de la información de las estaciones meteorológicas de radiación solar global y brillo solar del IDEAM para cada una de las estaciones de radiación solar global analizadas.

Análisis de los datos de brillo solar del IDEAM, estación UFPS: en la Figura 6 se presentan los resultados de la regresión para el promedio de los ocho (8) años de radiación provenientes de la base de datos de radiación del IDEAM en el municipio de Cúcuta.

**Figura 6.** Regresión lineal entre radiación relativa y brillo solar-Estación UFPS



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 6 se puede observar que existe dispersión de los puntos con respecto a la recta de regresión, obteniéndose un coeficiente de correlación cuadrático (R-Square) de 0.7273 indicando una pequeña separación entre los datos obtenidos y la recta de regresión calculada, la cual es representada por la ecuación 3 en donde se observa un Intercepto con el eje x (eje de las abscisas) en el punto 0.2823 y una pendiente de 0.5046 (ver ecuación 3).

$$\frac{H}{H_0} = 0,28233 + 0,50460 \left( \frac{n}{N} \right) \quad (3)$$

En la Tabla 6 y Tabla 7 se presentan los coeficientes y estadísticos de la regresión realizada.

**Tabla 6.** Coeficientes de regresión-Estación UFPS

	<b>Estimad o</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t value</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
(Intercept o)	0,28233	0,05001	5,646	0,000214 ***
Ejex	0,50460	0,09770	5,165	0,000422 ***

En la Tabla 6 se dan a conocer los valores de Intercepto y pendiente de la recta con sus respectivos estadísticos, en los cuales se menciona el error estándar, con un valor de 5% para el Intercepto y 9,8% para la pendiente, un estadístico t y el valor de la prueba de dos colas.

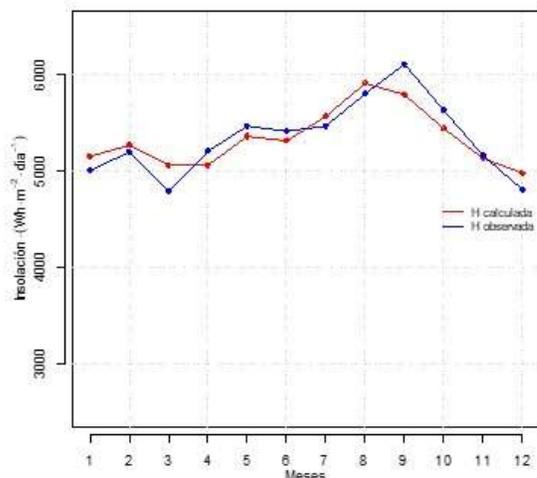
**Tabla 7.** Estadísticos de regresión-Estación UFPS

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimados</b>
Residual standard error:	0,01838 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared:	0,7273
Adjusted R-squared:	0,7001
F-statistic:	26,68 on 1 and 10 DF
p-value:	0,0004223

En la Tabla 7 se presentan los coeficientes de la regresión para la estación UFPS, observándose que los residuos son inferiores a la unidad, y que el estadístico F obtiene un valor significativo y es avalado por el p-value.

En la Figura 7 se presenta una comparación de los datos calculados a través de regresión y los datos medidos.

**Figura 7.** Insolación mensual estimada-Estación UFPS

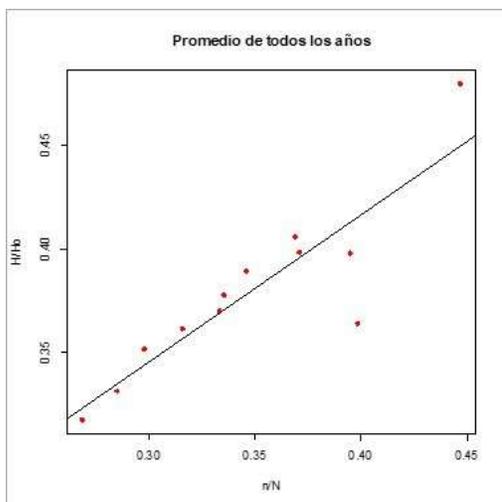


Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 7 se muestran los doce valores mensuales de la insolación tomados por la estación meteorológica UFPS en el municipio de Cúcuta, y se contrastan con los valores predichos por la ecuación de Angstrom-Prescott. Se puede observar que los valores dados por la ecuación presentan ligeras diferencias para todos los meses, excepto para los meses 3 y 9 correspondientes a marzo y septiembre, en donde se aprecia una mayor diferencia en los valores obtenidos.

**Análisis de los datos de brillo solar del IDEAM, estación UNIPAMPLONA:** en la Figura 8 se presentan los resultados de regresión para el promedio de ocho (8) años de radiación de la base de datos.

**Figura 8.** Regresión lineal entre radiación relativa y brillo solar -Estación UNIPAMPLONA



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la figura anterior se observa que la dispersión de los puntos es menor, en comparación con la estación UFPS, razón por la cual se obtiene un coeficiente de correlación cuadrático de 0.7818. Los coeficientes de la ecuación de Angstrom-Prescott para esta estación se resumen en la tabla 8. La ecuación 4 describe el comportamiento entre la radiación y el brillo solar, con un Intercepto de 0,13256 con el eje Y, y una pendiente de 0,70962.

$$\frac{H}{H_0} = 0,13256 + 0,70962 \left( \frac{n}{N} \right) \quad (4)$$

**Tabla 8.** Coeficientes de regresión-Estación UNIPAMPLONA

	<b>Estimado</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t value</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
(Intercepto)	0,13256	0,04153	3,192	0,009626 **
Eje x	0,70962	0,11854	5,986	0,000135 ***

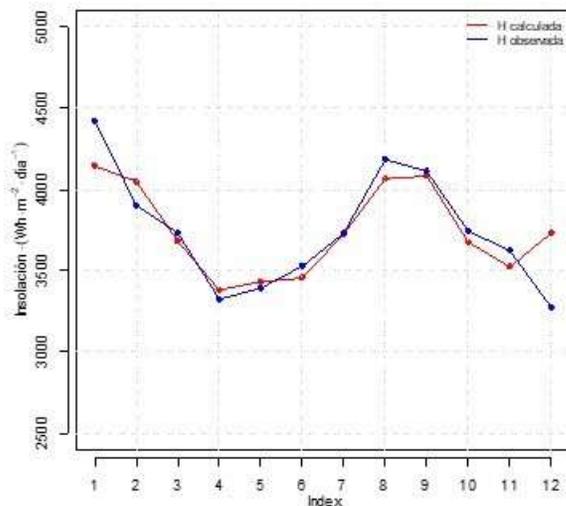
En la Tabla 8, se observa que el error estándar para el Intercepto es de 4,153% y para la pendiente es del 11,854 %. Al evaluar el valor del estadístico t y la prueba del mismo, se obtiene un alto grado de correlación que valida la ecuación 4. Además, en la Tabla 9 se dan a conocer los estadísticos de regresión para estación UNIPAMPLONA.

**Tabla 9.** Estadísticos de regresión-Estación UNIPAMPLONA

<b>Coefficients</b>	<b>Estimate</b>
Residual standard error:	0,02041 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared:	0,7818
Adjusted R-squared:	0,76
F-statistic:	35,84 on 1 and 10 DF
p-value:	0,0001345

Es importante resaltar que los valores de los coeficientes de correlación cuadrático, múltiple y ajustado, permiten observar una correlación cercana a 0.8 lo que indica una fuerte relación entre el modelo matemático y los datos experimentales. Lo anterior, se evidencia en la Figura 9, en la cual se observa el comportamiento de la insolación estimada para cada uno de los doce meses del año contra los valores experimentales.

**Figura 9.** Insolación mensual estimada-Estación UNIPAMPLONA

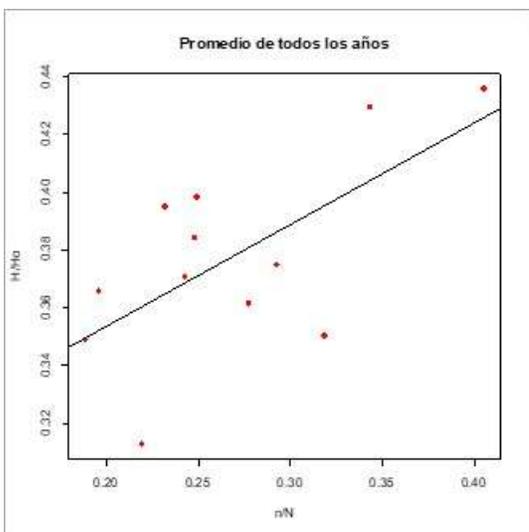


Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 9, se observa que los meses de diciembre y enero son los que presentan las diferencias más importantes. Para los otros meses del año, se observa que la insolación calculada (línea roja) tiene valores cercanos a la insolación medida (línea azul).

Análisis de los datos de brillo solar del IDEAM, estación Herrán: en la figura 29 se presentan los resultados de la regresión para el promedio de los doce (12) años de radiación, de acuerdo con los datos de radiación del IDEAM para la estación del municipio de Herrán.

**Figura 10.** Regresión lineal entre radiación relativa y brillo solar -Estación Herrán



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Para esta estación, se observa una gran dispersión para la mayoría de puntos. Esto se refleja en el coeficiente de correlación cuadrático obtenido de 0,4201 (ver Tabla 10) para la regresión. La ecuación 5 representa el comportamiento de la insolación calculada con un intercepto de 0,28329 con una pendiente de 0,35115.

$$\frac{H}{H_0} = 0,28329 + 0,35115 \left( \frac{n}{N} \right) \quad (5)$$

En la Tabla 10, se presentan los coeficientes de correlación. Cabe resaltar que el error estándar del Intercepto es de 3,58% y el error de la pendiente es de 13,05%. Además, los valores del estadístico t y la prueba del mismo, dan como resultado que la correlación existente no es lo suficientemente fuerte.

**Tabla 10.** Coeficientes de regresión-Estación Herrán

	<b>Estimados</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t value</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
(Intercepto)	0,28329	0,03581	7,910	1,3e-05 ***
Ejex	0,35115	0,13048	2,69	0,0226 *

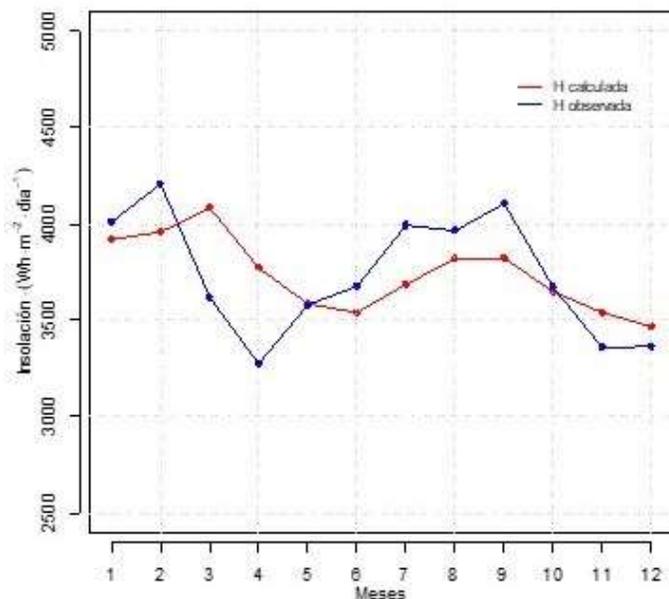
En la Tabla 11, se observan los estadísticos de regresión para estación de Herrán, reflejándose la dispersión de los datos con un coeficiente múltiple de correlación de 0,42 y uno ajustado de 0,36. Esta dispersión y baja correlación se evidencian en la Figura 11

**Tabla 11.** Estadísticos de regresión-Estación Herrán

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimados</b>
Residual standard error:	0,02751 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared:	0,4201
Adjusted R-squared:	0,3621
F-statistic:	7,243 on 1 and 10 DF
p-value:	0,02265

La insolación mensual estimada (Figura 11) presenta una alta dispersión para diez (10) de los doce (12) meses del año, coincidiendo para los meses de octubre y mayo, mostrando un error porcentual bajo para los meses de enero y diciembre.

**Figura 11.** Insolación mensual estimada-Estación Herrán



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

### ***Estimación de la radiación solar por subregión aplicando los coeficientes de Angstrom- Prescott.***

En esta sección del documento se presentan los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones de Angstrom-Prescott a los datos de brillo solar de las estaciones restantes (Tabla 10), para cada subregión del departamento.

La estimación consistió en utilizar los valores de los coeficientes de Angstrom-Prescott, previamente expuestos, y utilizar de los datos de las estaciones que solo miden brillo solar, con el propósito de determinar los valores de insolación para cada uno de los meses del año. Para ello, se ingresaron secuencialmente los datos de brillo solar y se calculó el valor de insolación; seguidamente, se promedió el valor de la insolación para cada uno de los días del año y se obtuvo, finalmente, el valor de la insolación promedio mensual. Es importante resaltar que estos resultados están sujetos a los errores mencionados en la sección anterior, asociados al coeficiente

de correlación cuadrático, errores estándar para cada parámetro y los valores de la prueba de dos colas para el estadístico t.

La estimación se realizó de la siguiente manera: la ecuación 5, de la Estación Herrán, se aplicó para las estaciones de las subregiones Suroriente y Occidente; la ecuación 4, de la Estación UNIPAMPLONA, se aplicó para las estaciones de las subregiones Suroccidente y Norte, y la ecuación 3, de la Estación de la Universidad Francisco de Paula Santander se aplicó para las estaciones de las subregiones Oriente y Centro.

### *Subregión Suroriente.*

**Parque Nacional Tama:** Para esta estación se aplicó la ecuación obtenida para el municipio de Herrán. En la Tabla 12, se observan los datos de brillo solar promedio para cada mes del año y el resultado de insolación obtenido al aplicar la ecuación de 5.

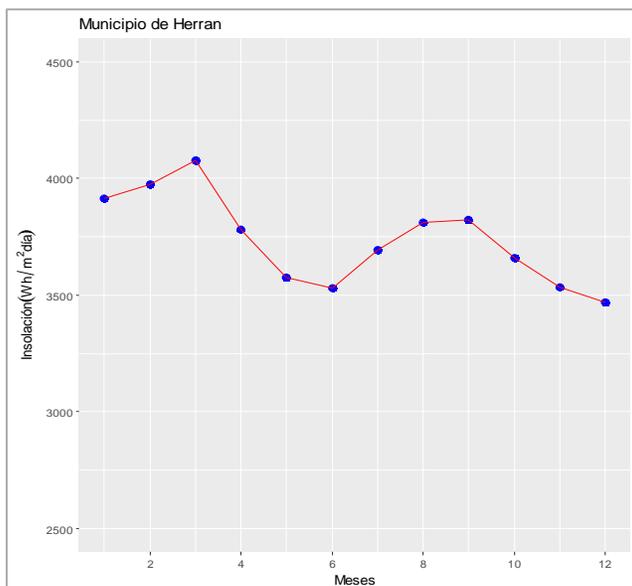
**Tabla 12.** Insolación-Parque Nacional Tamá

Mes	Brillo (horas)	Solar	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	4,7		3914,449
Febrero	4,1		3975,139
Marzo	3,8		4078,472
Abril	2,7		3781,298
Mayo	2,3		3576,650
Junio	2,4		3529,726
Julio	2,9		3694,824
Agosto	3		3810,151
Septiembre	3		3824,698
Octubre	2,9		3658,449
Noviembre	3,2		3532,103
Diciembre	3,4		3467,788

En la Figura 12, se muestra el comportamiento mensual de la insolación solar para la estación del Parque Nacional Tamá.

Al analizar la Figura 12, se observa que la radiación para el Parque Nacional Tamá varía bruscamente entre los meses de enero y junio. Presentando la máxima insolación en el mes de marzo con un valor de 4078,5 kWh/m<sup>2</sup>/día y el menor valor en el mes de diciembre con 3467,8 kWh/m<sup>2</sup>/día. Además, se observan dos tendencias de incremento de la insolación en los meses de marzo y agosto-septiembre.

**Figura 12.** Insolación mensual Parque Nacional Tamá



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Estación Ragonvalia:** Para esta estación se aplicó la ecuación obtenida para el municipio de Herrán. En la Tabla 13, se observan los datos de brillo solar promedio para cada mes del año y el resultado de insolación obtenido al aplicar la ecuación de 5.

**Tabla 13.** Insolación solar-Estación Ragonvalia

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	5,3	4081,358
Febrero	4,5	4092,175
Marzo	3,3	3926,790
Abril	3,1	3902,161
Mayo	3,9	4043,585
Junio	3	3700,159
Julio	4,2	4067,299
Agosto	5,3	4490,766
Septiembre	5	4426,437
Octubre	4,4	4099,496
Noviembre	4,2	3812,376
Diciembre	4,4	3740,084

Se observa que la insolación solar presenta un comportamiento similar para los primeros 5 meses del año, obteniéndose valores que oscilan entre 4 y 3,9 kWh/m<sup>2</sup>/día. Sin embargo, los picos de insolación se encuentran en los meses de agosto y septiembre con valores de 4,49 y 4,43 kWh/m<sup>2</sup>/día. Finalmente, se observa que el mes de menor insolación es junio.

**Estación Blonay- Municipio de Chinácota:** en la Tabla 14 se presentan los valores de la insolación solar para cada uno de los meses del año después de aplicar la regresión de Angstrom-Prescott.

**Tabla 14.** Insolación solar-Estación Blonay Chinácota

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	4,2	3775,359
Febrero	3,4	3770,325
Marzo	2,6	3714,436
Abril	3,2	3932,376
Mayo	3,6	3956,035

Junio	4	3984,212
Julio	4	4009,996
Agosto	4,2	4165,255
Septiembre	4,1	4155,654
Octubre	3,6	3864,271
Noviembre	3,4	3588,157
Diciembre	4,1	3658,395

En la Tabla 14 se presentan las horas de brillo solar y el valor de insolación obtenido, se observa que la insolación presenta un comportamiento de crecimiento desde marzo hasta septiembre, observando el máximo valor en los meses de agosto y septiembre con valores alrededor de 4,15 kWh/m<sup>2</sup>/día, mientras que los valores mínimos se observan en los meses de noviembre y diciembre con valores cercanos a 3,6 kWh/m<sup>2</sup>/día. Es importante mencionar que se observa un cambio brusco de insolación entre septiembre y noviembre.

### *Subregión Occidente*

**Estación Ábrego Centro Administrativo:** Al aplicar la ecuación 5 de regresión de los coeficientes de Angstrom-Prescott se obtuvieron los valores de insolación que se observan en la Tabla 15.

En esta tabla, se observan los resultados de brillo solar promedio para cada uno de los meses del año y el valor obtenido de la insolación solar, mediante el modelo empírico de la ecuación 4. En donde el comportamiento la insolación entre los meses de enero y septiembre oscila alrededor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día. Mientras que se presentan valores mínimos de insolación para los meses octubre, noviembre y diciembre alrededor de 4,1 kWh/m<sup>2</sup>/día.

**Tabla 15.** Insolación solar- Estación Ábrego Centro Administrativo

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	7	4554,265
Febrero	6,2	4589,579
Marzo	5,5	4594,189
Abril	4,5	4325,179
Mayo	4,7	4277,053
Junio	5,5	4410,293
Julio	6,1	4611,686
Agosto	5,6	4579,542
Septiembre	4,8	4366,263
Octubre	4,7	4187,706
Noviembre	5,2	4092,649
Diciembre	6,1	4202,987

**Estación Escuela Agronómica Cáchira:** Para esta estación se tomaron los valores de brillo solar promedio mensual y se aplicó la ecuación 5, obteniendo los valores de insolación solar que se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Insolación solar-Estación Escuela Agronómica de Cáchira.

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	6,9	4526,447
Febrero	6,3	4618,838
Marzo	5,1	4472,843
Abril	3,9	4143,886
Mayo	3,6	3956,035
Junio	3,9	3955,807
Julio	4,2	4067,299
Agosto	4,2	4165,255
Septiembre	3,7	4035,306
Octubre	3,9	3952,480
Noviembre	4,8	3980,540
Diciembre	6,3	4257,446

En esta tabla, se observan los datos de insolación estimados a partir de los datos de brillo solar. Allí se aprecia que la insolación más elevada alcanza 4,6 kWh/m<sup>2</sup>/día en el mes de febrero,

siendo los primeros tres meses del año los de más alta radiación. Sin embargo, los otros nueve meses del año se observa una radiación que oscila alrededor  $4,1 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ .

**Estación Instituto Agronómico Convención:** para esta estación se obtuvieron los datos de insolación solar a partir de la ecuación 5, los resultados se observan en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Insolación solar- Estación Instituto Agronómico de Convención

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación ( $\text{Wh/m}^2/\text{día}$ )
Enero	5,5	4136,994
Febrero	4,8	4179,952
Marzo	4,1	4169,481
Abril	3,8	4113,670
Mayo	4,8	4306,236
Junio	6,1	4580,725
Julio	6,9	4840,901
Agosto	6,7	4905,054
Septiembre	5,5	4576,871
Octubre	5,2	4334,721
Noviembre	5,0	4036,595
Diciembre	4,4	3740,084

En esta tabla se observa que el valor mínimo de radiación se encuentra en diciembre con un valor de  $3,7 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ . El comportamiento de la insolación para el Instituto Agronómico de Convención evidencia insolación aproximadamente constante de  $4,16 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  durante los primeros 4 meses, para los siguientes 4 meses se observa un crecimiento hasta  $4,905 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  y desciende desde agosto hasta diciembre al valor mínimo de  $3,74 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ .

**Estación Instituto Agronómico Convención, La Playa:** Para esta estación se aplicó la ecuación 5 de los modelos de Angstrom-Prescott. En la Tabla 18, se muestran los resultados de radiación e insolación solar.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del brillo e insolación solar, destacando que se cuenta con por lo menos 4 horas de brillo solar. Se observa que 10 de los 12 meses del año cuentan con insolación promedio superior a 4 kWh/m<sup>2</sup>/día, por lo tanto, se cuenta con insolación superior a la media mundial (3,9 kWh/m<sup>2</sup>/día). Se observa, además, dos valores pico para los meses de julio y agosto cuyo valor ronda los 4,7 kWh/m<sup>2</sup>/día superando la media nacional y mundial.

**Tabla 18.** Insolación solar-Estación Instituto Agronómico Convención

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	6,0	4276,084
Febrero	5,6	4414,025
Marzo	4,8	4381,835
Abril	4,1	4204,317
Mayo	4,5	4218,686
Junio	5,8	4495,509
Julio	6,6	4754,946
Agosto	6,2	4757,094
Septiembr	4,8	4366,263
e Octubre	4,6	4158,302
Noviembr	4,6	3924,485
e Diciembre	5,2	3957,921

**Estación Aeropuerto Aguas Claras, Ocaña:** En la Tabla 19 se evidencian los valores promedio del brillo solar de esta estación y la insolación promedio resultante de aplicar el modelo de Angstrom-Prescott de la ecuación 5.

**Tabla 19.** Insolación solar-Estación Aeropuerto Aguas Claras, Ocaña

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	7,0	4554,265
Febrero	6,2	4589,579
Marzo	5,0	4442,507
Abril	4,4	4294,964
Mayo	4,7	4277,053
Junio	5,8	4495,509
Julio	6,5	4726,294
Agosto	5,9	4668,318
Septiembre	5,1	4456,524
Octubre	4,8	4217,109
Noviembre	5,1	4064,622
Diciembre	6,1	4202,987

En esta tabla se observa que para ningún mes del año la insolación solar es menor a la media mundial. Así mismo, se evidencia un comportamiento de crecimiento desde el mes de abril en aproximadamente 4,1 kWh/m<sup>2</sup>/día hasta alcanzar el valor máximo en el mes de julio con 4,73 kWh/m<sup>2</sup>/día. A partir de ese mes, se observa una reducción de la insolación hasta llegar a su valor mínimo en el mes de noviembre 4,064 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### *Subregión Suroccidente*

**Estación ISER Pamplona:** En la Tabla 20, se muestran los resultados de la insolación solar promedio y el brillo solar promedio medido en la estación del Instituto Superior de Educación

Rural (ISER) ubicado en el municipio de Pamplona. Para obtener estos resultados se aplicó la ecuación 4.

**Tabla 20.** Insolación solar-Estación ISER Pamplona

<b>Mes</b>	<b>Brillo Solar (horas)</b>	<b>Insolación (Wh/m<sup>2</sup>/día)</b>
Enero	5,2	4059,297
Febrero	4,6	4125,479
Marzo	3,8	4080,088
Abril	3,3	3961,722
Mayo	3,5	3924,086
Junio	3,7	3895,366
Julio	4,1	4035,370
Agosto	4,5	4252,349
Septiembre	4,5	4276,746
Octubre	4,0	3985,061
Noviembre	4,0	3761,346
Diciembre	4,6	3800,548

En esta tabla se observan valores de brillo solar inferiores a 4 horas de sol, lo cual implicó resultados de insolación solar inferiores a la media mundial. Sin embargo, es importante resaltar que la posición del sol a través de cada uno de los 365 días del año genera variación sobre la radiación solar extraterrestre y las horas teóricas de brillo solar, razón que explica los resultados para los meses de abril y noviembre, donde las horas de brillo solar son menores para el primero; pero su insolación es superior con respecto al segundo. Además, se observa que durante los primeros 7 meses del año la insolación solar varía alrededor de 4 kWh/m<sup>2</sup>/día, obteniéndose el valor máximo en septiembre con 4,276 kWh/m<sup>2</sup>/día y el valor mínimo en noviembre con 3,761 kWh/m<sup>2</sup>/día.

**Estación Finca La Palmita, Pamplonita:** Para esta estación los resultados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**21. El número de horas de brillo solar alcanzó un valor máximo de 5 en el mes de enero, pero con una insolación máxima en agosto con 4,7 horas de brillo solar.

Se observa la alta variabilidad de la insolación para los primeros 6 meses del año. Encontrando el punto máximo en agosto (4,33 kWh/m<sup>2</sup>/día) y el menor en diciembre (3,55 kWh/m<sup>2</sup>/día). El cambio más brusco se presenta entre marzo y abril.

**Tabla 21.** Insolación solar-Estación Finca La Palmita, Pamplonita

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	5,0	4003,601
Febrero	4,4	4066,916
Marzo	2,4	3655,231
Abril	4,2	4233,648
Mayo	3,3	3865,741
Junio	3,8	3923,756
Julio	4,0	4006,731
Agosto	4,7	4311,522
Septiembr	4,0	4126,279
e		
Octubre	3,6	3867,374
Noviembr	3,3	3564,958
e		
Diciembre	3,7	3555,193

**Estación Silos:** La Tabla 22, muestra los resultados obtenidos para el brillo solar medido en la estación y el resultado de la regresión de Angstrom-Prescott para la radiación solar.

**Tabla 22.** Insolación solar-Estación Silos

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	5,2	4059,297
Febrero	4,7	4154,760
Marzo	3,8	4080,088
Abril	2,5	3720,010
Mayo	2,3	3574,016
Junio	2,2	3469,508
Julio	2,9	3691,702
Agosto	3,4	3926,894
Septiembre	3,4	3945,720
Octubre	3,0	3690,843
Noviembre	3,4	3593,014
Diciembre	4,3	3718,763

En esta tabla se muestra que el valor mínimo promedio de horas de brillo solar se presenta en junio con un valor de 2.2. También se observa que el valor de insolación varía entre 3,5 y 4,0 kWh/m<sup>2</sup>/día para los meses de marzo a diciembre. Sin embargo, en el mes de febrero se observa el punto de mayor insolación solar con un valor de 4,157 kWh/m<sup>2</sup>/día, mientras que el valor mínimo se ubica en el mes de junio con 3,469 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### *Subregión Norte*

**Estación Tibú, Tibú:** En la Tabla 23 se observan los datos de brillo solar promedio obtenidos de la estación meteorológica, así como los resultados para la insolación calculada mediante los coeficientes de Angstrom-Prescott.

**Tabla 23.** Insolación Solar-Estación Tibú

<b>Mes</b>	<b>Brillo Solar (horas)</b>	<b>Insolación (Wh/m<sup>2</sup>/día)</b>
Enero	5	4003,601
Febrero	4,8	4184,041
Marzo	3,9	4110,435
Abril	4	4173,22
Mayo	5,1	4390,847
Junio	5,9	4519,956
Julio	6,5	4722,707
Agosto	6,8	4932,845
Septiembre	6	4728,144
Octubre	5,4	4396,965
Noviembre	4,8	3985,789
Diciembre	4,3	3718,763

En esta tabla, se observan altos valores de brillo solar para los meses de julio y agosto, con valores superiores a 6 horas de brillo solar. El valor mínimo se encuentra para el mes de marzo con 3,9. El máximo valor de insolación se obtuvo para el mes de agosto con un valor de 4,932 kWh/m<sup>2</sup>/día. También se observa un crecimiento de la insolación desde enero hasta agosto y un decrecimiento desde este mes hasta diciembre, con un valor mínimo de 3,718 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### *Subregión Oriente*

**Estación Aeropuerto Camilo Daza, Cúcuta:** En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**<sup>24</sup> se muestran los resultados promedio de brillo solar e insolación solar para cada mes del año.

En la Tabla 24 se observa que los meses con mayor brillo solar se encuentran entre julio y septiembre, con un valor máximo de siete (7) horas de brillo solar en agosto, lo cual coincide con obtener los valores más altos de insolación. Del comportamiento de la insolación solar se puede observar que durante los primeros 6 meses del año el valor la insolación oscila alrededor de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día. Mientras que en los meses de junio hasta agosto se presenta el crecimiento de la insolación solar hasta su valor máximo. Sin embargo, entre los meses de septiembre y diciembre decae hasta su valor mínimo de 4,2 kWh/m<sup>2</sup>/día.

**Tabla 24.** Insolación solar-Estación Aeropuerto Camilo Daza

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	6,5	4394,560
Febrero	6	4516,407

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Marzo	4,9	4406,252
Abril	4,8	4418,671
Mayo	5,8	4607,986
Junio	6	4565,432
Julio	6,6	4766,804
Agosto	7	4999,717
Septiembr	6,7	4934,818
e		
Octubre	6,3	4645,997
Noviembr	6,3	4381,921
e		
Diciembre	6,3	4235,488

**Estación Risaralda, El Zulia:** Los resultados de la insolación calculada y el brillo solar promedio en cada mes del año de la Estación Risaralda del municipio de El Zulia se observan en la Tabla 25.

**Tabla 25.** Insolación solar-Estación Risaralda, El Zulia

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	5	3978,799
Febrero	4,8	4166,195
Marzo	4,7	4345,652
Abril	4,1	4207,130
Mayo	5,4	4491,111
Junio	5,4	4394,708
Julio	6,5	4738,11
Agosto	6,4	4822,066
Septiembr	6,2	4784,493
e		
Octubre	5,3	4352,594
Noviembr	4,8	3962,927
e		
Diciembre	4,4	3720,178

En esta tabla se destaca que el valor máximo de brillo se encuentra en los meses de junio a septiembre. Siendo junio el mes con mayor brillo, pero resultando agosto el mes con mayor insolación. Además, se observa que el comportamiento de la insolación varía durante los primeros seis meses, manteniendo la tendencia de crecimiento hasta el mes de agosto. Después de este mes, la insolación empieza a disminuir hasta su valor mínimo en diciembre. El valor máximo de insolación es de 4,822 kWh/m<sup>2</sup>/día en agosto y el mínimo de 3,720 kWh/m<sup>2</sup>/día en diciembre.

### Subregión Centro

**Estación Granja H.J.C., Cucutilla:** En la Tabla 26 se observan los resultados de brillo solar insolación solar para la estación Granja HJC del municipio de Cucutilla. Esta estación presenta los valores más bajos de brillo solar, alcanzando valores mínimos de 2,7 horas de brillo solar.

**Tabla 26.** Insolación solar- Estación Granja HJC, Cucutilla

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	4	3701,625
Febrero	2,8	3582,509
Marzo	2,9	3800,257
Abril	2,7	3784,047
Mayo	3	3789,859
Junio	3,1	3740,265
Julio	3,7	3934,679
Agosto	3,9	4081,856
Septiembr	3,3	3912,608
e		
Octubre	4,1	4000,511
Noviembr	4,8	3962,927
e		
Diciembre	3,9	3584,570

En la tabla anterior se muestra el comportamiento de la insolación solar para la estación mencionada. Durante los primeros seis meses del año se muestra que la insolación promedia el valor de 3,5 kWh/m<sup>2</sup>/día y empezando un crecimiento de la insolación entre los meses de junio y agosto, siendo este último el mes en el que alcanza el valor máximo de 4,081 kWh/m<sup>2</sup>/día. A partir de este mes y hasta noviembre la insolación se mantiene aproximadamente estable alrededor de 4 kWh/m<sup>2</sup>/día. Finalmente, la insolación alcanza su valor mínimo en diciembre con 3,584 kWh/m<sup>2</sup>/día.

**Estación Francisco Romero, Salazar:** Para la estación Francisco Romero del municipio de Salazar se muestran los resultados de brillo solar e insolación mensual en la Tabla 27.

Para esta estación se observa que el brillo solar tiene un valor mínimo en marzo con 2,7; sin embargo, el valor de menor insolación se encuentra en diciembre con 3,530 kWh/m<sup>2</sup>/día. También se aprecia un crecimiento de la insolación entre enero y agosto, variando desde 3,590 kWh/m<sup>2</sup>/día hasta 4,407 kWh/m<sup>2</sup>/día. Seguidamente, entre septiembre y octubre se muestra un cambio brusco de la insolación y luego se muestra una caída exponencial de la radiación hasta diciembre con un valor mínimo en este último de 3,530 kWh/m<sup>2</sup>/día.

**Tabla 27.** Insolación solar-Estación Francisco Romero, Salazar

Mes	Brillo Solar (horas)	Insolación (Wh/m <sup>2</sup> /día)
Enero	3,6	3590,756
Febrero	3,1	3670,062

Marzo	2,7	3739,658
Abril	2,8	3814,267
Mayo	3,9	4052,829
Junio	4,4	4110,168
Julio	5,1	4336,395
Agosto	5	4407,548
Septiembr	4,8	4363,583
e		
Octubre	3,8	3912,490
Noviembre	3,5	3599,799
e		
Diciembre	3,7	3530,327

#### 4.2.3.2. Mapas de radiación

- **Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono del IDEAM**

El Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, en su versión de 2017, es una herramienta para la valoración de la disponibilidad de la energía solar en el territorio nacional y en entre otras, para conocer el comportamiento de la radiación ultravioleta (UV), el ozono y sus relaciones. Este atlas contiene un conjunto de mapas que representan la distribución promedio mensual y anual de las siguientes variables: irradiación solar global horizontal, brillo solar, número de días al mes sin brillo solar, radiación UV y la columna total de ozono.

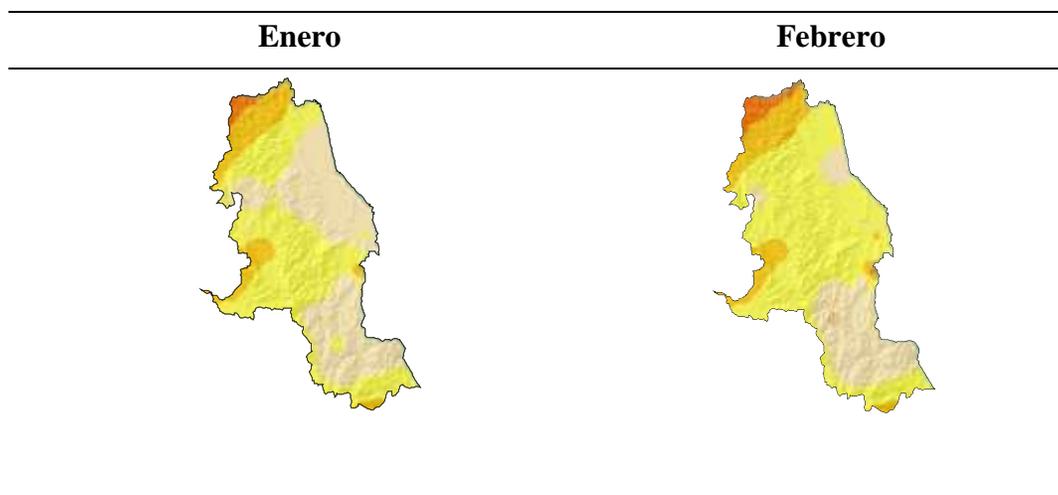
Mediante el atlas de radiación solar de Colombia se pudo determinar la insolación solar global horizontal en Norte de Santander para cada uno de los meses del año y el mapa multianual que presenta el comportamiento promedio de ésta en el Departamento. En la Tabla 28, se presenta la escala de gradación de color de la insolación solar global utilizada para la elaboración de los mapas mensuales.

**Tabla 28.** Escala de insolación solar global-Atlas del IDEAM

Escala de color	Insolación solar GH (kWh/m <sup>2</sup> /día)	Escala de color	Insolación solar GH (kWh/m <sup>2</sup> /día)
	1,5 – 2,0		4,5 – 5,0
	2,0 – 2,5		5,0 – 5,5
	2,5 – 3,0		5,5 – 6,0
	3,0 – 3,5		6,0 – 6,5
	3,5 – 4,0		6,5 – 7,0
	4,0 – 4,5		

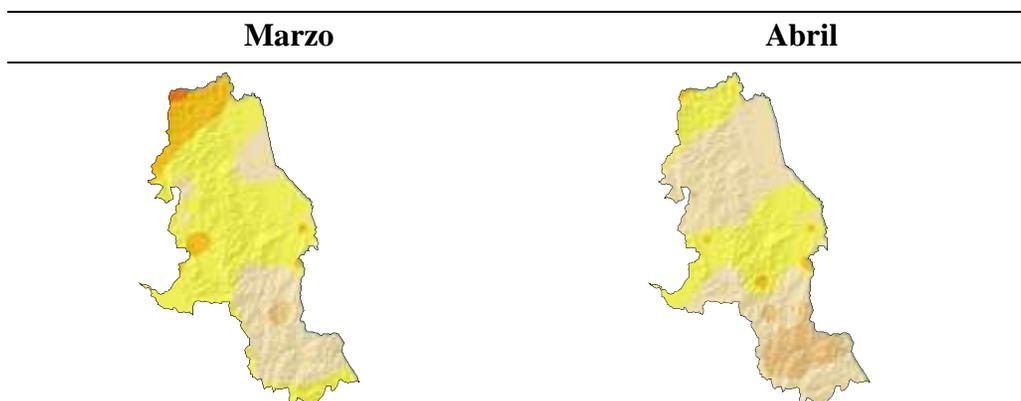
Desde la Tabla 29 hasta la Tabla 34, se muestran los mapas de insolación solar global de forma bimestral. En estas, se observa que los meses con mayor insolación solar GH para Norte de Santander se encuentran entre julio y septiembre con valores superiores a 3,5 kWh/m<sup>2</sup>/día, siendo agosto el mes con mayor insolación solar GH (de manera general) para el departamento con valores superiores a 4 kWh/m<sup>2</sup>/día.

**Tabla 29.** Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 1



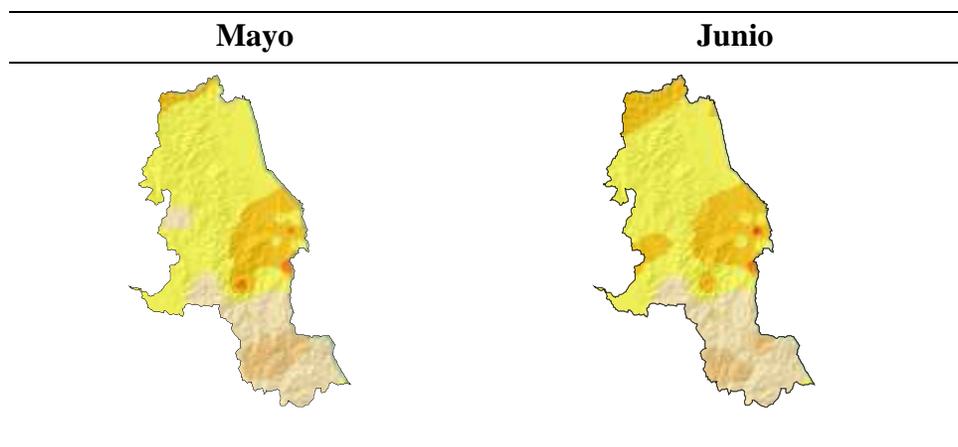
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Tabla 30.** Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 2



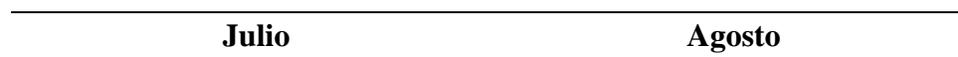
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

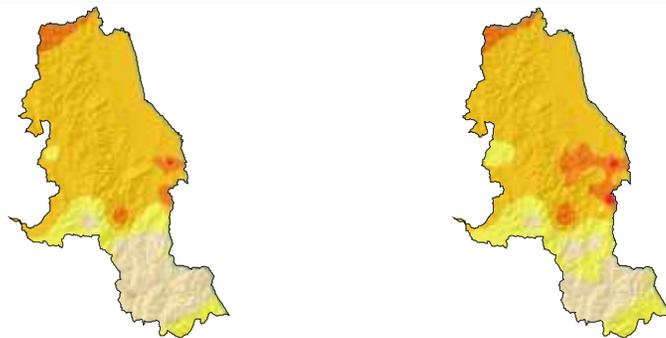
**Tabla 31.** Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 3



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

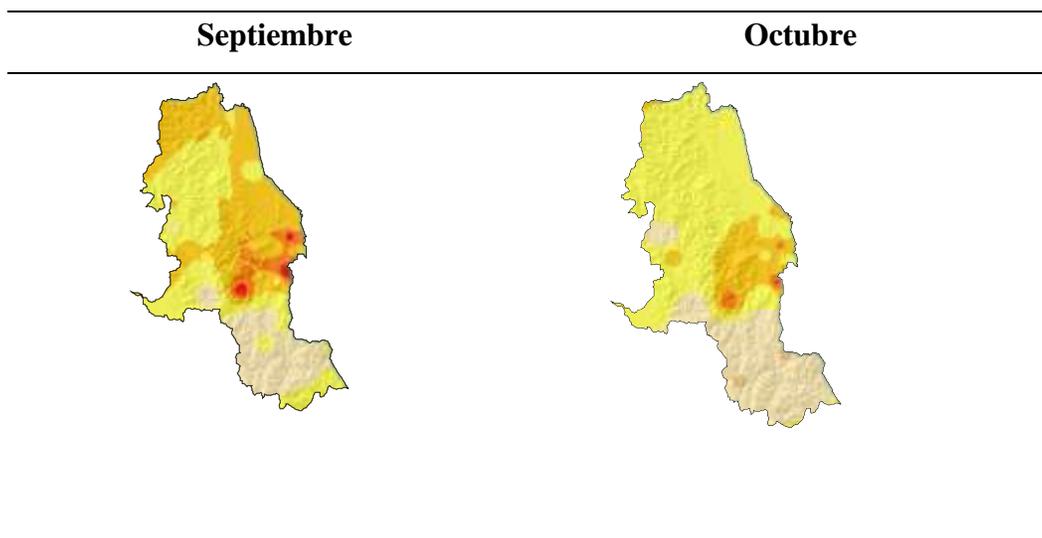
**Tabla 32.** Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 4





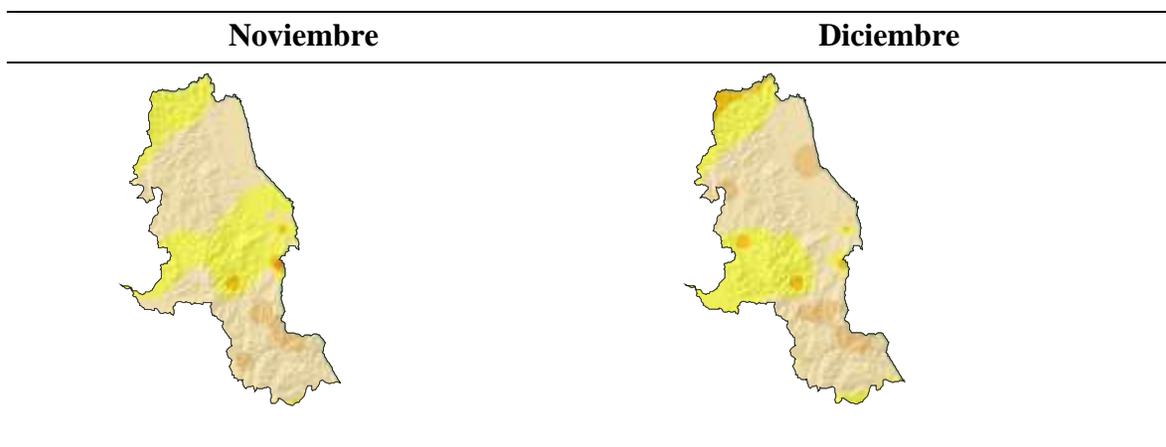
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Tabla 33.** Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 5



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Tabla 34.** Insolación solar global horizontal para Norte de Santander-bimestre 6



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Durante el primer semestre del año, se observa que las subregiones Norte, Centro y Oriental son las que cuentan con mayor insolación solar global. Mientras que las demás subregiones cuentan con una insolación comprendida entre 3 y 4 kWh/m<sup>2</sup>/día.

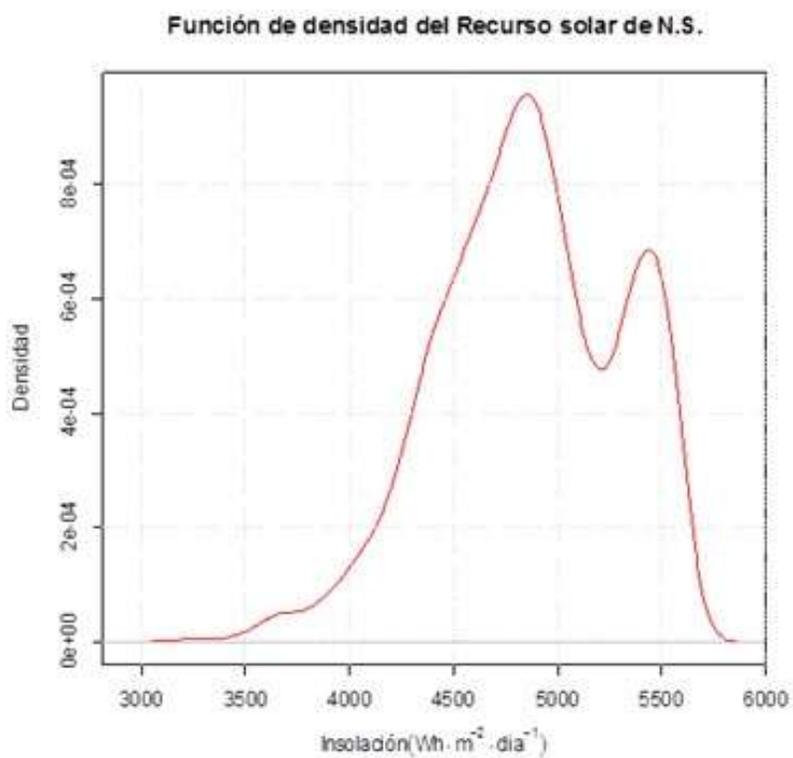
De forma similar, a como ocurre durante los primeros seis meses, para el segundo semestre las subregiones Norte, Centro y Oriente cuentan con la mayor cantidad de radiación. Sin embargo, es necesario acotar que para los meses de noviembre y diciembre la insolación solar global disminuye.

#### 4.2.3.3. Recurso Solar de Norte de Santander

Para determinar el recurso solar del departamento, se halló la radiación solar global para cada una de las veredas de los 40 municipios. Con base en esto se construyó la función de densidad de recurso solar para el departamento, que determina la forma que tiene la distribución de los valores de radiación solar.

En la Figura 13, se aprecia la gráfica de la función de densidad de probabilidad del recurso solar de las zonas rurales de Norte de Santander; en esta gráfica se observa que la población es bimodal con modas en los valores de 4,850 kWh/m<sup>2</sup>/día y 5,550 kWh/m<sup>2</sup>/día.

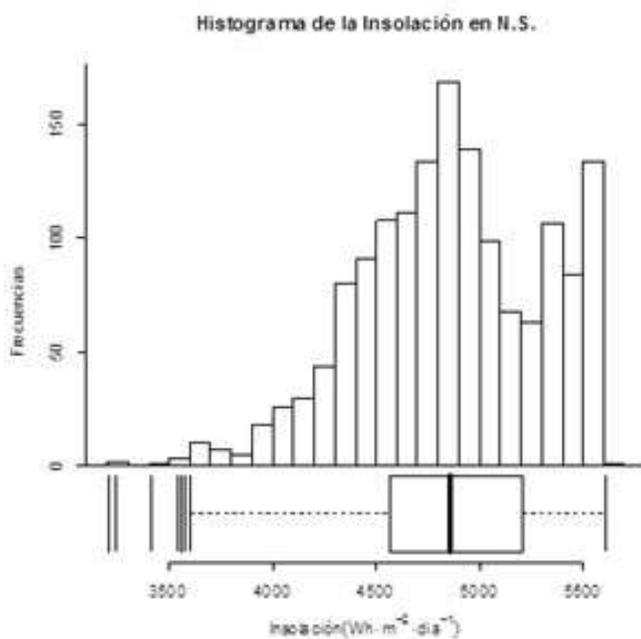
**Figura 13.** Función de densidad de Insolación solar en zonas rurales del departamento.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 14 se presenta un histograma con un diagrama de caja que representa la población total de Insolación para el departamento.

**Figura 14.** Resumen de Insolación en el departamento

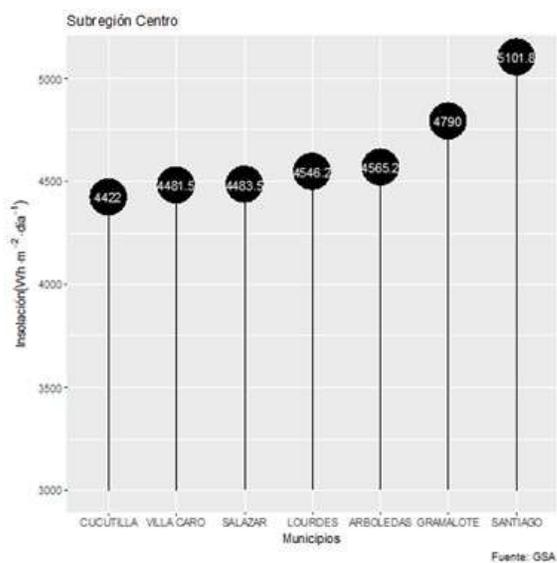


Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

#### 4.2.3.4. Promedio de insolación por Subregiones

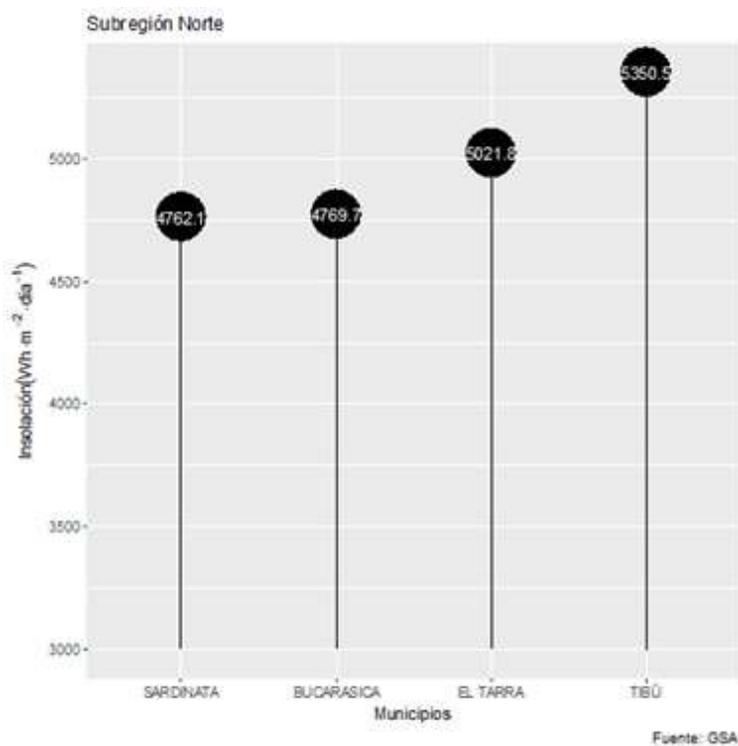
En las siguientes figuras se presentan cada una de las subregiones del departamento Norte de Santander con el promedio de Insolación solar en cada uno de sus municipios.

**Figura 15.** Promedio de Insolación en la subregión Centro.



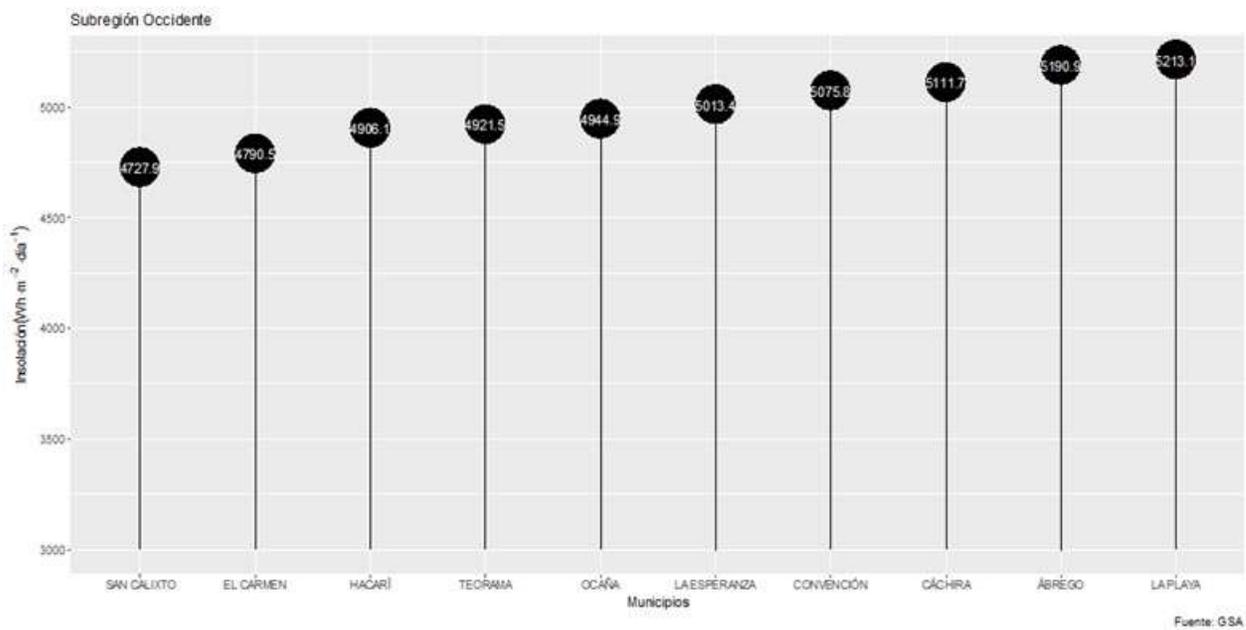
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Figura 16.** Promedio de Insolación en la subregión Norte.



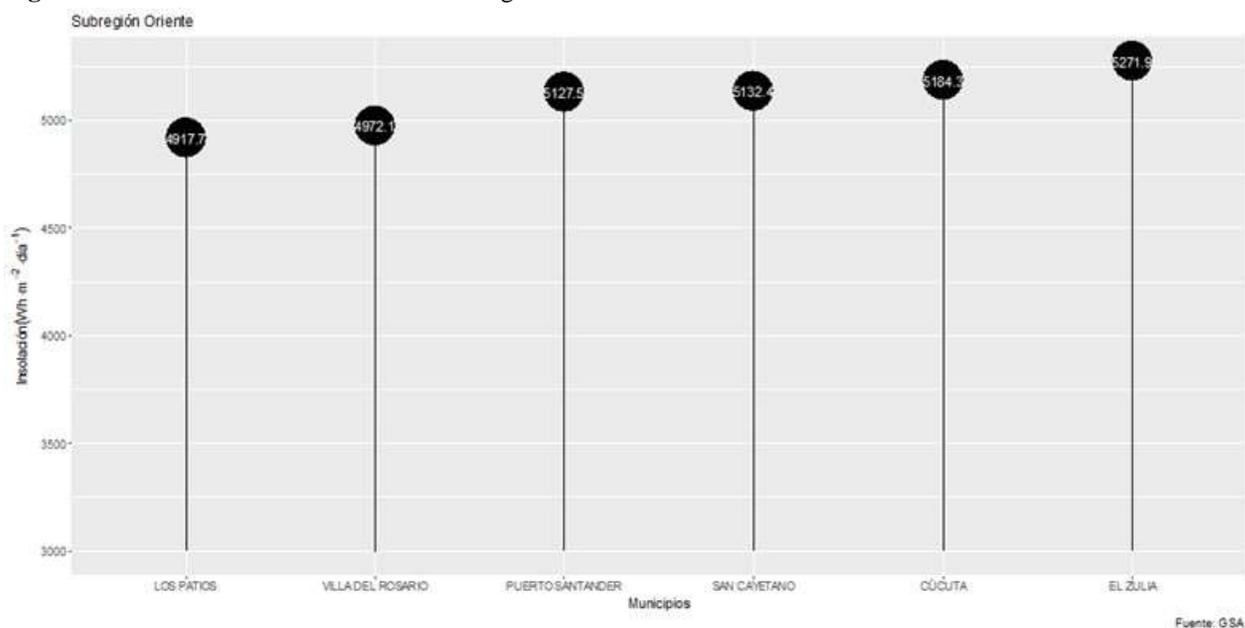
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Figura 17.** Promedio de Insolación en la subregión Occidente.



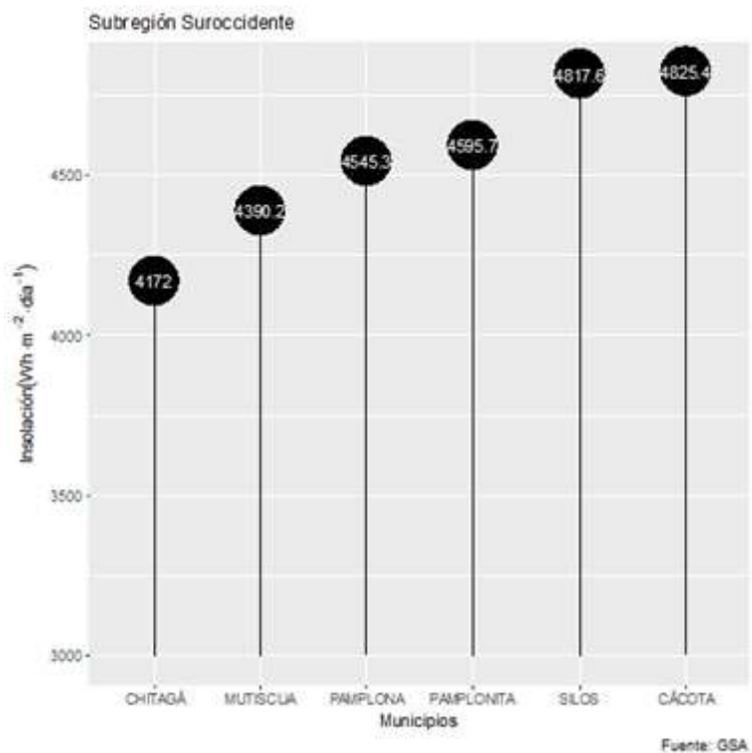
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Figura 18.** Promedio de Insolación en la subregión Oriente.



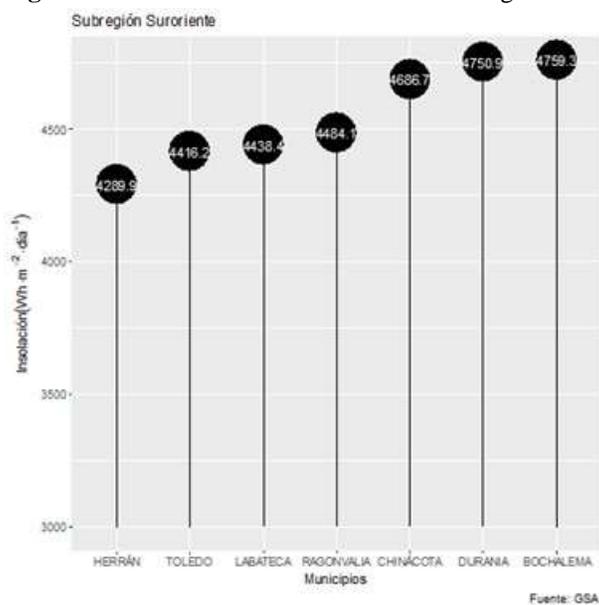
Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Figura 19.** Promedio de Insolación en la subregión Suroccidente.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

**Figura 20.** Promedio de Insolación en la subregión Suroriente.

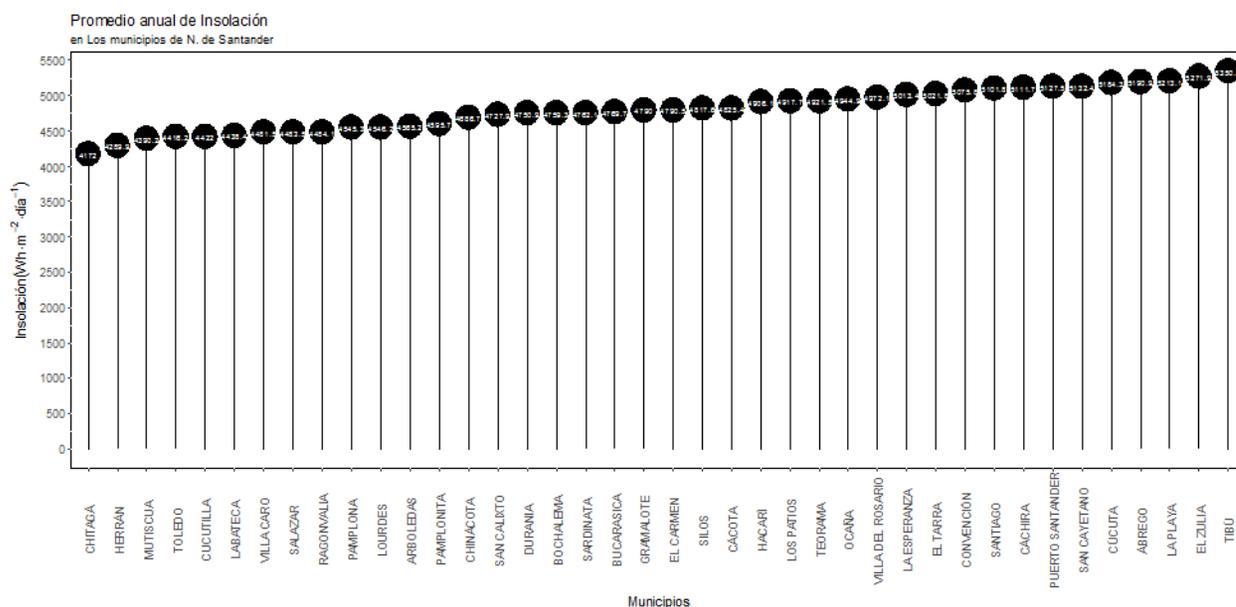


Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

### **Promedios de Insolación Solar por Municipio**

En la Figura 21, se presenta la insolación de los municipios del departamento ordenada de menor a mayor en el valor de la insolación.

**Figura 21.** Promedio de Insolación para los municipios del departamento.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

#### 4.2.3.5. Análisis del Recurso Solar del Departamento

A partir de los resultados de radiación solar del departamento se puede establecer que:

- Con respecto a la radiación solar global del departamento se encontró que el valor mínimo es de 3,208 kWh/m<sup>2</sup>, el valor máximo es de 5,611 kWh/m<sup>2</sup> y que el promedio es de 4,857 kWh/m<sup>2</sup>.
- La insolación solar de todos los municipios del departamento tiene un valor promedio superior a la media mundial que es de 3,9 kWh/m<sup>2</sup> y el 77,5% de estos tienen un valor promedio superior al nacional que es de 4,5 kWh/m<sup>2</sup>.

- Los tres municipios que cuentan con los valores más altos de radiación son: Tibú (5,351 kWh/m<sup>2</sup>), El Zulia (5,272 kWh/m<sup>2</sup>) y La Playa (5,213 kWh/m<sup>2</sup>).
  
- Los municipios con potencial para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica son: Tibú, El Zulia, La Playa, Ábrego, Cúcuta, San Cayetano, Puerto Santander, Cáchira, Santiago, Convención, El Tarra, La Esperanza, Villa del Rosario, Ocaña, Teorama, Los Patios y Hacarí, debido a que estos tienen una insolación promedio superior a la media del departamento.
  
- La potencia máxima entregada por paneles solares se ve afectada por la temperatura de operación, a mayor temperatura menor eficiencia y potencia de salida. Por lo cual, aquellos municipios con temperaturas elevadas, aún con potencial de radiación, cuentan con una desventaja. Con base en lo anterior y tomando como criterio que la temperatura promedio y máxima no debe superar 25°C, los municipios de mayor potencial son: La Playa, Ábrego, San Cayetano, Santiago, Convención, Villa del Rosario, Ocaña, Los Patios y Hacarí.
  
- Nota aclaratoria: el criterio de 25°C, como valor de referencia para la temperatura, obedece a las Condiciones de Prueba Estándar (STC, Standard Test Conditions) que se realizan a los paneles solares para obtener su desempeño óptimo. Las STC corresponden a una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura en celda de 25°C y con una masa de aire de 1.5 (AM1.5).

#### 4.2.3.6. Oferta de Energía Solar en Norte de Santander por Subregiones

Subregión Norte. La subregión Norte, comprendida por los municipios de: Bucarasica, El Tarra, Sardinata y Tibú, cuenta con una potencial de energía solar dado por un 100% de municipios con un recurso solar superior al promedio mundial y al promedio nacional según datos de la aplicación Global Solar Atlas. Sin embargo, los análisis arrojados por el método de Angström-Prescott muestran que para el municipio de Tibú existe un promedio de insolación anual inferior al promedio nacional.

Subregión Oriente. La subregión Oriente, comprendida por los municipios de Cúcuta, El Zulia, Los Patios, Puerto Santander, San Cayetano y Villa Del Rosario, cuenta con un potencial solar dado por un 100% de municipios con un recurso solar superior al promedio mundial y al promedio nacional según los datos de la aplicación Global Solar Atlas.

Sin embargo, según los análisis arrojados por el método de Angström-Prescott, se observa que el municipio de El Zulia, presenta un promedio de Insolación solar anual de  $4,33 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$  un 3,7% inferior al promedio nacional.

Subregión Occidente. La subregión Occidente, comprendida por los municipios de Ábrego, Cáchira, Convención, El Carmen, La Esperanza, Hacarí, La Playa, Ocaña, San Calixto y Teorama, cuenta con un potencial solar dado por un 100% de municipios con un recurso solar superior al promedio mundial y al promedio nacional según los datos de la aplicación Global Solar Atlas.

Sin embargo, según los análisis arrojados por el método de Angström-Prescott los municipios Ábrego, Cáchira, Convención, La Playa y Ocaña presentan promedios de Insolación solar inferiores al promedio nacional.

Subregión Centro. La subregión Centro, comprendida por los municipios de Arboledas, Cucutilla, Gramalote, Lourdes, Salazar, Santiago y Villa Caro, cuenta con un potencial solar dado por un 100% de municipios con un recurso solar superior al promedio mundial y un 57% de municipios con un recurso solar superior al promedio nacional según los datos de la aplicación Global Solar Atlas.

Además de ello, según los análisis arrojados por el método de Angström-Prescott el municipio de Cucutilla cuenta con un promedio de insolación inferior al promedio mundial y el municipio de Salazar cuenta con un promedio de insolación anual inferior al promedio nacional.

Subregión Suroccidente. La subregión Suroccidente, comprendida por los municipios de Cácuta, Chitagá, Mutiscua, Pamplona, Pamplonita y Silos cuenta con un potencial solar dado por un 100% de municipios con un recurso solar superior al promedio mundial y un 66.67% de municipios con un recurso solar superior al promedio nacional según los datos de la aplicación Global Solar Atlas.

Además de esto, según los análisis arrojados por el método de Angström-Prescott, los municipios de Pamplona y Pamplonita cuentan con un promedio de insolación anual inferior al

promedio mundial y el municipio de Silos cuenta con un promedio de Insolación anual inferior al promedio nacional.

Subregión Suroriente. La subregión Suroriente, comprendida por los municipios de Bochalema, Chinácota, Durania, Herrán, Labateca, Ragonvalia y Toledo cuenta con un potencial solar dado por un 100% de municipios con un recurso solar superior al promedio mundial y un 42.65% de municipios con un recurso solar superior al promedio nacional según los datos de la aplicación Global Solar Atlas.

Además de esto, según los análisis arrojados por el método de Angström-Prescott, los municipios de Herrán y Chinácota, cuentan con un promedio de insolación anual inferior al promedio mundial, y el municipio de Ragonvalia presenta un promedio de Insolación inferior al promedio nacional.

#### 4.2.3.7. Potencial Solar de Norte de Santander

En la Tabla 35 se muestran los resultados organizados de forma descendente del promedio de radiación solar para cada municipio del departamento. Esta tabla es encabezada por los municipios de Tibú, El Zulia y La Playa.

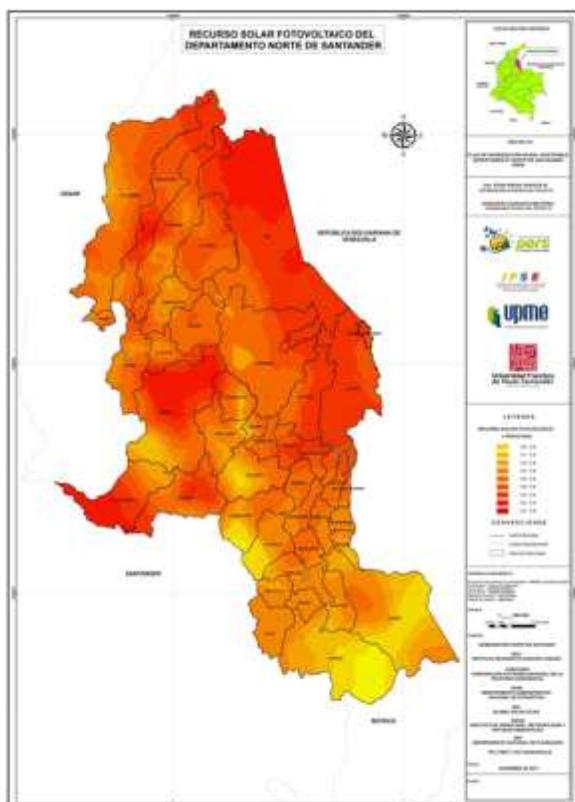
**Tabla 35.** Parámetros de radiación solar por municipio.

Municipio	Radiación (Wh/m <sup>2</sup> )	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)
Tibú	5350,5	26,9	28,1
El Zulia	5271,9	24,7	26,8
La Playa	5213,1	19,8	20,7

Municipio	Radiación (Wh/m <sup>2</sup> )	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)
Ábrego	5190,9	19,9	24,4
Cúcuta	5184,3	25,3	27,6
San Cayetano	5132,4	23,75	24,2
Puerto Santander	5127,5	24	27,8
Cáchira	5111,7	19,9	25,1
Santiago	5101,8	21,7	23,4
Convención	5075,8	21,2	23,5
El Tarra	5021,8	24	25,9
La Esperanza	5013,4	23,95	27,9
Villa del Rosario	4972,1	16,4	20,8
Ocaña	4944,9	21,2	22
Teorama	4921,5	22,85	25,4
Los Patios	4917,7	21,55	23,3
Hacarí	4906,1	21,2	23,6
Cácota	4825,4	12	13,9
Silos	4817,6	10,5	12,8
El Carmen	4790,5	22,1	25,1
Gramalote	4790	18,9	21,4
Bucarasica	4769,7	19,9	22,6
Sardinata	4762,1	23,4	27,3
Bochalema	4759,3	18,2	20,1
Durania	4750,9	19,6	21,3
San Calixto	4727,9	21,15	23,1
Chinácota	4686,7	18	22,3
Pamplonita	4595,7	15,5	17,4
Arboledas	4565,2	18,1	26
Lourdes	4546,2	19,6	21,3
Pamplona	4545,3	12,6	14,9
Ragonvalia	4484,1	16,6	19
Salazar	4483,5	18,6	21,8
Villacaro	4481,5	22,3	23,5
Labateca	4438,4	13,9	17
Cucutilla	4422	15,55	18,9
Toledo	4416,2	15,6	21,7
Mutiscua	4390,2	10,6	12,1
Herrán	4289,9	15,2	16,7
Chitagá	4172	11,75	16,2

**Mapa de radiación.** En la Figura 22, se da a conocer el mapa de insolación solar realizado para Norte de Santander, creado a partir de los datos del GSA, con la tonalidad que representa el valor promedio de insolación para cada municipio.

**Figura 22.** Mapa de radiación solar de Norte de Santander



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

## 4.3 Energía a Partir de Biomasa

### 4.3.1. Marco teórico

La biomasa es una fuente de energía renovable que constituye toda la materia que proviene de unidades biológicas, vegetales y animales a través de procesos metabólicos, de crecimiento, reproducción y descomposición (BUN-CA, 2002). Mediante el proceso de fotosíntesis las plantas transforman la energía de la radiación solar en energía química, esta energía se almacena

en las estructuras biológicas formando materia orgánica. La biomasa está compuesta por moléculas de carbono, hidrógeno, oxígeno y cadenas de compuestos más complejos de carbono e hidrógeno (Secretaría de Energía de Argentina, 2004). Entre las fuentes de producción de biomasa más importantes se destacan: la explotación agrícola, la explotación pecuaria y la explotación forestal.

La producción agrícola se clasifica principalmente en dos sistemas: cultivos permanentes y cultivos transitorios. Los cultivos transitorios se distinguen por que su ciclo vegetativo es menor a un año, por ejemplo, los cereales y los tubérculos. Por su parte, los cultivos permanentes una vez plantados alcanzan una larga edad productiva y proveen un buen número de cosechas. En este último grupo se destaca el café, el cacao y los árboles frutales (Biblioteca, Ministerio de Agricultura). El rendimiento agrícola de cosecha es la relación entre la cantidad de producto principal y el área cultivada. Esta variable depende del genotipo de la especie, las prácticas de manejo del cultivo y las características climáticas y edáficas (Robasco et al, 2004). Norte de Santander divide el territorio en zonas agroecológicas que presentan características diversas de suelo y clima. Por lo anterior, el rendimiento de una especie cultivada en diferentes municipios puede no ser el mismo.

La biomasa residual corresponde a los subproductos orgánicos de origen vegetal y animal, que se generan a partir de los procesos de transformación natural o artificial de la materia y que no hacen parte del producto principal. Entre las fuentes de producción de biomasa se pueden mencionar los residuos de cultivos y actividades pecuarias, lodos de sistemas de tratamiento, residuos orgánicos de plazas de abastecimiento, residuos de poda, entre otros. La oferta de

biomasa residual se determina mediante el factor de residuo (FR), este último define la relación entre la cantidad de subproductos obtenidos por unidad de producto principal y se mide en unidades de toneladas de residuo por tonelada de producto principal.

Cada cultivo o actividad de explotación pecuaria reconoce un factor de residuo. Esta relación estará influenciada por las características del cultivo, del suelo y de las especies, los sistemas de siembra, riego, cosecha y fertilización, las prácticas de beneficio, las características geográficas y climáticas del territorio, entre otros.

En este sentido, los factores de residuo pueden llegar a ser diferentes para un mismo cultivo, si el contexto de la actividad productiva cambia. La biomasa residual proveniente de los procesos de corte, poda y la cosecha se denominan Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC); mientras que los subproductos obtenidos tras los procesos de transformación de la cosecha se definen como Residuos Agroindustriales (RAI). De acuerdo con las técnicas de manejo implementadas en cada sistema productivo, una parte de los RAC permanece en el campo y se dispone sobre el suelo como fuente de nutrientes. Esta es una práctica comúnmente utilizada para disminuir los costos de fertilización y preparación del terreno. Sin embargo, una gran cantidad de biomasa residual puede ser recolectada para otros propósitos, entre estos, la generación de energía (Escalante et al, 2011).

Así mismo, la biomasa residual proveniente de los sistemas de cría de animales de especies mayores se denomina Residuos Sólidos Orgánicos (RSO). Por su parte, la biomasa residual que tiene origen en la producción de aves de engorde y postura se define como Residuos Avícolas

(RAV), (Sanguino et al, 2009). Finalmente, se clasifican los Residuos Sólidos Municipales como RSM.

La biomasa residual puede ser utilizada como fuente potencial en la generación de energía, gracias a su contenido en compuestos orgánicos. Para determinar su uso potencial y la aplicación de una tecnología apropiada para su aprovechamiento, es fundamental realizar la caracterización fisicoquímica. Esta última permite conocer sus propiedades y limitaciones, en términos de los sistemas de transformación. Uno de los parámetros más importantes de la caracterización de la biomasa residual es su contenido energético. Esta propiedad es fundamental para establecer el tipo de biomasa que puede utilizarse como combustible o como materia prima en procesos de conversión. La caracterización de la biomasa comprende: análisis elemental, análisis estructural, contenido de humedad, cenizas, carbono fijo y material volátil.

El análisis elemental de la biomasa es un parámetro fundamental que permite determinar la presencia (porcentaje en peso) de los elementos que conforman la estructura molecular de la materia orgánica. Los principales elementos a evaluar son: carbono (C), nitrógeno (N), oxígeno (O), hidrógeno (H) y azufre (S). La presencia de estos elementos determina la viabilidad de la biomasa residual para usos energéticos, permitiendo obtener una aproximación de la capacidad calorífica. Para determinar estos parámetros puede utilizarse un analizador elemental, su principio consiste en dos reactores, en el primero se determinan cuatro elementos: carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre; y en el segundo determinar la cantidad de oxígeno de la muestra; finalmente las lecturas son realizadas a través de un cromatógrafo que registra la variación del potencial, considerando un determinado tiempo de residencia para cada elemento (Al-Karany, 2013).

El análisis estructural consiste en cuantificar el contenido de lignina, celulosa y de hemicelulosa (Escalante et al., 2011). La lignocelulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) es el componente principal y más abundante de la biomasa de origen vegetal, ya que estos compuestos resultan de la síntesis del proceso fotosintético de las plantas. Según Ragauskas et al., 2006, anualmente se forman 200.000 millones de toneladas de lignocelulosa en el mundo. Los residuos lignocelulósicos pueden variar en su contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, su concentración depende de la degradación enzimática de estos compuestos bajo ciertas condiciones ambientales.

El método más utilizado para cuantificar la concentración de los compuestos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) es la espectrofotometría (Quintero et al., 2015), la biomasa se somete previamente a hidrólisis ácida, también denominada digestión, bajo condiciones controladas de temperatura y posteriormente mediante reacción se determina el contenido de cada componente.

La humedad es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Este análisis constituye uno de los más importantes, en términos del uso de la biomasa potencial con fines energéticos. Lo anterior, debido a que algunos sistemas de transformación requieren un contenido mínimo de agua, lo que significa implementar una etapa de pretratamiento o acondicionamiento. Algunos autores infieren que el contenido de humedad no debe superar el 60% (p/p) (Burgos, 2010; Murillo & Barrera, 2016), considerando que la presencia de agua disminuye el poder calórico inferior.

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de biomasa. Su determinación es importante ya que las cenizas dificultan los procesos de transferencia de calor y bajan la temperatura de combustión. Por otra parte, pueden causar problemas de deposición, acumulación de residuos y corrosión en los equipos de transformación (Murillo & Barrera, 2016). Para determinar este parámetro se utilizan métodos basados en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo (NTC 4431, 1998).

Los análisis de carbono fijo y material volátil permiten identificar la fracción de la biomasa en donde se almacena la energía química (Murillo & Barrera, 2016). Se ha determinado que los materiales sólidos combustibles con mayor contenido de carbono fijo son menos reactivos. Esto, debido a que la liberación del material volátil (proceso que requiere energía) es más lenta y significa un mayor consumo energético de activación (temperatura de ignición) (Barrera, Pérez & Salazar, 2014).

La caracterización de la biomasa proporciona los elementos fundamentales para determinar el poder calorífico de la misma. El poder calorífico (PC) de un material se define como el calor liberado en un proceso de combustión por unidad volumétrica de combustible (Chadwick et al., 2014). A su vez la relación entre el poder calorífico, la humedad y la cantidad de materia permiten cuantificar el potencial energético de la biomasa. El potencial energético se define como la energía lumínica que toma la biomasa del sol para ser transformada en energía química, mediante reacciones enzimáticas (Becerra, 2008). Esta energía química contenida en la biomasa,

puede ser transformada en energía calórica por medio de procesos de pirolisis, gasificación, combustión y digestión anaerobia, entre otros.

Para determinar el potencial energético se han desarrollado diferentes modelos matemáticos. El modelo matemático utilizado para evaluar el potencial energético de la biomasa en el sector agrícola, se fundamenta en que la energía contenida en su materia es proporcional a su masa seca y por consiguiente puede expresarse en forma general como (Orduz, 2011):

$$PE = [M_{rs}] * [E] \quad (1)$$

En donde:

PE: Potencial energético [TJ/año]

$M_{rs}$ : Masa de residuo seco [t/año]

E: Energía por unidad de masa del residuo [TJ/t]

Para el caso de diferentes tipos de cultivos ya sean de cosecha o agroindustriales, la masa del residuo seco se expresa como sigue (Escalante, 2010):

$$M_{rs} = \alpha * A * R_c * \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{rgki} * Y_{rski} \quad (2)$$

En donde:

$M_{rs}$ : Masa de residuo seco [t/año]

A: Área cultivada [ha/año]

$R_c$ : Rendimiento del cultivo [t producto principal / ha sembrada]

$\alpha$ : Constante de conversión de unidades igual a  $10^{-6}$

$Y_{rs}$ : Fracción de residuo seco [t residuo seco/t residuo húmedo]

$M_{rg}$ : Factor de generación del residuo [t residuo/t producto principal]

Una vez obtenida la masa del residuo seco anual, el potencial energético global de la biomasa residual agrícola para los cultivos de estudio, se evaluó mediante la siguiente expresión:

$$PE = \alpha * A * R_c * \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m M_{rgki} * Y_{rski} * PCI_{ki} \quad (3)$$

Sabiendo que:

$PCI_{ki}$ : Poder calórico inferior (KJ/kg) (Nogues et al., 2010):

$$PCI = PCS - [9 * 2,449 * H] \quad (4)$$

En donde PCS es el poder calórico superior (calor por la condensación del vapor de agua).

PCI: Poder calorífico sin tener en cuenta el calor de condensación del vapor de agua (energía aprovechable). El PCS es determinado teóricamente mediante modelos matemáticos o experimentalmente mediante el uso de una bomba calorimétrica. Alternativamente, el PCI puede ser directamente calculado de forma teórica mediante la fórmula modificada de Dulong (Bueno, 2006):

$$PCI = PCS - 25 * \left[ 9 * \left( H - \frac{O}{8} \right) + W \right] \quad (5)$$

Para encontrar el poder calorífico útil de un residuo sólido, se parte del análisis elemental, considerando la composición elemental (% en masa), el contenido de humedad (W) y el contenido de cenizas (A) de forma que:

$$C + H + O + N + W + A = 100 \quad (6)$$

El Poder Calorífico superior se calcula mediante:

$$PCS = 337,3 * C + 1418,9 * \left[ H - \frac{O}{8} \right] + 93,1 * S + 23,3 * N \quad (7)$$

Multiplicando el contenido de hidrógeno no ligado a oxígeno ( $H - O/8$ ) por  $18/2 = 9$  se tiene el agua que se forma en la combustión (kg de agua formada por kg de H presente en el combustible).

Por su parte, las actividades pecuarias constituyen un sector primario en la producción de residuos orgánicos (Galvis et al., 2008). El estiércol animal genera emisiones de Gas Metano, si se considera el gran volumen de biomasa animal que se genera debido a la producción intensiva, la concentración de gas constituye una de las principales fuentes de contaminación. Esta energía puede ser completamente aprovechada mitigando el impacto de los residuos y convirtiéndose en una fuente renovable y limpia de abastecimiento (Galvis et al., 2008). El potencial energético de las excretas bovinas se determinó mediante modelos matemáticos que involucran la masa total de residuo, la fracción de estiércol y su poder calorífico inferior.

$$PE = MR * PCI_{\text{Biogas}} \quad (8)$$

En donde:

MR: Masa del residuo ( $\text{m}^3$  Biogas/año)

$PCI_{\text{Biogas}}$ : Poder calorífico del biogás (TJ/kg).

La masa del residuo está directamente relacionada con la producción de biogás vía digestión anaerobia y se define como:

$$MR = MS * FVS * Y_{\text{Biogas}} \quad (9)$$

Sabiendo que:

MS: Materia seca (kg MS/año)

FVS: Fracción de sólidos volátiles (kg SV/kg MS)

$Y_{\text{Biogas}}$ : Rendimiento del biogás ( $\text{m}^3/\text{kg SV}$ ) (Romero et al., 2014) y (Varnero, 2001), que corresponde a la capacidad de producción de metano a partir de la descomposición del estiércol animal. Se determinó un valor medio de  $Y_{\text{Biogas}}$  ( $0,0587 \text{ m}^3/\text{kg SV}$ ). La cantidad de materia seca (kg MS/año) se calcula de acuerdo con:

$$MS = FMS * FR * \sum_{k=1}^n NA * EP \quad (10)$$

En donde:

FMS: Fracción de materia seca (kg MS/kg EP)

FR: Fracción recuperable del residuo

NA: Número de animales (cabezas)

EP: Cantidad de estiércol (kg EP/cabeza\*año)

Conociendo el potencial energético de biomasa y la tecnología de conversión a utilizar, es posible determinar la oferta energética de esta materia prima. La conversión de biomasa en energía eléctrica se realiza principalmente por procesos termoquímicos y bioquímicos. En la conversión termoquímica, la biomasa es sometida a alta temperatura favoreciendo las reacciones de oxidación parcial (gas de gasógeno), completa (combustión en ciclo vapor) o en presencia de otros agentes diferentes al aire (gas de síntesis), con el fin de ser transformada en un combustible sólido, líquido o gaseoso (Acevedo, 2006). Los procesos termoquímicos (pirolisis, gasificación, combustión y carbonización) requieren que la biomasa contenga muy poca humedad (Patel & Zhang, 2016). La producción de energía a partir de la combustión de biomasa puede ser cuatro (4) veces más costosa en comparación con la gasificación.

Por otra parte, la conversión bioquímica se caracteriza por la acción de diversos tipos de microorganismos que pueden estar presentes en la biomasa o son adicionados durante el proceso, generando una degradación de las moléculas complejas en compuestos más simples con alto contenido energético (Acevedo, 2006). Los procesos bioquímicos requieren que la biomasa presente un alto contenido de humedad.

A continuación, se presenta el modelo estequiométrico propuesto para determinar la oferta energética (KWh/año) a partir del proceso de digestión anaerobia:

$$\text{Oferta Energética} = E_f * \varphi * Y_{\text{Biogas}} * P_{\text{CH}_4} * Y_{\text{FVS}} * P * M_{\text{rg}} \quad (6)$$

En donde:

$E_f(\%)$ : Eficiencia energía de conversión a energía eléctrica;

$\varphi$ : Factor de conversión de unidades

$PCI_{CH_4}$ : Poder calorífico del metano 18852 KJ/m<sup>3</sup>

$Y_{FVS}$ : Fracción de sólidos volátiles (kg SV/kg residuo);

P: Producción anual del producto principal (ton/año)

La oferta energética (KWh/año) de la biomasa residual sometida a transformación mediante procesos de gasificación ( $OfE_{gasificación}$ ) se calculó según la ecuación descrita a continuación:

$$OfE_{gasificación_{CV}} = Ef_{e/gasificación_{CV}} * PE \quad (7)$$

Siendo:

$Ef_{e/gasificación_{CV}}$ : Eficiencia de conversión a energía eléctrica

PE: Potencial energético del residuo.

La oferta energética (KWh/año) a partir del estiércol de bovino  $OfE_{BiogásB}$  se calculó siguiendo la ecuación:

$$OfE_{BiogásB} = Ef_{e/Biogás} * PE \quad (8)$$

Siendo:

$Ef_{e/Biogás}$ : Eficiencia de conversión a energía eléctrica

PE: Potencial energético del estiércol bovino.

### 4.3.2. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, frente a la determinación de la oferta energética a partir de biomasa residual en Norte de Santander, se siguió la ruta metodológica descrita en la Tabla 36.

**Tabla 36.** Descripción de la ruta metodológica desarrollada - Componente de Biomasa - PERS NDS.

Ítem	Actividad	Descripción de la ruta metodológica
1	Recopilación de información secundaria sobre la producción agrícola y pecuaria de Norte de Santander.	Se realizó la recopilación y análisis de la información secundaria, mediante la consulta de fuentes disponibles en sistemas de búsqueda en internet y bases de datos de los anuarios estadísticos 2015 de la Secretaría de Desarrollo Departamental (Norte de Santander) y de la Red de Información y Comunicación del sector Agropecuario Colombiano (AGRONET), Anuario Estadístico de Sector Agropecuario 2015, Base Agrícola EVA 2007-2015, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MINAGRICULTURA).
2	Clasificación de la Información recolectada en la estructura de subregiones (Central, Norte, Occidental, Oriental, Suroccidental y Suroriental).	La información recopilada sobre la producción agrícola y pecuaria de Norte de Santander (en unidades de Ton/año y No. de Cabezas, respectivamente) se clasificó bajo la estructura de subregiones (Central, Norte, Occidental, Oriental, Suroccidental y Suroriental), definida en el marco del Plan de Energización Rural Sostenible (PERS - NDS).
3	Determinación del factor de residuo (FR) para los diferentes cultivos y actividades pecuarias de Norte de Santander.	Se realizó la consulta bibliográfica de trabajos de investigación realizados frente al estudio de alternativas de aprovechamiento de la biomasa residual del sector agroindustrial en Colombia. Lo anterior con el objetivo de determinar el factor de residuo (FR) para los productos agrícolas y pecuarios de la región Norte Santandereana.

Ítem	Actividad	Descripción de la ruta metodológica
4	Cuantificación de la biomasa residual a partir de las fuentes de producción agrícola y pecuaria de Norte de Santander.	A partir del factor de residuo (FR) de los diferentes cultivos y actividades pecuarias, identificadas como fuentes de producción de biomasa, se realizó la cuantificación de la biomasa residual en unidades de Ton/año. Lo anterior, en función de los residuos agrícolas de cosecha (RAC), residuos agrícolas industriales (RAI), residuos sólidos orgánicos (RSO), y residuos avícolas (RAV) de Norte de Santander.
5	Selección de los cultivos y actividades pecuarias con mayor producción de biomasa residual en Norte de Santander.	Teniendo en cuenta los resultados de producción de biomasa residual, se determinaron seis (6) cultivos y una (1) actividad pecuaria determinar la oferta energética en Norte de Santander.
6	Caracterización de la biomasa residual de los cultivos y actividades pecuarias seleccionadas.	Teniendo en cuenta la priorización dos los cultivos y las actividades pecuarias de Norte de Santander, se realizó una revisión bibliográfica de los trabajos de investigación realizados previamente en el GIAV, también se utilizaron las bases de datos: Science Direct, Redylac, Scielo, Scopus, Google Scholar, donde se indagó información en artículos científicos y técnicos. Posteriormente, se analizaron los reportes de caracterización de la biomasa residual teniendo en cuenta el análisis elemental, estructural y próximo de cada uno de las fuentes seleccionadas.
7	Determinación del potencial energético de la biomasa residual a partir de los cultivos y actividades pecuarias seleccionados para Norte de Santander.	La determinación del potencial energético de la biomasa residual a partir de los cultivos y las actividades pecuarias priorizados para Norte de Santander, se realizó utilizando los modelos matemáticos expuestos en la sección de marco teórico y los datos obtenidos a partir de la caracterización de la biomasa.
8	Cuantificación de la oferta energética de la biomasa residual a partir de los cultivos y actividades pecuarias seleccionados para Norte de Santander.	La oferta energética de los cultivos con bajo contenido de humedad (arroz, palma de aceite y café), se determinó a partir de su conversión energética, mediante la tecnología termoquímica de gasificación, asumiendo una eficiencia del 25 % (Abreo et al., 2016).  La oferta energética de los cultivos que presentan un mayor contenido de humedad (plátano, cacao y caña panelera) y del estiércol bovino, se calculó a partir de su conversión mediante digestión anaerobia (obtención de biogás), asumiendo una eficiencia del 30% (Romero, 2014). Se tuvo en cuenta el reporte de los siguientes factores de producción de gas metano: plátano 0,42 m <sup>3</sup> /kg SV; cacao 0,40 m <sup>3</sup> /kg SV, caña panelera 0,12 m <sup>3</sup> /kg SV (Espinosa, 2013).

### 4.3.3. Resultados y análisis de resultados

Teniendo en cuenta los reportes de las diferentes fuentes secundarias consultadas, con respecto al área de cultivo establecida y la cantidad de producto en toneladas/año, se seleccionaron seis (6) cultivos: plátano, caña panelera, palma de aceite, arroz, café, y cacao (este último, incluido debido a su participación en los programas de sustitución de cultivos ilícitos), y una actividad pecuaria (producción de ganado bovino), como las principales fuentes de biomasa residual en Norte de Santander. Con base en la información de las fuentes de producción de biomasa residual seleccionadas, se estimaron los valores de los parámetros de caracterización fisicoquímica de cada subproducto.

La caracterización fisicoquímica de la biomasa aportó los datos necesarios para la aplicación de los modelos matemáticos que permitieron calcular el potencial energético por municipio, en Terajulios (TJ)/año (como unidad de medida energética estándar, de acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas). Así mismo, se determinó la densidad de potencial energético en Terajulios/hectárea (TJ/ha), teniendo en cuenta el área de producción establecida para cada actividad seleccionada. Como resultado de este análisis se generaron los mapas departamentales de oferta de densidad de potencial energético para cada actividad seleccionada.

La caracterización fisicoquímica de la biomasa también permitió clasificar los subproductos de acuerdo con su contenido de humedad. Sabiendo que el poder calorífico inferior de los materiales varía con el contenido de humedad, esta constituye uno de los parámetros más representativos de la calidad de la biomasa (Romero, 2010). Teniendo en cuenta lo anterior, se

cuantificó la oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, mediante la aplicación de modelos matemáticos que describen la conversión energética de la biomasa vía gasificación (bajo contenido de humedad) y vía digestión anaerobia (alto contenido de humedad).

En la Tabla 37 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, por municipio, para la biomasa residual del cultivo de plátano, en Norte de Santander. De los 31 municipios productores en el departamento, se reportan los primeros 11 clasificados en orden descendente (ver Anexo 1).

De acuerdo con los resultados reportados Tibú es el municipio con mayor oferta energética a partir del cultivo de plátano, con una participación del 10%. Así mismo se destacan los municipios de Sardinata (9,33%), El Carmen (8,63%) y El Zulia (8,14%). Es importante mencionar que actualmente se desconocen las prácticas de manejo de los subproductos de cosecha. Este escenario dificulta cuantificar la biomasa residual realmente disponible para fines de conversión energética.

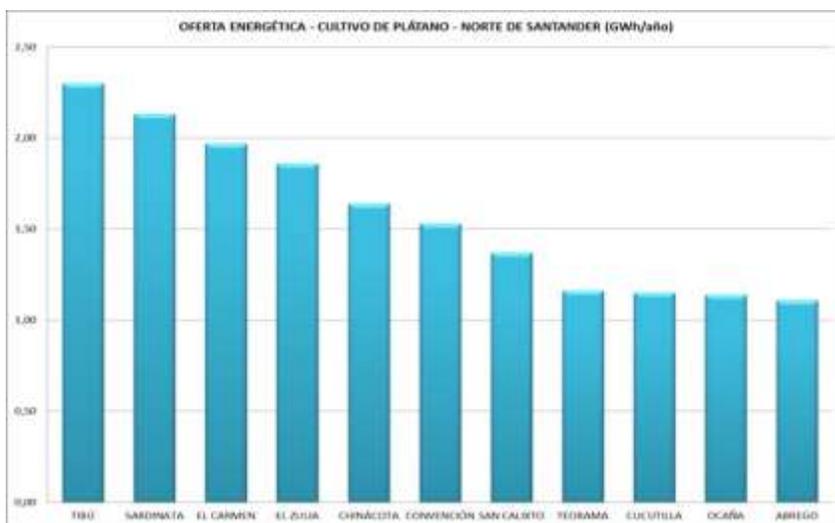
**Tabla 37.** Oferta energética - cultivo de plátano - Norte de Santander.

<b>Municipio</b>	<b>Potencial Energético (TJ/año)</b>	<b>Densidad Energética (TJ/ha)</b>	<b>Densidad Energética (MJ/ha)</b>	<b>Oferta Energética (KWh/año)</b>	<b>Oferta Energética (GWh/año)</b>
TIBÚ	33,2903	0,0275	27512,62	2.301.406,59	2,30
SARDINATA	30,7437	0,0216	21620,05	2.125.359,79	2,13
EL CARMEN	28,5510	0,0220	22013,08	1.973.771,84	1,97
EL ZULIA	26,9218	0,0329	32911,78	1.861.147,40	1,86
CHINÁCOTA	23,6718	0,0247	24683,83	1.636.467,32	1,64
CONVENCIÓN	22,1003	0,0239	23918,03	1.527.824,54	1,53
SAN CALIXTO	19,8705	0,0247	24683,83	1.373.676,94	1,37
TEORAMA	16,8138	0,0251	25095,23	1.162.363,91	1,16

CUCUTILLA	16,7027	0,0405	40540,60	1.154.684,97	1,15
OCAÑA	16,4600	0,0536	53615,65	1.137.905,06	1,14
ABREGO	16,0486	0,0341	34145,97	1.109.464,55	1,11

En la Figura 23 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año del cultivo de plátano en Norte de Santander.

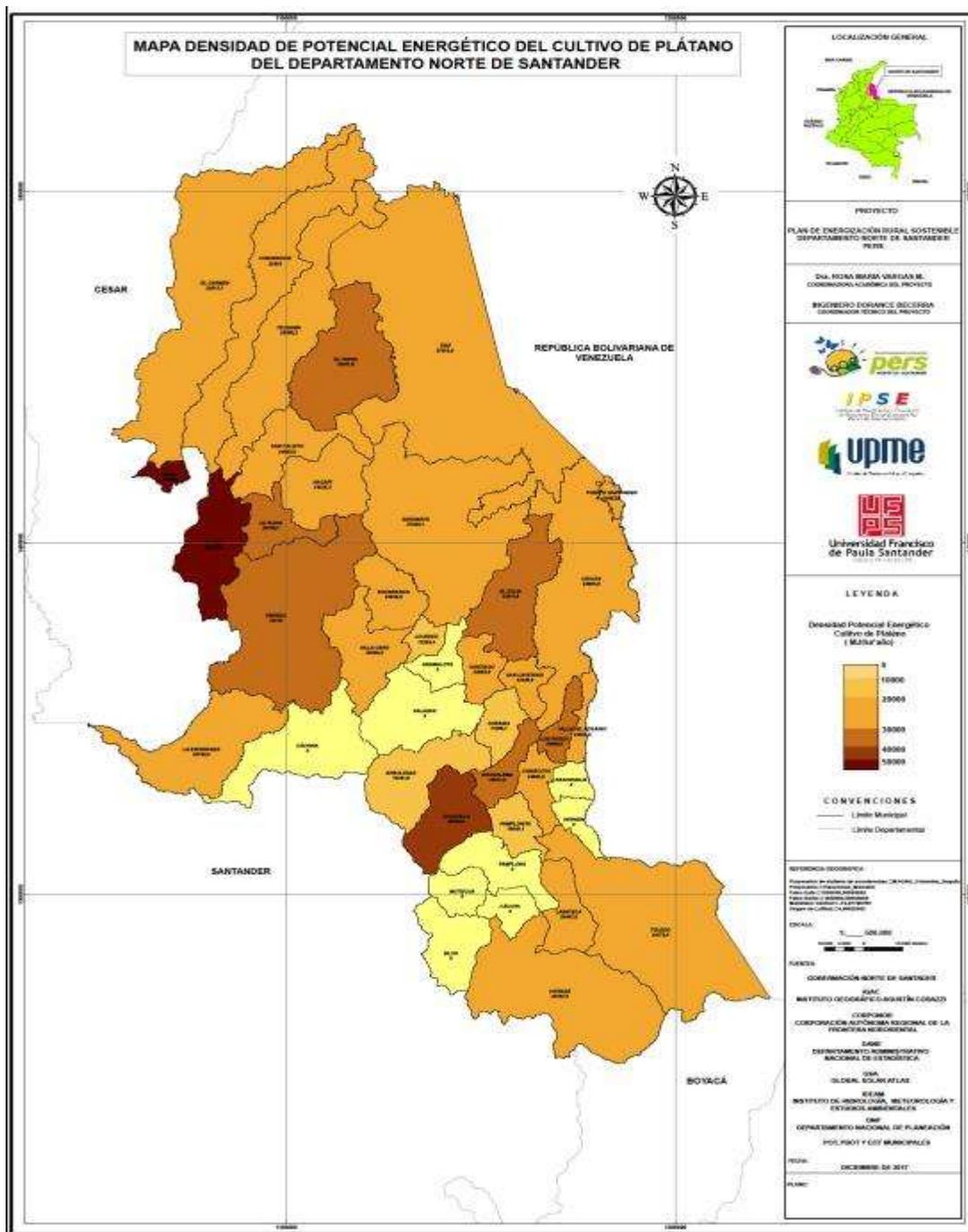
**Figura 23.** Distribución de la oferta energética - cultivo de plátano - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 24 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para el cultivo de plátano en Norte de Santander.

**Figura 24.** Densidad de potencial energético - cultivo de plátano - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Para un mayor detalle en la información presentada en este mapa se recomienda visitar [http://persnds.ufps.edu.co/pers\\_app/public/](http://persnds.ufps.edu.co/pers_app/public/)

En la Tabla 38 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora

(KWh)/año, por municipio, para la biomasa residual del cultivo de Caña panelera, en Norte de Santander (ver Anexo 2). De los 25 municipios productores en el departamento, se reportan los primeros 7 clasificados en orden descendente.

**Tabla 38.** Oferta energética - cultivo de caña panelera - Norte de Santander.

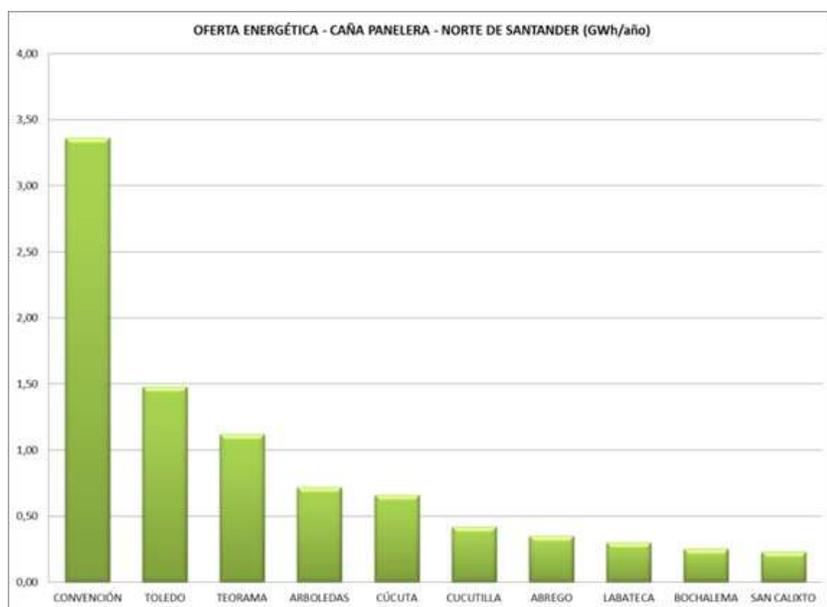
Municipio	Potencial Energético (TJ/año)	Densidad Energética (TJ/ha)	Densidad Energética (MJ/ha)	Oferta Energética (KWh/año)	Oferta Energética (GWh/año)
CONVENCIÓN	28,7192	0,0143	14330,95	3.361.942,73	3,36
TOLEDO	12,6518	0,0119	11913,22	1.481.055,44	1,48
TEORAMA	9,5659	0,0107	10748,21	1.119.808,77	1,12
ARBOLEDAS	6,1623	0,0103	10270,51	721.374,94	0,72
CÚCUTA	5,6574	0,0182	18249,62	662.266,93	0,66
CUCUTILLA	3,5732	0,0093	9305,17	418.285,62	0,42
ABREGO	2,9546	0,0137	13678,54	345.868,53	0,35

Según se observa en la tabla anterior Convención es el municipio con mayor oferta energética a partir del cultivo de caña panelera, aportando un 32,94%, seguido de Toledo (14,51%) y Teorama (10,98%). Vale la pena resaltar que en la industrial panelera los subproductos del trapiche (bagazo) son utilizados como combustible en las hormillas, siendo esta una práctica bastante común entre los productores. Sin embargo, la eficiencia del proceso no siempre es la más deseada, debido al contenido de humedad del material, lo que a su vez incrementa la producción de cenizas (García Rincón et al., 2015), disminuyendo considerablemente la producción de calor. Esto indica que el material debe ser sometido a un pretratamiento térmico que permita alcanzar mejores índices de combustión para incrementar su potencial energético.

Adicionalmente, se desconoce el manejo de los subproductos de cosecha, que constituyen un porcentaje importante en la generación de biomasa, a partir del cultico de caña panelera. Por lo anterior, se hace necesario conocer en la fuente las prácticas de disposición de biomasa residual para poder determinar las cantidades reales disponible para su conversión energética o para la obtención productos comerciales.

En la Figura 25 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año del cultivo de caña panelera en Norte de Santander.

**Figura 25.** Distribución de la oferta energética - cultivo de caña panelera - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 26 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para el cultivo de caña panelera en Norte de Santander.

En la Tabla 39 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, por municipio, para la biomasa residual del cultivo de Palma de aceite, en Norte de Santander.

**Tabla 39.** Oferta energética - cultivo de palma de aceite - Norte de Santander.

<b>Municipio</b>	<b>Potencial Energético (TJ/año)</b>	<b>Densidad Energética (TJ/ha)</b>	<b>Densidad Energética (MJ/ha)</b>	<b>Oferta Energética (KWh/año)</b>	<b>Oferta Energética (GWh/año)</b>
TIBÚ	585,87304	0,0262	26213,6	40.685.660,19	40,69
LA ESPERANZA	108,67078	0,0330	33000,5	7.546.588,04	7,55
SARDINATA	84,30607	0,0261	26141,4	5.854.592,81	5,85
CÚCUTA	17,29435	0,0309	30938,0	1.200.997,20	1,20
EL ZULIA	13,57147	0,0289	28875,5	942.464,11	0,94
SANTIAGO	0,30938	0,0097	9668,1	21.484,74	0,02

**Figura 26.** Densidad de potencial energético - cultivo de caña panelera - Norte de Santander.



Sardinata son los principales productores de palma de aceite y por consiguiente de biomasa residual, convirtiéndolos en fuentes prometedoras para la generación de energía no convencional.

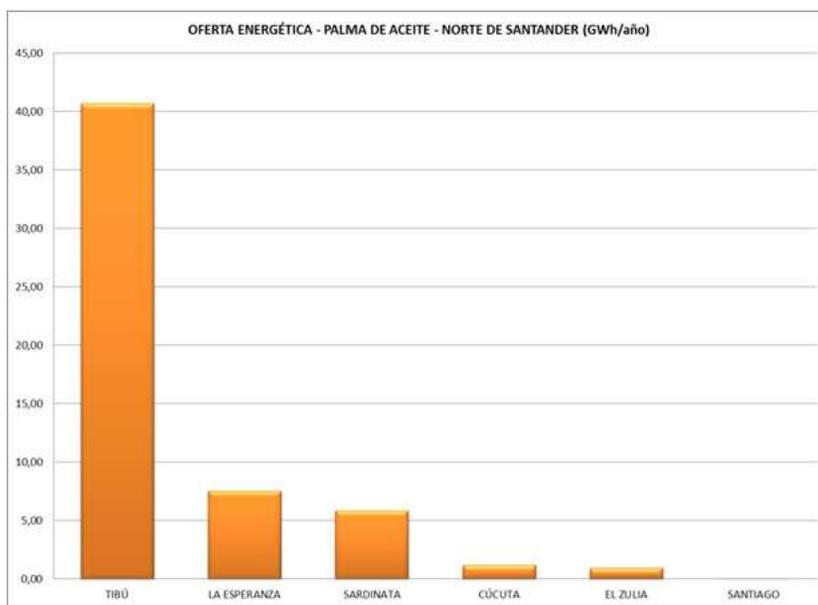
Es importante mencionar, que los subproductos del beneficio del fruto de palma en su mayoría son aprovechados directamente en los sistemas de siembra y servicios industriales de extracción. CENIPALMA, clasifica a Norte de Santander en la zona norte del territorio nacional. Según su estudio sobre el uso de los subproductos, en la zona norte el raquis o tusa se utiliza en un 80% para alimentar las calderas que proporcionan el vapor para la extracción del aceite, el 20% restante se composta.

Así mismo, en la zona el 80% de la fibra y el 66% del cuesco se utilizan como combustible de caldera, el 12% de la fibra se dispone en el campo y el 20% del cuesco se utiliza para la compactación de las vías de acceso en la plantación (García, Cárdenas & Yáñez, 2010). Si bien estas prácticas son reconocidas por el gremio, no todos los sistemas productivos tienen los mismos procesos y tecnologías. Por esta razón, es importante verificar en la fuente como disponen actualmente los subproductos del beneficio de la palma en Norte de Santander, para estimar la cantidad de biomasa neta disponible que puede ser utilizada como fuente de energía en zonas no interconectadas.

En la

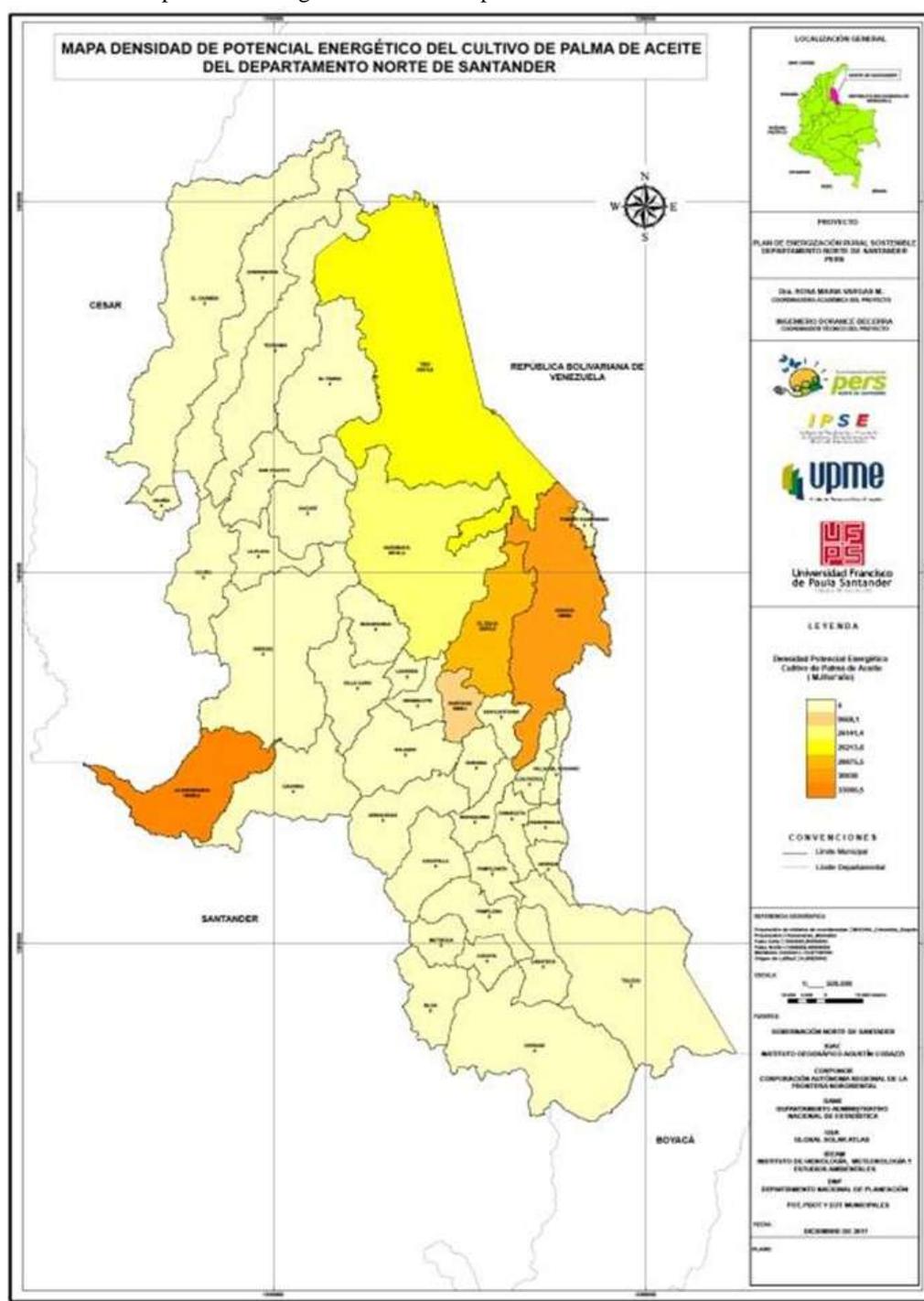
Figura 27 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año del cultivo de palma de aceite en Norte de Santander.

**Figura 27.** Distribución de la oferta energética - cultivo de palma de aceite - Norte de Santander.



En la Figura 28 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para el cultivo de palma de aceite en Norte de Santander.

Figura 28. Densidad de potencial energético - cultivo de palma de aceite - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Para un mayor detalle en la información presentada en este mapa se recomienda visitar [http://persnds.ufps.edu.co/pers\\_app/public/](http://persnds.ufps.edu.co/pers_app/public/)

En la Tabla 40 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, por municipio, para la biomasa residual del cultivo de Arroz, en Norte de Santander.

**Tabla 40.** Oferta energética - cultivo de arroz - Norte de Santander.

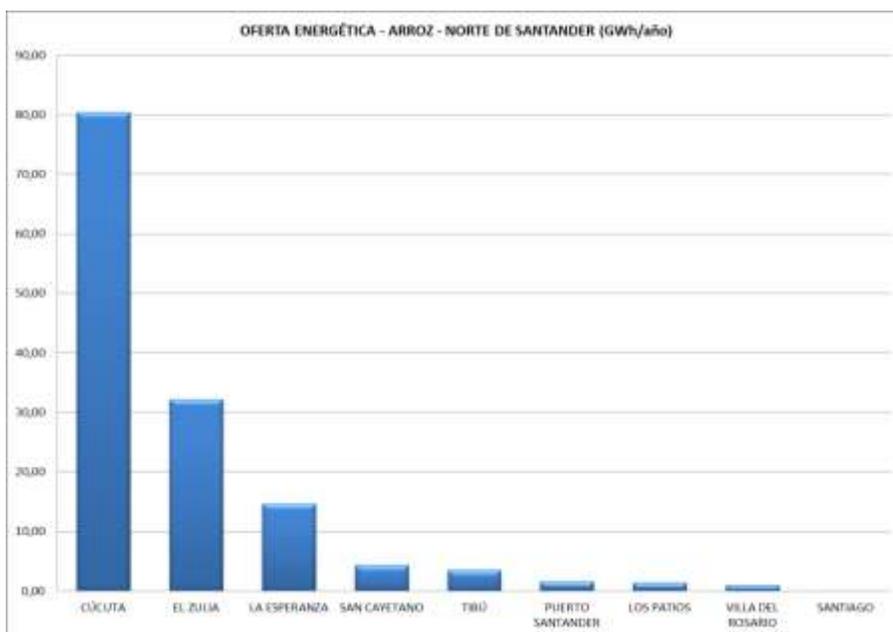
Municipio	Potencial Energético (TJ/año)	Densidad Energética (TJ/ha)	Densidad Energética (MJ/ha)	Oferta Energética (KWh/año)	Oferta Energética (GWh/año)
CÚCUTA	1157,72931	0,0642	64180,0	80.397.866,72	80,40
EL ZULIA	463,26460	0,0694	69378,8	32.171.151,57	32,17
LA ESPERANZA	211,37861	0,0815	81543,8	14.679.069,82	14,68
SAN CAYETANO	62,66179	0,0784	78407,6	4.351.513,26	4,35
TIBÚ	50,57088	0,0742	74150,8	3.511.866,49	3,51
PUERTO SANTANDER	22,77049	0,0566	56613,4	1.581.283,97	1,58
LOS PATIOS	20,64632	0,0757	75663,6	1.433.771,85	1,43
VILLA DEL ROSARIO	14,93114	0,0683	68322,2	1.036.884,59	1,04
SANTIAGO	1,55717	0,0742	74150,8	108.136,65	0,11

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior la oferta energética de la biomasa residual del cultivo de arroz es mayor en Cúcuta (57,73%), seguido por El Zulia (23,10%) y La Esperanza (10,54%). Por sus características fisicoquímicas y bajo contenido de humedad la cascarilla del arroz que se obtiene como subproducto del beneficio del grano, es considerada una fuente potencial de energía, ya que puede ser utilizada como combustible en sistemas directos de conversión, o en sistemas de gasificación y pirolisis, donde también es posible obtener gas de síntesis para cogeneración (Suárez & Beatón, 2001). Actualmente las arroceras comercializan la cascarilla para ser utilizada cama en galpones de aves de engorde y en viveros.

Teniendo en cuenta que la biomasa producida por el cultivo de arroz presenta un mayor potencial energético y por consiguiente el valor más alto de oferta energética, es de esperarse que las investigaciones en la región se orienten a generar conocimiento y desarrollo tecnológico en torno a su aprovechamiento como fuente alternativa de energía. Para ello se requiere tener información primaria de productividad y prácticas de manejo de subproductos en las plantaciones y en las instalaciones de beneficio del grano.

En la Figura 29 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año del cultivo de arroz en Norte de Santander.

**Figura 29.** Distribución de la oferta energética - cultivo de arroz - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 30 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para el cultivo de arroz en Norte de Santander.

En la Tabla 41 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, por municipio, para la biomasa residual del cultivo de Café, en Norte de Santander. De los 34 municipios productores en el departamento, se reportan los primeros 7 clasificados en orden descendente (ver Anexo 3).

**Tabla 41.** Oferta energética - cultivo de café - Norte de Santander.

<b>Municipio</b>	<b>Potencial Energético (TJ/año)</b>	<b>Densidad Energética (TJ/ha)</b>	<b>Densidad Energética (MJ/ha)</b>	<b>Oferta Energética (KWh/año)</b>	<b>Oferta Energética (GWh/año)</b>
CONVENCION	34,80	0,0203	20348,5	2.899.666,41	2,90
SALAZAR	28,45	0,0168	16816,5	2.371.123,74	2,37
ARBOLEDAS	28,26	0,0155	15467,1	2.354.860,89	2,35
SARDINATA	26,74	0,0175	17486,0	2.228.010,65	2,23
TOLEDO	25,51	0,0155	15543,4	2.125.554,68	2,13
CUCUTILLA	25,00	0,0174	17421,1	2.083.271,27	2,08

---

EL				2.029.603,	
CARMEN	24,36	0,0211	21105,1	86	2,03

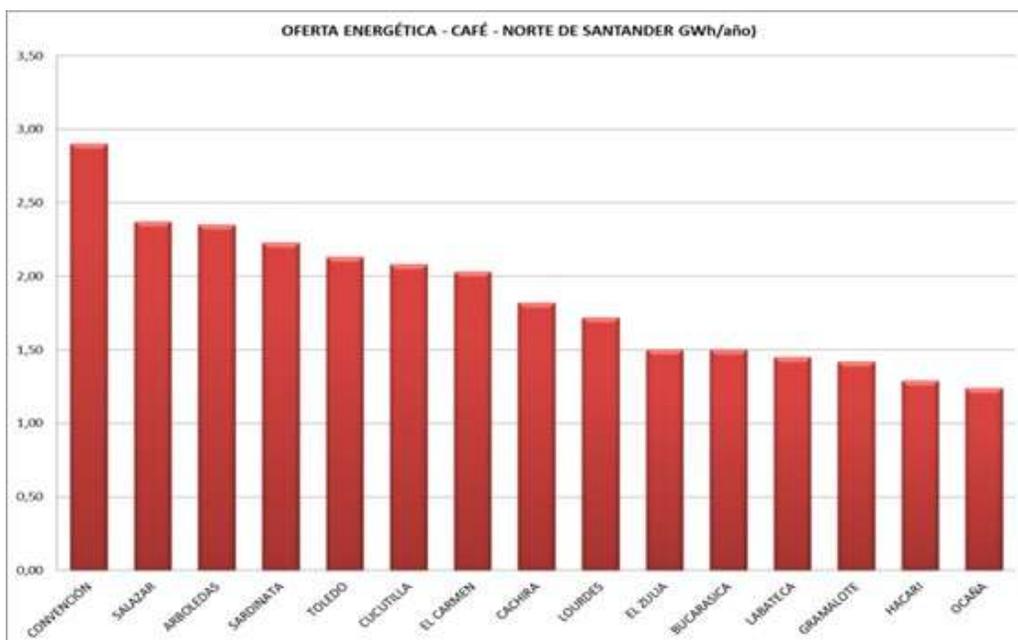
---



Según se observa en la tabla anterior los municipios con mayor participación en la oferta energética a partir de biomasa residual del cultivo de café son: Convención (8,35%), Salazar (6,82%) y Arboledas (6,76%). Sin embargo, los valores de conversión no varían significativamente entre los municipios reportados.

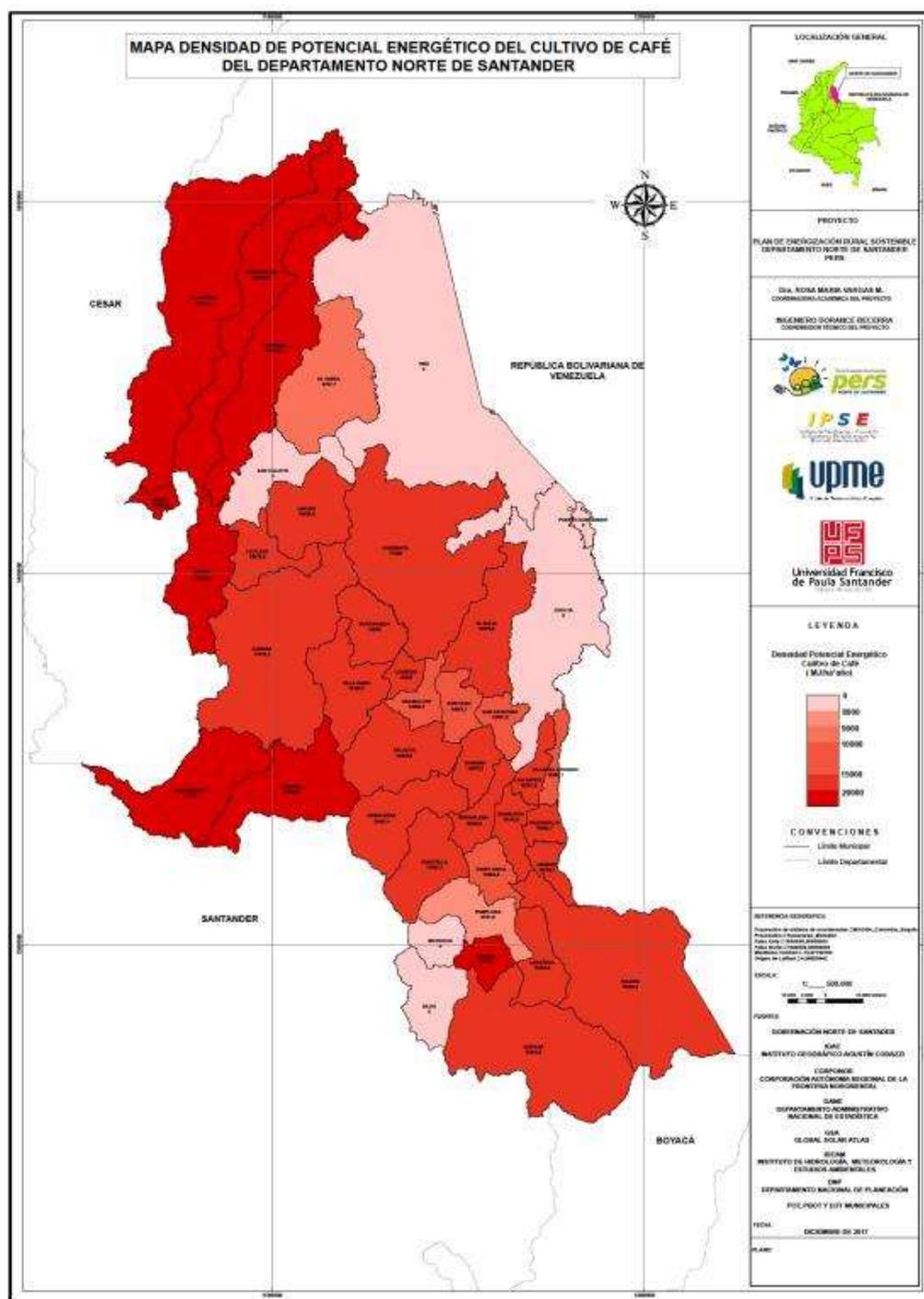
El cultivo de café en Norte de Santander ha tomado gran importancia en los últimos años. Los anterior, dada la tendencia del consumo hacia productos orgánicos y de origen. Las fincas y centros de producción han incursionado en el lanzamiento de marcas propias, bajo el sello artesanal que llaman la atención de consumidores locales, nacionales y extranjeros. Teniendo en cuenta este crecimiento, es importante conocer de la fuente cuáles son las prácticas de manejo de subproductos, las cantidades de producción de biomasa residual, la disponibilidad y las características fisicoquímicas. En la Figura 31 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año del cultivo de café en Norte de Santander.

**Figura 31.** Distribución de la oferta energética - cultivo de café - Norte de Santander.



En la Figura 32 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para el cultivo de café en Norte de Santander.

**Figura 32.** Densidad de potencial energético - cultivo de café - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Para un mayor detalle en la información presentada en este mapa se recomienda visitar [http://persnds.ufps.edu.co/pers\\_app/public/](http://persnds.ufps.edu.co/pers_app/public/)

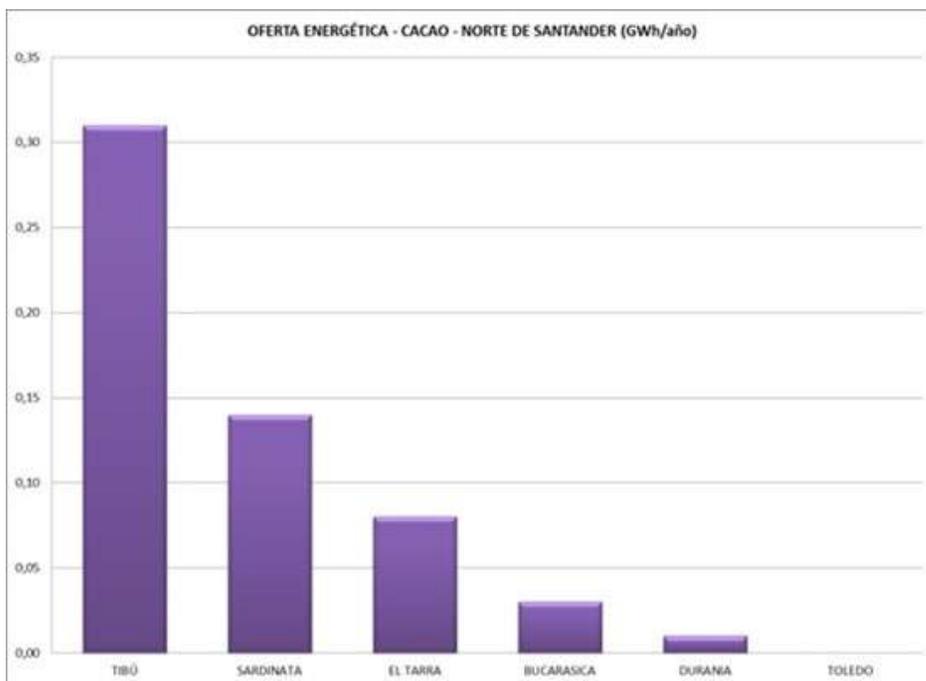
En la Tabla 42 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, por municipio, para la biomasa residual del cultivo de Cacao, en Norte de Santander.

**Tabla 42.** Oferta energética - cultivo de cacao - Norte de Santander.

<b>Municipio</b>	<b>Potencial Energético (TJ/año)</b>	<b>Densidad Energética (TJ/ha)</b>	<b>Densidad Energética (MJ/ha)</b>	<b>Oferta Energética (KWh/año)</b>	<b>Oferta Energética (GWh/año)</b>
TIBÚ	28,5601	0,0047	4709,0	309.896,39	0,31
SARDINATA	13,3568	0,0048	4760,9	144.930,55	0,14
EL TARRA	7,2323	0,0073	7349,9	78.475,86	0,08
BUCARASICA	3,1905	0,0071	7145,6	34.619,41	0,03
DURANIA	0,5036	0,0084	8393,0	5.464,17	0,01
TOLEDO	0,0360	0,0048	4796,0	390,30	0,00

En la Figura 33 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año del cultivo de café en Norte de Santander.

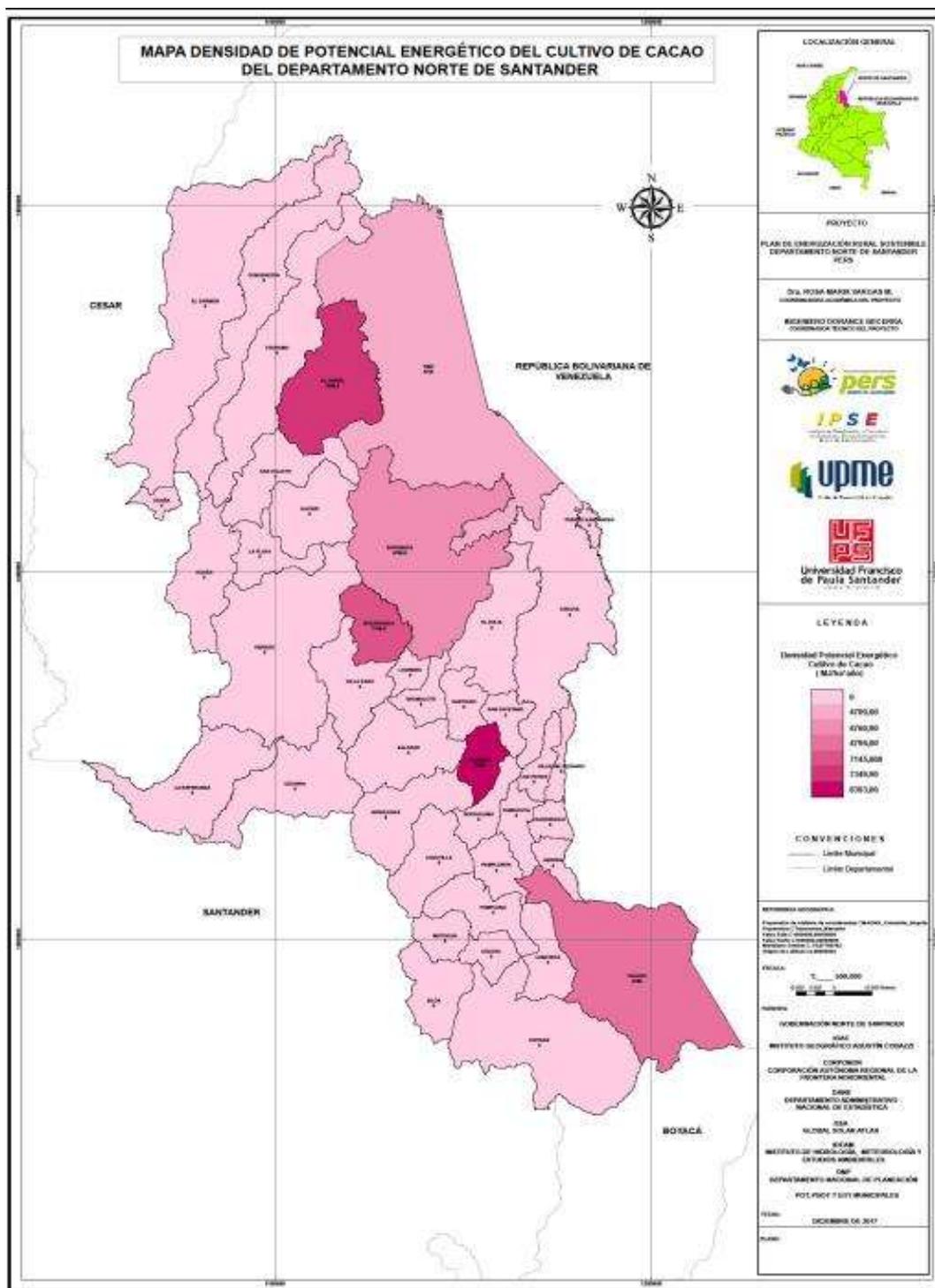
**Figura 33.** Distribución de la oferta energética - cultivo de cacao - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 34 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para el cultivo de cacao en Norte de Santander.

**Figura 34.** Densidad de potencial energético - cultivo de cacao - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

Para un mayor detalle en la información presentada en este mapa se recomienda visitar [http://persnds.ufps.edu.co/pers\\_app/public/](http://persnds.ufps.edu.co/pers_app/public/)

En la Tabla 43 se presentan los resultados de potencial energético en Terajulios (TJ)/año, densidad energética Terajulios/hectárea (TJ/ha) y oferta energética en Kilovatios hora (KWh)/año, para la biomasa residual de la producción Bovina, en Norte de Santander. De los 40 municipios productores en el departamento, se reportan los primeros 6 clasificados en orden descendente (ver Anexo 4).

**Tabla 43.** Oferta energética - Producción bovina - Norte de Santander.

Municipio	Potencial Energético (TJ/año)	Densidad Energética (TJ/ha)	Densidad Energética (MJ/ha)	Oferta Energética (KWh/año)	Oferta Energética (GWh/año)
CÚCUTA	31,2440	0,000417	416,6	2.603.662,76	2,60
ABREGO	31,2440	0,001216	1215,9	2.603.662,76	2,60
TIBÚ	23,7113	0,000424	423,7	1.975.938,62	1,98
SARDINAT	15,5182	0,000344	344,1	1.293.185,31	1,29
A SANTIAGO	15,5182	0,001399	1399,3	1.293.185,31	1,29
TOLEDO	15,4105	0,000324	324,4	1.284.204,85	1,28

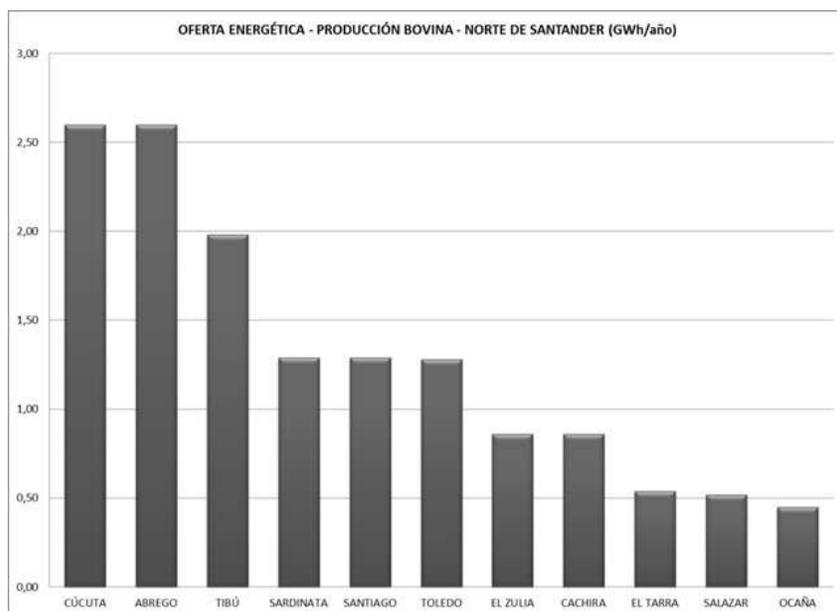
De los resultados expuestos en la tabla anterior se observa que la oferta energética de la biomasa residual del sector bovino se concentra en los municipios: Cúcuta (12,38%), Abrego (12,38%) y Arboledas (9,42%). Teniendo en cuenta la limitación de la información disponible sobre el inventario de la población y las técnicas de producción (extensiva, intensiva, silvopastoril), es necesario conocer de la fuente la cantidad de biomasa generada por cada ciclo productivo y las prácticas de manejo, recolección, acopio y aprovechamiento del estiércol. Se reconoce la utilización de sistemas anaerobios de transformación mediante digestores,

especialmente para el estiércol de cerdos. Sin embargo, en la producción de ganado bovino no se destaca el aprovechamiento de los residuos.

Los digestores pueden llegar a ser una muy buena alternativa de producción energética, debido a que los costos de instalación y mantenimiento son menores, comparados con su eficiencia. Se requiere una pequeña población de vacas o cerdos para mantener en funcionamiento una unidad capaz de abastecer una vivienda promedio. El biogás producido puede utilizarse para cocinar, calentar o para producir energía si se cuenta con la configuración de equipos que permitan su conversión.

En la Figura 35 se presenta la distribución de la oferta energética en Gigavatios hora (GWh)/año de la producción de ganado bovino en Norte de Santander.

**Figura 35.** Distribución de la oferta energética - producción bovina - Norte de Santander.



Fuente: El Autor PERS Norte de Santander

En la Figura 36 se muestra el mapa de densidad de potencial energético para la producción bovina en Norte de Santander.

## **4.4 Energía Hídrica**

### **4.4.1. Marco teórico**

El agua es un recurso natural básico e insustituible, se diferencia de los otros recursos naturales por su propiedad de renovación a causa del ciclo hidrológico.

En este caso como energía renovable se denomina como “energía hidráulica” a la producida por caídas de agua donde a través de turbinas se convierte en energía eléctrica y a lo que se llamarían CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

La generación de esa energía eléctrica en zonas rurales y aisladas es una de las mayores demandas en Colombia, motivo por el cual se hace necesario implementar mecanismos alternos de conseguir fuentes de energía, en este caso a través de fuentes hídricas y al mismo tiempo minimizar impactos ambientales negativos que producen otras fuentes renovables o no renovables de energía, obteniendo ventajas adicionales como la disminución en los costos de operación y mantenimiento del proyecto.



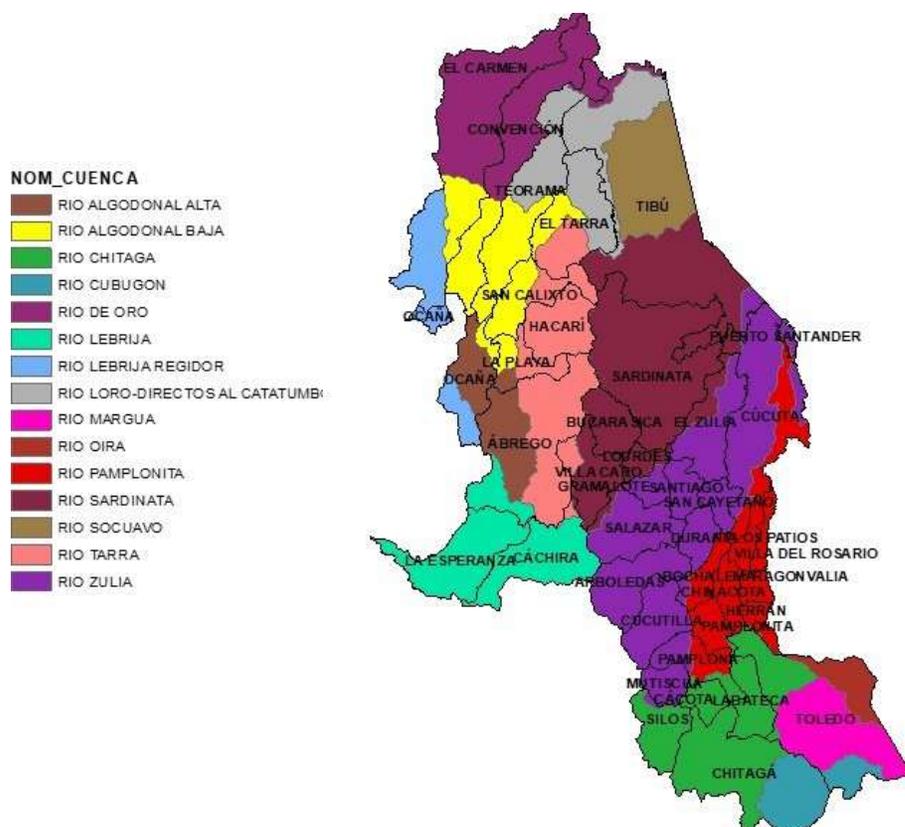
Para un mayor detalle en la información presentada en este mapa se recomienda visitar [http://persnds.ufps.edu.co/pers\\_app/public/](http://persnds.ufps.edu.co/pers_app/public/)

Con base en las características fisiográficas de Norte de Santander, se presenta gran potencial para el uso de esta fuente renovable, aumentando así la probabilidad de que su uso sea viable para producir energía. Con base en las diferentes características del recurso se toman decisiones de alternativas de proyectos que proporcionen no solo capacidad de producir energía sino sostenibilidad del servicio a los usuarios.

### **Cuencas, Recurso Hídrico e Información Hidrometeorológica en Norte de Santander**

Se define una cuenca como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve y que fluyen todos a un mismo punto. En la Figura 37 se observan las cuencas del departamento.

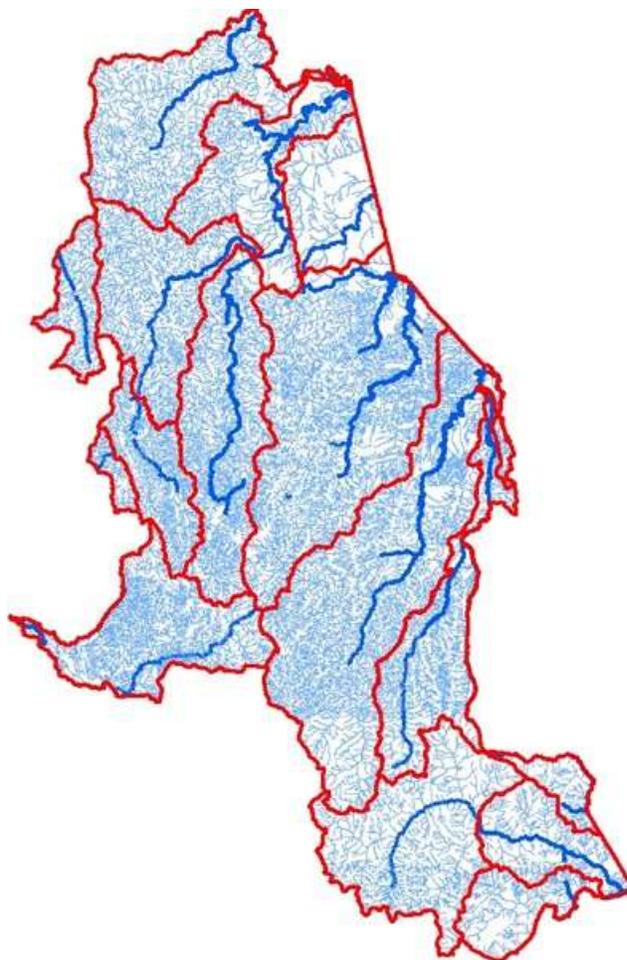
**Figura 37.** Cuencas Norte de Santander



Fuente: CORPONOR 2016.

El Ciclo Hidrológico es un sistema con un proceso continuo que permite que el agua circule entre la atmósfera y la superficie terrestre a través de fenómenos físicos como la evaporación, condensación, precipitación y transpiración. En la Figura 38, la divisoria de cuencas y el recurso hídrico en el departamento.

**Figura 38.** Divisoria de cuencas y recurso hídrico en el departamento.



Fuente: CORPONOR - IDEAM

### **Estaciones disponibles del IDEAM**

El IDEAM presenta las estaciones hidrometeorológicas a través de categorías. En el departamento hay registradas 220 estaciones. A continuación, se mencionan cuantas estaciones existen para cada una de las categorías:

AM: Agrometeorológica (3 estaciones)

CO: Climatológica Ordinaria (21 estaciones)

CP: Climatológica Principal (12 estaciones)

HA: Hidrometeorológica Automática (5 estaciones)

LG: Limnigráfica (25 estaciones)

LM: Limnimétrica (46 estaciones)

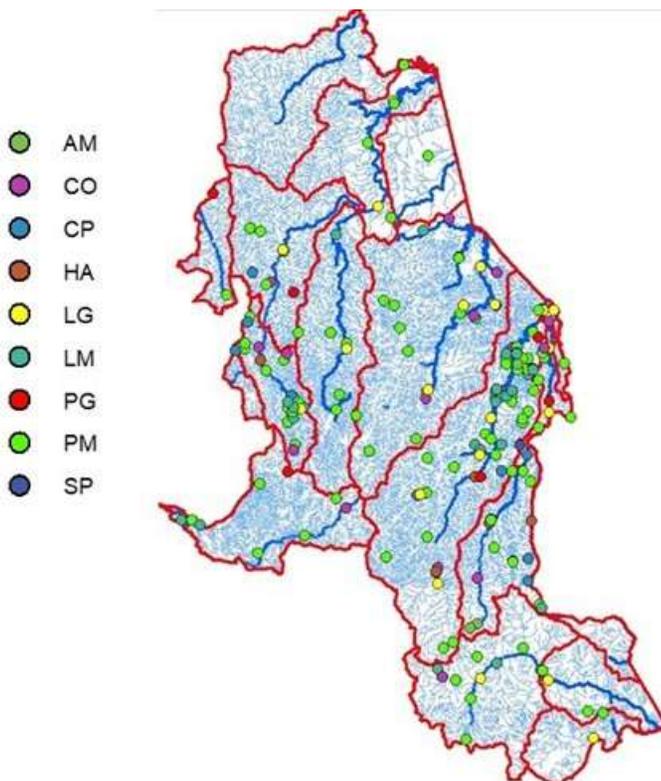
PG: Pluviográfica (8 estaciones)

PM: Pluviométrica (99 estaciones)

SP: Sinóptica Principal (1 estaciones)

En la Figura 39, la divisoria de cuencas, el recurso hídrico y estaciones hidrometeorológicas en el departamento.

**Figura 39.** Divisoria de cuencas, recurso hídrico y estaciones hidrometeorológicas del IDEAM en el departamento.

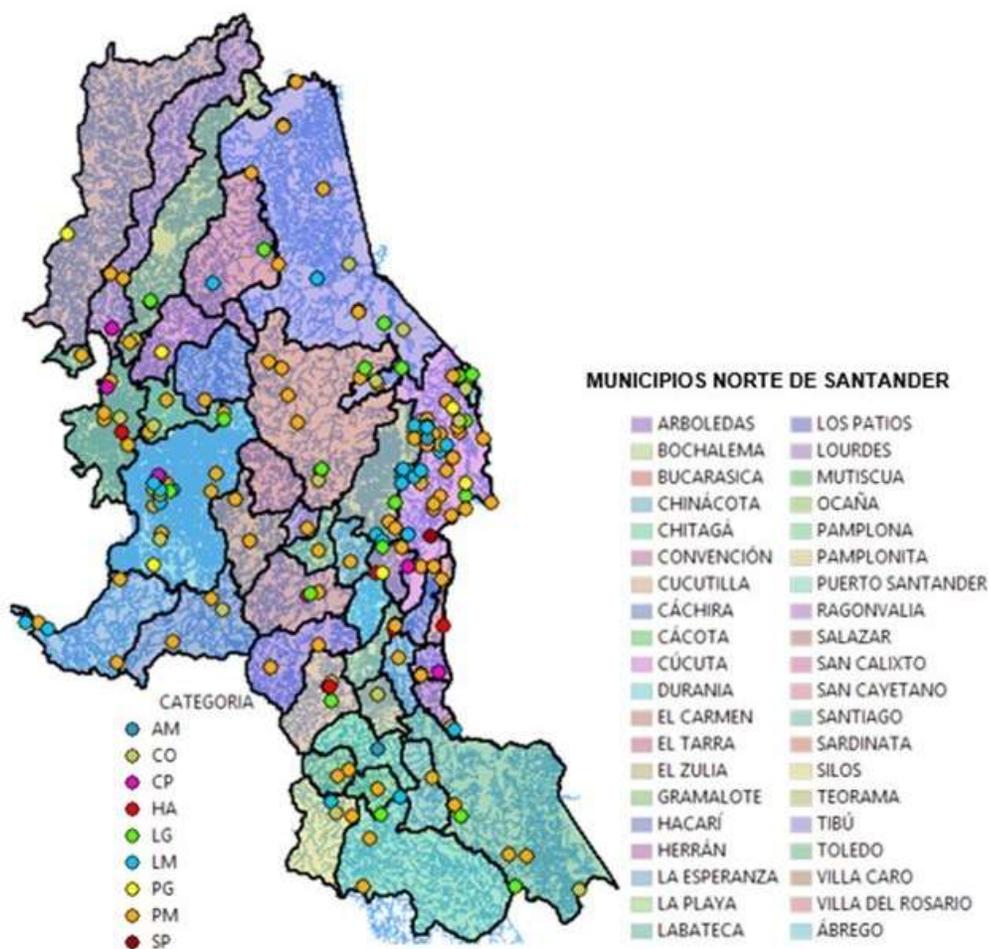


Fuente: CORPONOR - IDEAM

En Norte de Santander, cada una de estas estaciones arroja parámetros hidrometeorológicos diferentes dando resultados diversos (Por ejemplo, lluvias, temperaturas, tiempos atmosféricos, nubosidad, radiación solar, brillo solar, evaporación, humedad, viento, presión atmosférica, etc.), existiendo estaciones que dan varios parámetros para una sola de ellas.

Para el presente documento que pertenece al análisis del componente hídrico, se requieren las estaciones donde se obtengan resultados de precipitación y caudal. De forma general cabe mencionar que las categorías del IDEAM a utilizar son las observadas a continuación en la Figura 40, y que son requeridas para el estudio. Mucha de estas estaciones presenta datos incompletos e incoherentes (estaciones suspendidas, malas lecturas e incompletas, entre otros), posteriormente estas son filtradas para seleccionar las estaciones con datos más robustos y que son utilizadas en el proyecto.

**Figura 40.** Estaciones Hidrometeorológicas requeridas en el componente Hídrico sin filtrar y divisoria municipal del departamento.

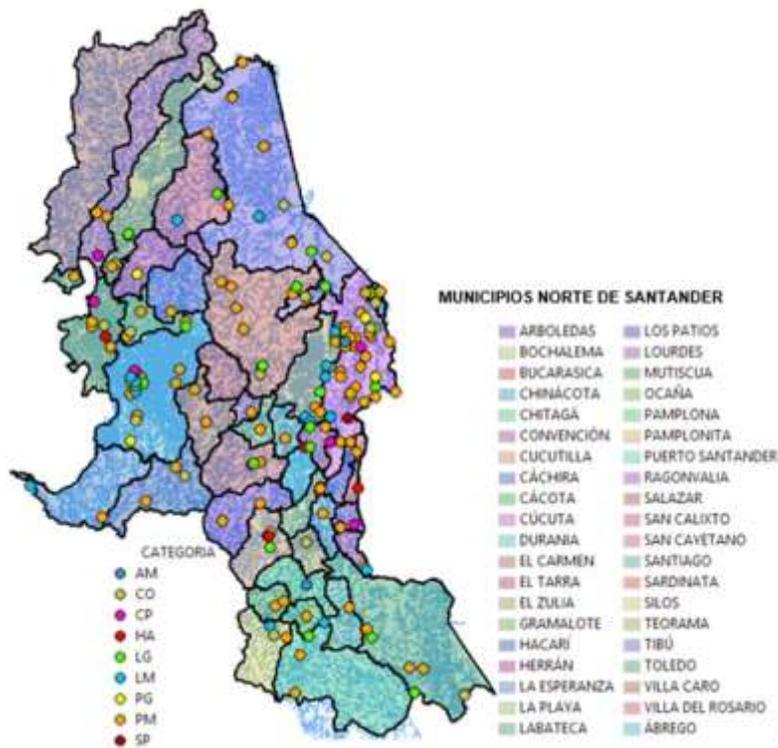


Fuente: CORPONOR – IDEAM – Autor

Realizando un reconocimiento de las mismas, donde inicialmente se registran 216 estaciones con datos de precipitaciones y caudales en todo el departamento de las 220 en total que existen. De las 216 estaciones filtradas, algunas de ellas están suspendidas o presentan años faltantes o datos inconsistentes. Se realiza el segundo filtro donde se plantean 180. Estas se observan en la **Figura 41**.

Posteriormente se descartan estaciones con series de datos cortas cuando se realice el análisis de datos de las mismas.

**Figura 41.** Estaciones Hidrometeorológicas requeridas en el componente Hídrico segundo filtro y divisoria municipal del departamento.



Fuente: CORPONOR – IDEAM – Autor

### Análisis de datos de estaciones hidrometeorológicas

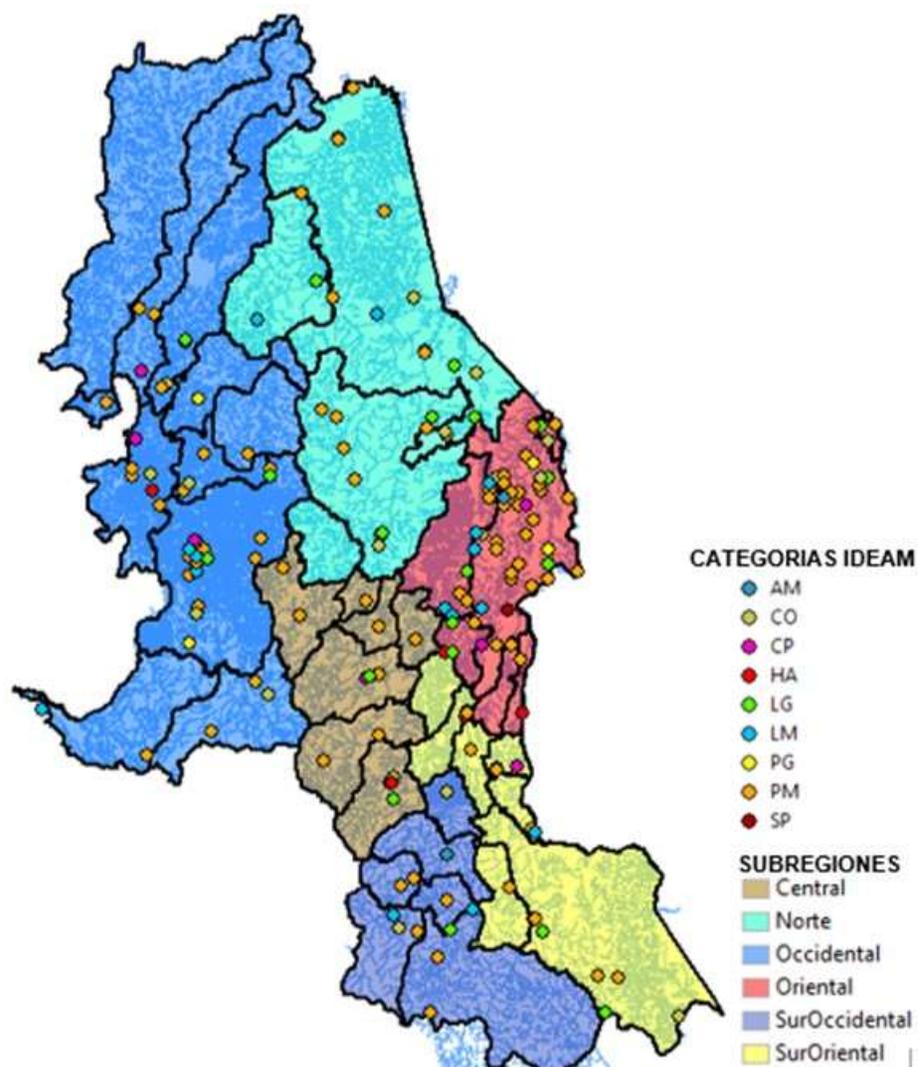
El departamento de Norte de Santander presenta 6 subregiones como se observan en la Figura 42. Con base en ellas y a las necesidades del proyecto se continua con el análisis de las series de datos de las estaciones hidrometeorológicas involucradas para el componente hídrico.

**Figura 42.** Subregiones y divisoria municipal del departamento Norte de Santander.



Figura 43.

**Figura 43.** Subregiones, divisoria municipal del departamento Norte de Santander y estaciones hidrometeorológicas del IDEAM.



Fuente: CORPONOR – PERS – Autor

A continuación, las estaciones de precipitación en el departamento representadas en gráficas, se seleccionaron 20 estaciones representativas de las subregiones.

En la Tabla 44 se observan las estaciones representativas de precipitación seleccionadas. En la Figura 44 aparece la ubicación espacial de las estaciones, y en la

Figura 45 y

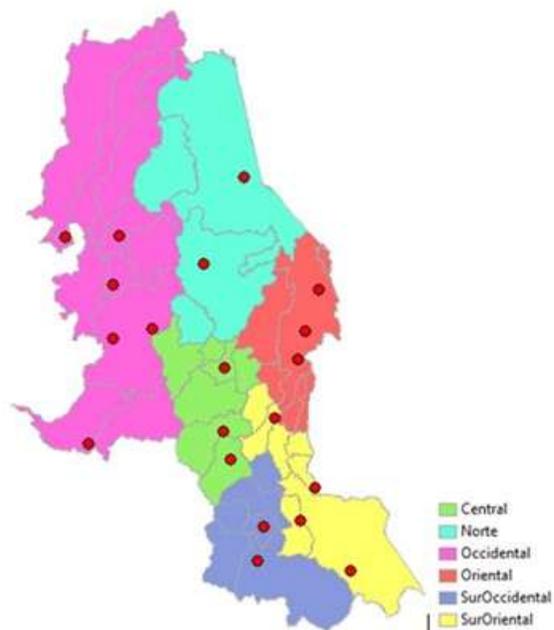
Figura 46 aparecen dos ejemplos característicos de las mismas.

**Tabla 44.** Estaciones representativas de Precipitación IDEAM en el departamento

Estación	Cod	Lat_D	Lat_M	Lon_D	Lon_M	Parámetro	Unid
DONJUANA LA 2	16010020	7	41	72	36	Precipitación	mms
LA JARA	16010060	8	12	72	25	Precipitación	mms
APTO CAMILO DAZA	16015010	7	55	72	30	Precipitación	mms
PARQUE NAL TAMA	16015090	7	25	72	26	Precipitación	mms
GRAMALOTE	16020010	7	53	72	47	Precipitación	mms
ARBOLEDAS	16020050	7	38	72	47	Precipitación	mms
CUCUTILLA	16020080	7	32	72	46	Precipitación	mms
AGUABLANCA	16020320	8	2	72	29	Precipitación	mms
LAS MERCEDES	16030050	8	17	72	53	Precipitación	mms
TIBU	16035010	8	38	72	43	Precipitación	mms
EL CHORRO	16050100	8	2	73	4	Precipitación	mms
EL CAMPANARIO	16050130	8	0	73	14	Precipitación	mms
BROTARE	16050170	8	24	73	25	Precipitación	mms
LA MARAVILA	16050290	8	24	73	12	Precipitación	mms
LA PLAYA	16055060	8	13	73	14	Precipitación	mms
EL CABO	23190510	7	35	73	19	Precipitación	mms
LABATECA	37010010	7	17	72	30	Precipitación	mms
CHITAGA	37010020	7	8	72	39	Precipitación	mms
CACOTA	37010030	7	16	72	38	Precipitación	mms
CAMPO HERMOSO	37020030	7	5	72	18	Precipitación	mms

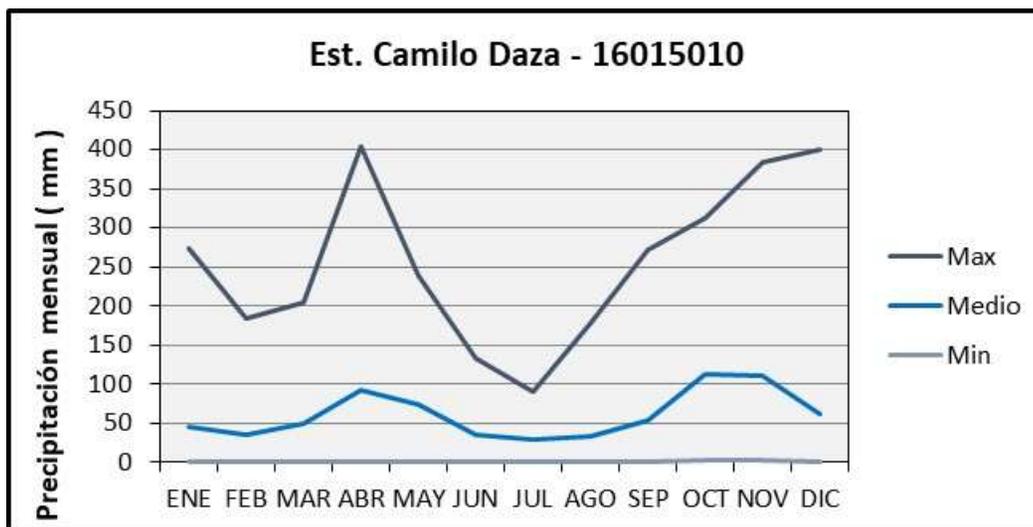
Fuente: IDEAM

**Figura 44.** Estaciones representativas Precipitación IDEAM en el departamento



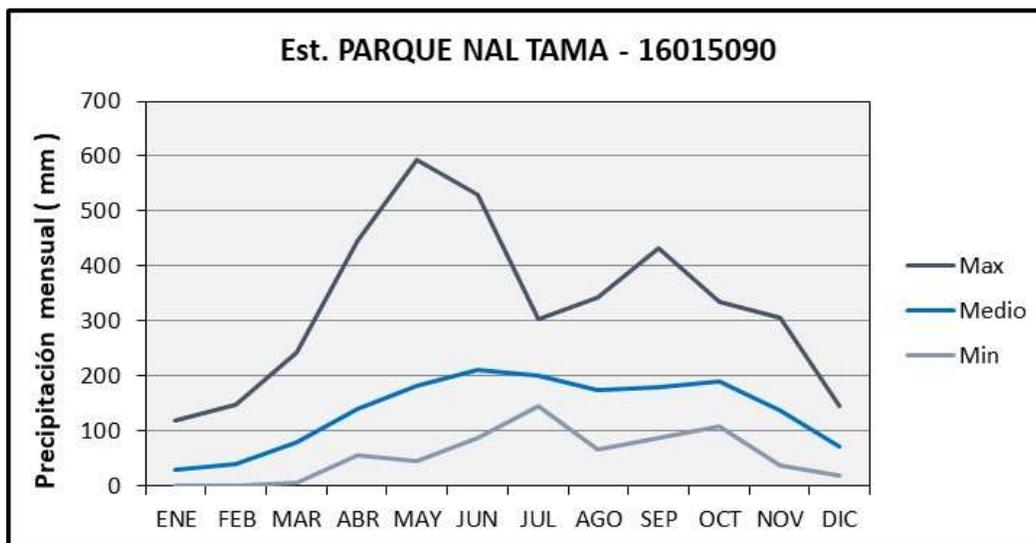
Fuente: IDEAM - Autor

**Figura 45.** Ciclos de Precipitación Estación Camilo Daza



Fuente: Autor

**Figura 46.** Ciclos de Precipitación Estación Parque Nacional Tama



Fuente: Autor

De las estaciones de caudal en el departamento representadas en gráficas, se seleccionaron 14 estaciones representativas de las subregiones. En ellas se observan los ciclos anuales de caudal para cada una de ellas. En la Tabla 45 se observan las estaciones representativas que se van a graficar. La Figura 48 y la

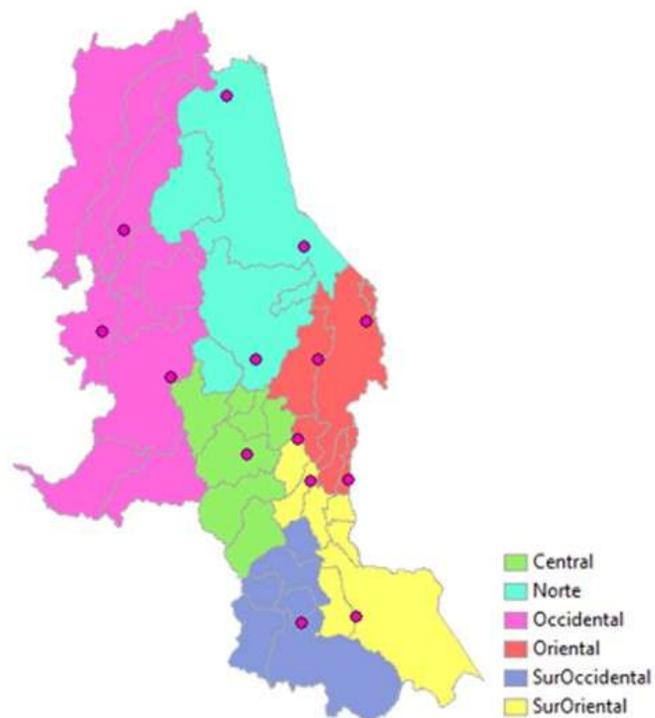
Figura 49 muestran ejemplos típicos de la variabilidad mensual de los caudales:

**Tabla 45.** Estaciones representativas de Precipitación IDEAM en el departamento

Estación	Cod	Lat_D	Lat_M	Lon_D	Lon_M	Parámetro	Unid
AGUAS CLARAS	16017010	8	14	72	25	Caudal	m3/s
LA DONJUANA AUTOMA	16017020	7	41	72	36	Caudal	m3/s
LA UCHEMA AUTOMATI	16017030	7	41	72	28	Caudal	m3/s
LOS POMARROSOS	16027010	7	46	72	49	Caudal	m3/s
SAN JAVIER-PTE ZUL	16027120	7	50	72	39	Caudal	m3/s
ASTILLEROS	16027280	8	6	72	34	Caudal	m3/s
CAMPO DOS	16037020	8	29	72	37	Caudal	m3/s
PTE SARDINATA	16037030	8	6	72	47	Caudal	m3/s
PTE ABREGO	16047010	8	2	73	4	Caudal	m3/s
LA CABAÑA AUTOMATI	16057030	8	11	73	19	Caudal	m3/s
QUINCE LETRAS	16057040	8	32	73	14	Caudal	m3/s
PTO BARCO - GABARRA	16067010	9	0	72	54	Caudal	m3/s
PTE LOPEZ	37017040	7	12	72	38	Caudal	m3/s
VENAGA	37017050	7	13	72	26	Caudal	m3/s

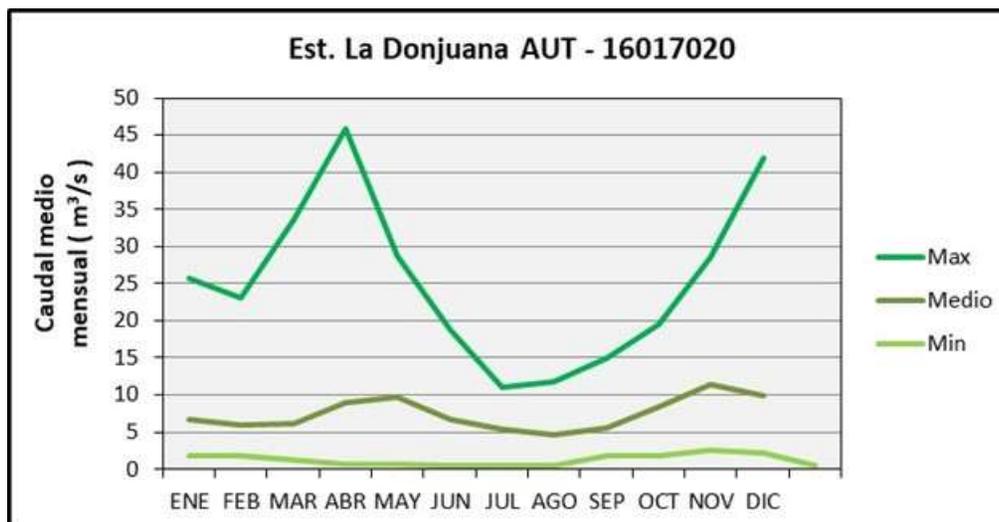
Fuente: IDEAM

**Figura 47.** Estaciones representativas Caudal IDEAM en el departamento



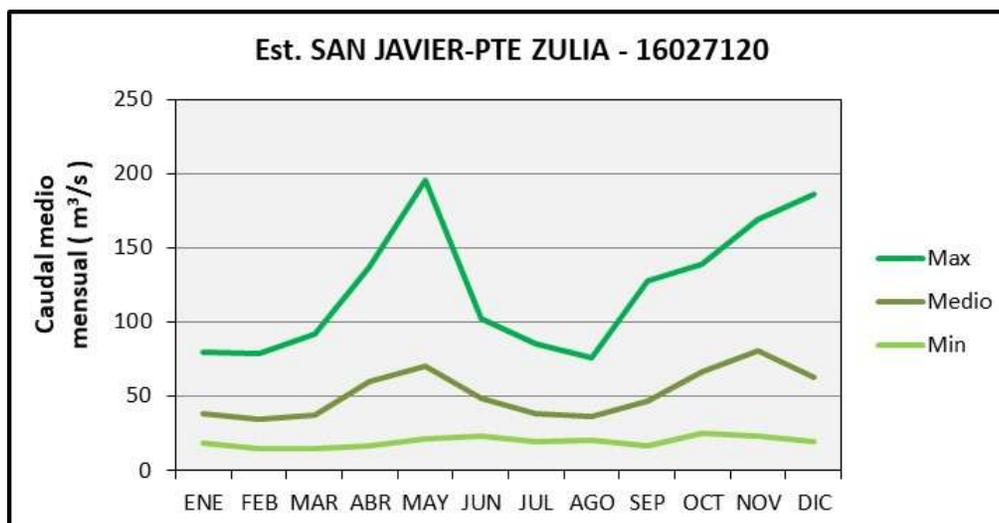
Fuente: IDEAM-Autor

**Figura 48.** Ciclos de Caudales Estación La Donjuana Aut



Fuente: Autor

**Figura 49.** Ciclos de Caudales Estación San Javier-Pte Zulia



Fuente: Autor

### Soluciones de energización a partir de proyectos existentes

En este paso se considera la revisión y búsqueda de información sobre la existencia de proyectos de generación hidroeléctrica en el departamento Norte de Santander, mediante consultas con la Corporación Autónoma Regional De La Frontera Nororiental – CORPONOR, así como con las alcaldías que conforman el departamento Norte de Santander.

Igualmente, se propone consultar las bases de datos sobre la existencia de pequeños distritos de riego, para verificar la posibilidad de adaptar las obras hidráulicas instaladas para la potencial generación de energía.

Para encontrar proyectos existentes que puedan servir como base para proyectar soluciones de energización, es necesario solicitar información a través de CORPONOR, que es la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental. A través de un oficio a CORPONOR enviado a la subdirección de Desarrollo Sectorial, solicitando la siguiente información:

- Reporte de micros, minis o pequeñas centrales hidroeléctricas en el Departamento.
- Existencia de proyectos en la actualidad micros, minis o pequeñas centrales hidroeléctricas que hayan realizado solicitud de licencias ambientales a la corporación.
- Información de todas las concesiones de distritos de riego de agua existentes en el departamento.

### **Aprovechamiento de sistemas de riego existentes como hidroeléctricas**

La utilización de distritos de riego existentes como parte de un sistema paralelo de energización creando minis o micros centrales hidroeléctricas en zonas no interconectas, es otra de las alternativas de energización.

CORPONOR adjunto como parte de la solicitud realizada por el grupo PERS, las concesiones de agua de sistemas de riego en el departamento y se muestran a continuación en la Tabla 46.

La información de los sistemas de riego en Norte de Santander, con el objeto de poder reutilizar algunos sistemas de los existentes para producir energía como fuente renovable a través del agua y de la que se expondrá más adelante. En la Figura 50, se observa un mapa donde se señalan en color los distritos de riego que tiene registrado CORPONOR. Posterior a esto, como se menciona en otro aparte se requieren conocer los sitios de demanda del servicio de energía y la disponibilidad del recurso.

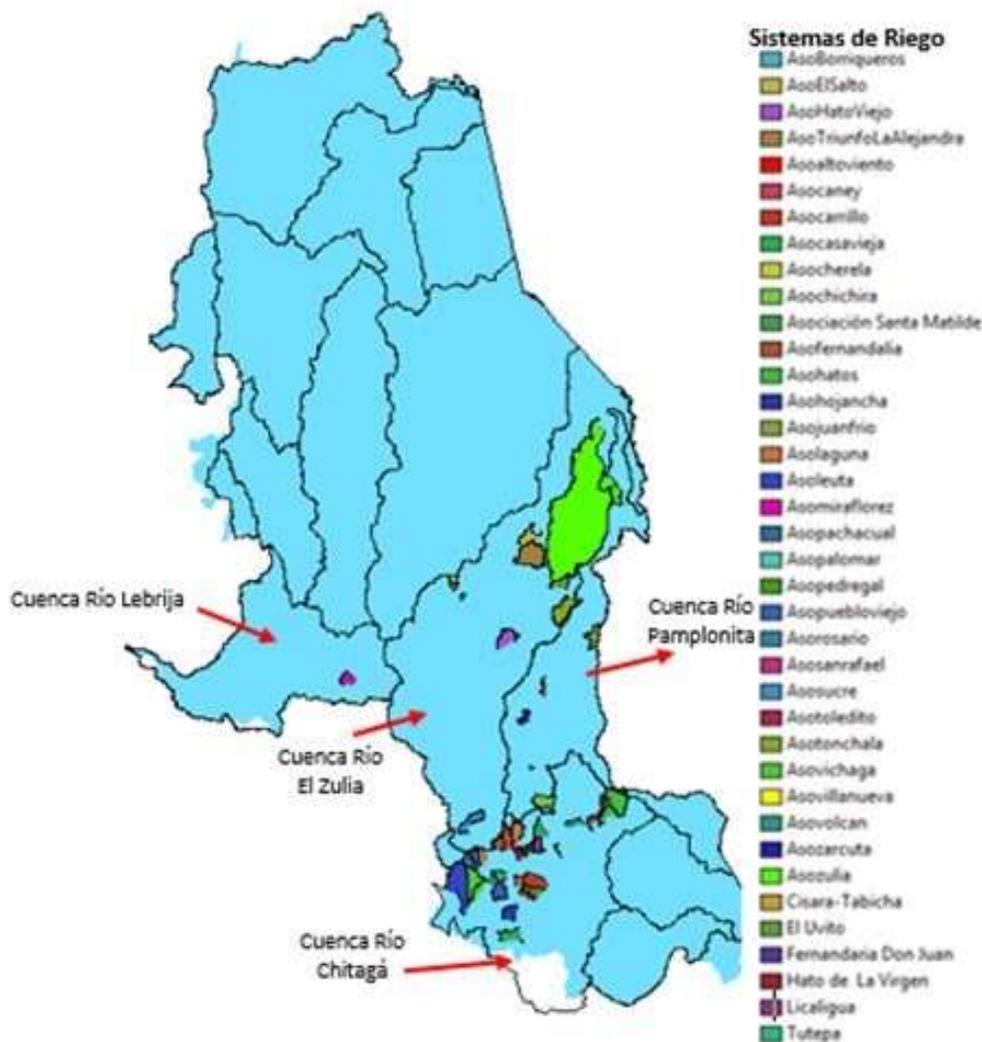
Tabla 46. Concesiones de agua a sistemas de riego en el departamento.

ESTADO DE LAS CONCESIONES DE AGUA PARA MINIDISTRITOS DE REGO								
Nombre de Minidistrito	NIT	Resolución	Caudal Con Ips	Estado de concesión	Fuente	Nombre de la Fuente	Cuenca	
Asozarcuta	900275315-1	Rsl. 0390 25/05/2013	14	Vigente	Quebrada	Laurel	Rio Pamplonita	
Asomiraflores	900262017-3	Rsl. 0022 26/03/2009	47	Vigente	Quebrada	Corozal	Rio Lebrija	
Asocacota	900270336	Rsl. 0067 16/07/2009	62	Vigente	Rio	Cacota	Rio Chitaga	
Asotemandaria		Rsl. 0201 19/07/2013	20	Vigente	Chorro	Pozo Bravo	Rio Chitaga	
Asociación de usuarios vereda santa Matilde	507007769-4	Rsl. 0221 07/12/2012	1	Vigente	Chorro	La Rinconada	Rio Chitaga	
Asotabicha				En Tramite				
Asocaney	900240557-4	Rsl. 0506 16/09/2013	25	Vigente	Quebrada	Iscala	Rio Pamplonita	
Asoallovejo		Rsl. 0166 25/06/2013	16	Vigente	Quebrada	Siaga	Rio Chitaga	
Asocamillo		Rsl. 0266 10/10/2013	12	Vigente	Chorro	Acora	Rio Chitaga	
Asocasaveja		Rsl. 0267 10/10/2013	25	Vigente	Quebrada	El Salado	Rio Chitaga	
Asolaguna	900626951-0	Rsl. 0263 02/10/2013	25	Vigente	Rio	Chitaga	Rio Chitaga	
Asopedregal	900254116	Rsl. 0055 05/04/2010	3	Vigente	Quebrada	Siaga	Rio Chitaga	
Asohatoliano		Rsl. 0161 24/05/2010	15	Vigente	Chorro	Hato Viejo	Rio Chitaga	
Asohojancho		Rsl. 0569 02/11/2004	5.75	Reglamentada	Quebrada	La Palmila	Rio Chitaga	
Asotunchala		Rsl. 0229 30/03/2009		Vigente	Naciente	Miraflores	Rio Zulia	
Asohatovejo		Rsl. 0573 13/06/2013	22	Vigente	Quebrada	La Legia	Rio Zulia	
Asocamilandia	900260496-9	Rsl. 0411 03/06/2013	30	Vigente	Quebrada	La Culebra	Rio Zulia	
Asoborinqueiros	507009354-0	Rsl. 0439 16/05/2011	265	Vigente	Rio	Zulia	Rio Zulia	
Asoisalito	900230066-4	Rsl. 0671 16/09/200	30	Vigente	Quebrada	La Culebra	Rio Zulia	
Asozulia	500166556-6	Rsl. 0713 23/09/2013	14000	Vigente	Rio	Zulia	Rio Zulia	
Asotrunfo- La Alejandra	900142250-9	Rsl. 0215 14/06/2007	210	Vencida	Rio	Peralonso	Rio Zulia	
Asosanidro	900201060	Rsl. 0316 22/04/2009	91	Vigente	Quebrada	Agua Blanca	Rio Zulia	
Asovilanueva	900361765-1	Rsl. 0575 15/06/2013	30	Vigente	Quebrada	calderera	Rio Zulia	
Asorosario	900223351-2	Rsl. 0533 12/05/2006	23	Vigente	Quebrada	El Paramo	Rio Zulia	
Asovoican	900239675-	Rsl. 0160 16/11/2011	6	Vigente	Chorro	La Balsa	Rio Chitaga	
Asocherela		Rsl. 0176 05/06/2013	5	Vigente	Quebrada	Cherela	Rio Chitaga	
Asosucré		Rsl. 0113 05/09/2011	25	Vigente	Chorro	Las Adjuntas	Rio Zulia	
Asochorron	900136013-1	Rsl. 0026 07/05/2007	20	Vencida	Quebrada	El Chorreron	Rio Zulia	
			2.75	Reglamentada	Naciente	Saradito		
Asochichira		Rsl. 0453 25/06/2006	2.75	Reglamentada	Naciente	El Silencio	Rio Pamplonita	
			22		Quebrada	Ulaga	Rio Pamplonita	
Asosanrafael	900244755-4	Rsl. 0053 15/02/2010	4	Reglamentada	Quebrada	El Pajar	Rio Pamplonita	
Asovendites	900303457-6	Rsl. 0669 21/09/2009	20	Vigente	Quebrada	Santamali	Rio Pamplonita	
Asosanjosé	900139644-6	Rsl. 0626 10/11/2006	15	vencida	Quebrada	Agualinda	Rio Zulia	
Asosagrado corazon de Jesus				En Tramite				
Asobanqueada	900274714-0	Rsl. 0412 03/06/2009	35	Vigente	Quebrada	San Juana	Rio Sardinata	
Asoleula		Rsl. 0264 03/10/2013	36	Vigente	Rio	Mataperros	Rio Chitaga	
Asopachacual				En Tramite				
Asovchaga	90272911-6	Rsl. 0149 30/06/2010	19	Vigente	Chorro	Vichaga	Rio Chitaga	
Asolaguna		Rsl. 0006 10/02/2009	30	Vigente	Quebrada	La Piata	Rio Chitaga	
Asoelpalomar				En Tramite				
Tufepa		Rsl. 0256 10/09/2013	16	Vigente	Quebrada	Miracrielo	Rio Chitaga	
Asohatos	900227239-3	Rsl. 0264 13/09/2013	60	Vigente	Quebrada	La Samania	Rio Chitaga	
Asopueblovejo	900275755-7	Rsl. 0050 26/05/2009	20	Vigente	Quebrada	Cerrajones	Rio Chitaga	
Asotoledito				En Tramite				
Asudra								
Asojuantío	900142597-9	Rsl. 0475 21/06/2013	25	Vigente	Rio	Tachira	Rio Pamplonita	

Fuente: CORPONOR, 2017

Cabe mencionar que el oficio que responde la Corporación respecto a los distritos de riego no presenta ubicación con coordenadas de cada uno de ellos, igualmente para las centrales hidroeléctricas. Se ubicaron con base en el nombre de la fuente o en su defecto de la cuenca a la que pertenece.

**Figura 50.** Distritos de riego del departamento Norte de Santander

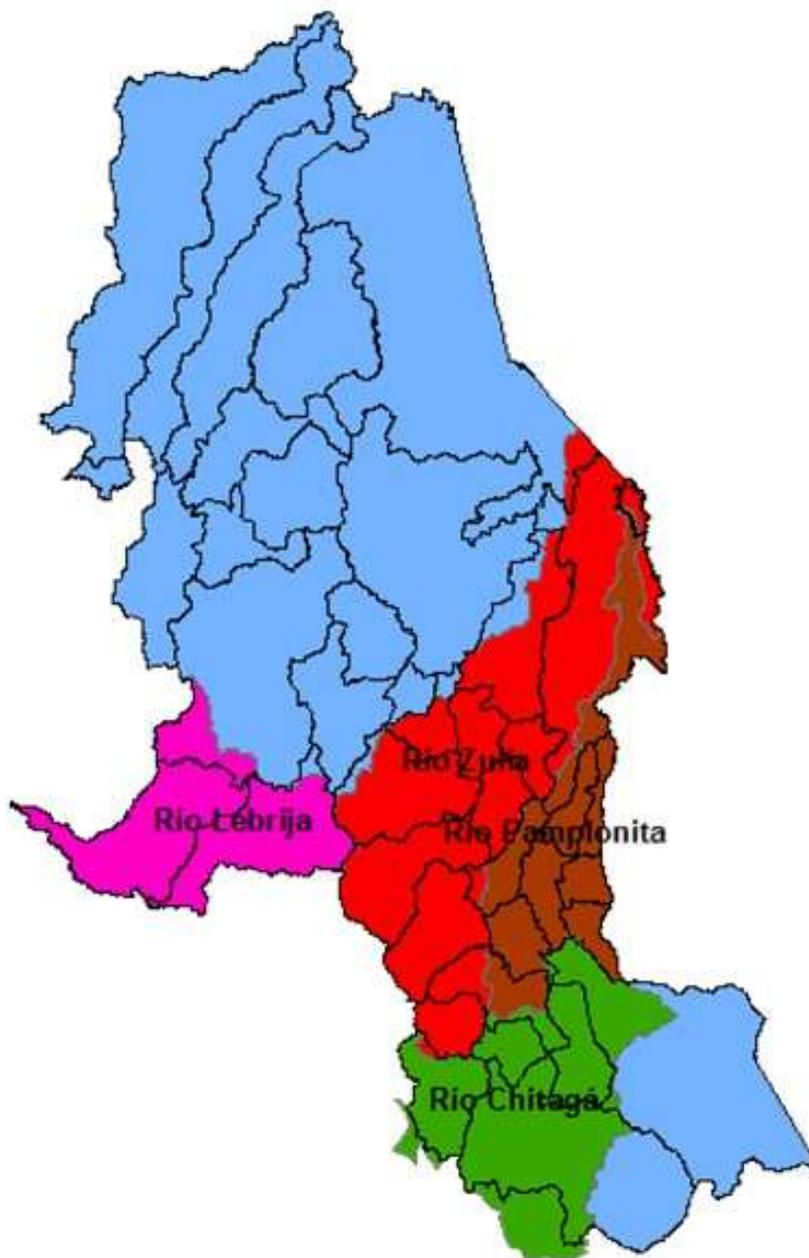


Fuente: Autor.

En la

Figura 51, se observa en diferentes colores, las cuencas sobre las que se ubican las concesiones de agua a sistemas de riego existentes en el departamento.

**Figura 51.** Límite de cuencas y límite municipal del departamento, resaltando la cuenca del río Chitagá, El Zulia, Lebrija, Pamplonita y Sardinata.



Fuente: CORPONOR, 2014.

### **Recuperación y optimización de pequeñas centrales hidroeléctricas**

Con base en la respuesta al oficio enviado a CORPONOR para saber que referencias tiene la corporación de pequeñas centrales hidroeléctricas en el departamento y que se encuentren con licencias ambientales aprobadas, se tiene a continuación la contestación.

En la jurisdicción de la Corporación no existen proyectos de centrales hidroeléctricas de algún tipo (ni grandes ni pequeñas), pero si existen solicitudes de licencia ambiental realizadas, las cuales aún no han sido aprobadas y son las siguientes:

**Tabla 47.** PCH en proceso de obtener licencias ambientales.

<b>Empresa</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Río</b>	<b>Municipio</b>
Recursos de Energía	Cucutilla 9	Río Zulia	Río Cucutilla	Cucutilla
Recursos de Energía	Cucutilla 9A	Río Zulia	Río Cucutilla	Cucutilla
Recursos de Energía	Caraba 23	Río Chitagá	Río Cáraba	Chitagá
Recursos de Energía	Chitagá 4	Río Chitagá	Río Chitagá	Labateca
Ckpital	Chitagá 2	Río Chitagá	Río Chitagá	Labateca
Ckpital	Chitagá 1	Río Chitagá	Río Chitagá	Labateca

Fuente: CORPONOR, 2017.

Las PCHs que están solicitando la licencia ambiental a la corporación, se caracterizan por tener un sistema de filo de agua, lo que significa que el aprovechamiento de las aguas se realiza sin construcción de represas, ni embalsamientos, ni inundaciones de terrenos. Teniendo como ventajas este tipo de proyectos, principalmente que presenta impactos ambientales muy reducidos.

En la A través del oficio número 2000.32.03, enviado de CORPONOR al grupo PERS, con referencia “Respuesta Derecho de Petición”, donde informan que en la jurisdicción de la

Corporación no existen proyectos de centrales hidroeléctricas aprobadas y que existen seis proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas en proceso de aprobación de licencia ambiental (estas se mencionaron en un ítem anterior del presente informe).

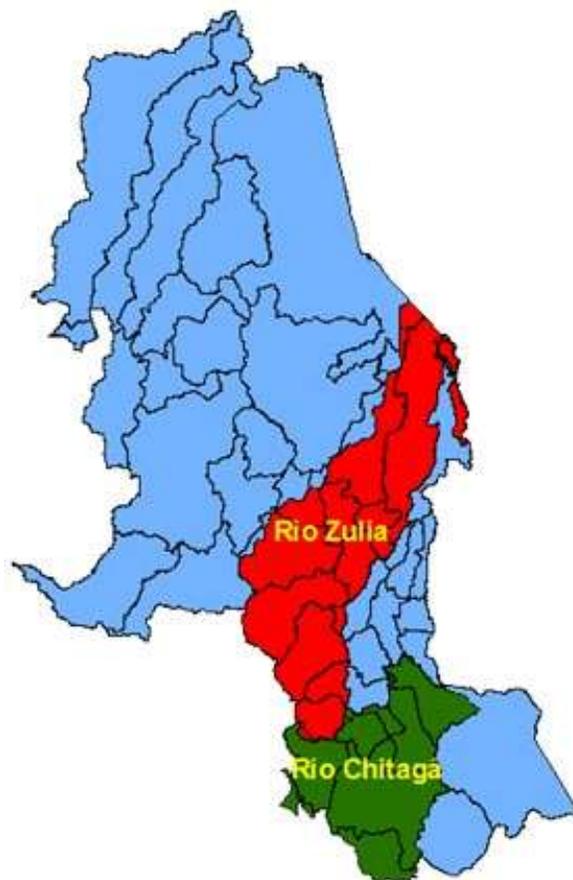
Con base en esta información, la alternativa planteada como “utilización de hidroeléctricas existentes en zonas rurales no interconectadas” no aplica para el departamento, debido a la no existencia de estas en la región.

**Figura 52**, se observa en color verde y rojo, las cuencas sobre las que se ubican las PCHs que se encuentran en proceso de licencias ambientales.

A través del oficio número 2000.32.03, enviado de CORPONOR al grupo PERS, con referencia “Respuesta Derecho de Petición”, donde informan que en la jurisdicción de la Corporación no existen proyectos de centrales hidroeléctricas aprobadas y que existen seis proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas en proceso de aprobación de licencia ambiental (estas se mencionaron en un ítem anterior del presente informe).

Con base en esta información, la alternativa planteada como “utilización de hidroeléctricas existentes en zonas rurales no interconectadas” no aplica para el departamento, debido a la no existencia de estas en la región.

**Figura 52.** Límite de cuencas y límite municipal del departamento, resaltando la cuenca del río Chitagá y El Zulia.



Fuente: CORPONOR, 2014.

#### 4.4.2. Metodología

La oferta hídrica potencial para la generación de energía depende de múltiples factores como el adecuado suministro de cantidad de agua superficial y una velocidad que permita tener el impulso necesario para transformar energía mecánica en energía eléctrica, en una cantidad que sea aprovechable para un proyecto de suministro de energía.

La cantidad de agua está determinada por el volumen de agua que fluye a través de una sección en la unidad de tiempo, es decir el caudal, que se expresa típicamente en unidades de

metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), litros por segundo (l/s), o pies cúbicos por segundo ( $ft^3/s$ ), entre otras.

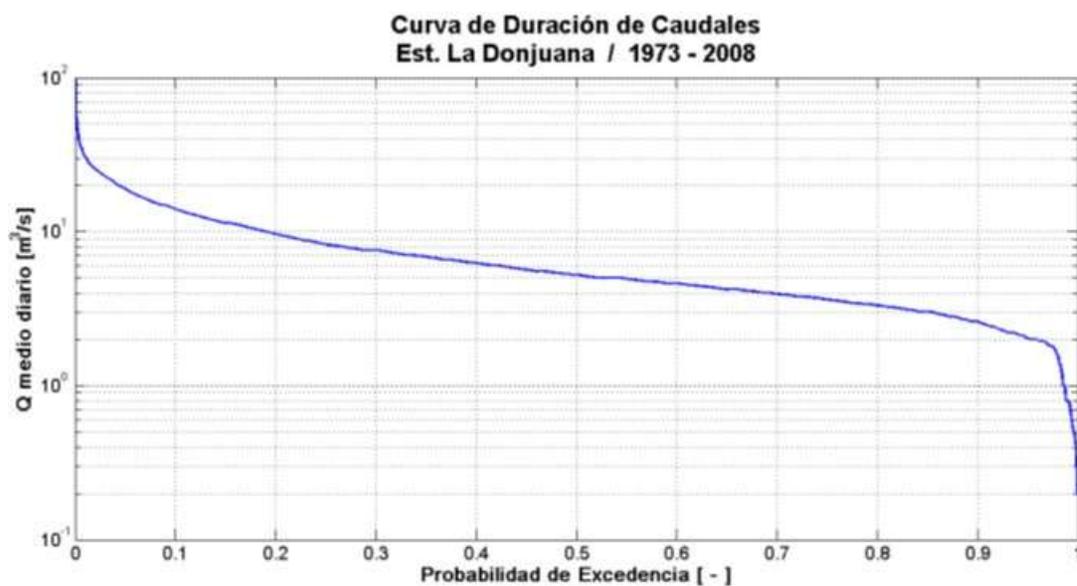
Ahora, el caudal en un cauce es una cantidad no-permanente, es decir, varía en el tiempo, por lo cual se hace necesario considerar que el valor del caudal de diseño permanezca en el cauce la mayor parte del tiempo, esta última consideración se realiza técnicamente al construir la Curva de Duración de Caudales (CDC) donde se relaciona típicamente el Caudal medio diario con la probabilidad de excedencia del mismo, definida como la probabilidad de tener un caudal igual o superior al caudal de referencia considerado.

Por ejemplo, la

Figura 53 muestra un ejemplo típico de una curva de duración de caudales, donde en el eje vertical corresponde al caudal medio diario, usualmente en escala logarítmica, y en el eje horizontal la probabilidad de excedencia, donde los caudales más altos tienen una baja probabilidad de excedencia (probabilidad de que ocurra un caudal igual o superior) y en contraste los caudales más bajos tienen una alta probabilidad de excedencia. Es con estos caudales bajos que se determina el Caudal Firme usualmente asociado con una probabilidad de excedencia del 95%.

A su vez es el caudal firme el que define varios criterios técnicos para la generación de energía, así como el establecimiento de la Energía Firme que es la energía que puede garantizarse con una alta confiabilidad, normalmente superior al 95%.

**Figura 53.** Ejemplo Curva de Duración de Caudales (CDC).



Fuente: Autor

El segundo parámetro considerado, como anteriormente se mencionó es la velocidad con la que fluye la masa de agua. La velocidad de flujo en condiciones de flujo libre es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la pendiente de la línea de energía, como se ilustra en la ampliamente utilizada formulación de Manning para flujo uniforme en canales:

$$V = \frac{1}{n} A R \sqrt{S} \quad (8)$$

donde,

V es la velocidad media de flujo en m/s

n es el coeficiente de resistencia al flujo de Manning

A es el área mojada de la sección transversal

R es el radio hidráulico de la sección transversal, y

S es el gradiente de la línea de energía, en forma adimensional.

Entonces resulta favorable en proyectos de generación de hidroeléctrica, su ubicación en terrenos montañosos o de alta pendiente en donde se puedan construir condiciones de flujo a presión, a lo largo de una importante caída topográfica, que permita añadirle velocidad al flujo de agua vía transformación de energía potencial en energía cinética.

En resumen, el potencial de generación hidroeléctrico de un entorno geográfico determinado está controlado por la condición de Momentum o Cantidad de Movimiento,  $p$ , que se evalúa como el producto de la masa,  $m$ , por la velocidad de la misma,  $V$ ,

$$p = m * V \quad (9)$$

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la masa se relaciona con el caudal en la corriente, y la velocidad que puede generarse, a un costo relativamente bajo, se relaciona con la pendiente del terreno circundante.

Es importante, en todo proyecto de ingeniería, considerar la variable de costos, pues en algunos casos se puede aumentar el caudal firme, así como la caída de agua mediante la construcción de un embalse de grandes proporciones, pero si bien la ingeniería puede dar respuesta técnica a este tipo de proyectos, es claro que su relación costo – beneficio se torna un factor decisivo dependiendo de las condiciones socioeconómicas de la región en donde se ha de desarrollar el proyecto.

En función de la conceptualización general discutida en el anterior numeral, y en el marco del Proyecto de Energización Rural Sostenible para el departamento Norte de Santander, PERS-NDS, se plantean los siguientes numerales como marco metodológico.

### **Caracterización hidroclimatológica**

En este paso se considera la revisión de la data hidroclimatológica de estaciones operadas por el IDEAM, que constituyen los registros oficiales para Colombia. En especial se consideran las estaciones con registros de Temperatura, Precipitación y Caudal.

Para su análisis el territorio de Norte de Santander se considerará mediante un modelo Raster, con una resolución espacial de 90m, el cual resulta adecuadamente detallado dada la extensión del territorio.

Para el procesamiento de los datos de temperatura se generan las curvas de comportamiento medio mensual multianual y promedio anual. Con el valor de estas últimas se pueden convertir datos puntuales en valores espacialmente distribuidos sobre el departamento. La temperatura media y la elevación sobre el nivel del mar están inversamente relacionadas de forma lineal, luego antes de interpolar con fines de espacialización es necesario considerar dicha relación. Luego de remover la tendencia, se realiza una interpolación geoestadística con la metodología del Ponderación Inversa de la Distancia, y se usa la misma tendencia para finalmente calcular la

temperatura media a nivel de terreno. Gráficamente este resultado se presenta mediante un mapa de Isothermas, interpolando la información ráster de temperatura.

El procesamiento de los datos de precipitación es muy similar, al discutido en el punto anterior, pero dado que en la región bajo estudio no se evidencia una correlación Elevación – Precipitación, no hay tendencia a remover. Los datos de precipitación media se interpolan siguiendo la metodología del Ponderación Inversa de la Distancia para obtener la precipitación en cada celda del modelo raster. Gráficamente este resultado se presenta mediante un mapa de Isoyetas, interpolando la información ráster de precipitación.

Se analizan los datos de las estaciones de caudal, en tanto sus valores medios mensuales. Esta información será utilizada especialmente en el caso de formular un proyecto hidroenergético específico, pues ayuda a establecer el rendimiento hídrico de la cuenca bajo consideración y posibilita una extrapolación de la Curva de Duración de Caudales para un sitio específico, asociado con un proyecto de generación específico. Del análisis general de los datos se generan figuras de Curva de Régimen las cuales gráficamente presentan información de valores medios y variabilidad de los caudales observados a escala mensual.

#### **4.4.3. Resultados y análisis de resultados**

De acuerdo con los anteriores numerales se presentan las figuras asociadas con la espacialización de los diferentes índices, así como el resultado final del I.P.H. para Norte de Santander. La

Figura 54 presenta el mapa de precipitación media anual para el departamento Norte de Santander, con valores entre 700 y 5500 mm por año. A partir de allí se construyó el Índice de Precipitación que aparece en la Figura 55 donde la Clase 1 corresponde a las zonas de menor precipitación y la Clase 10 a las zonas de mayor precipitación.

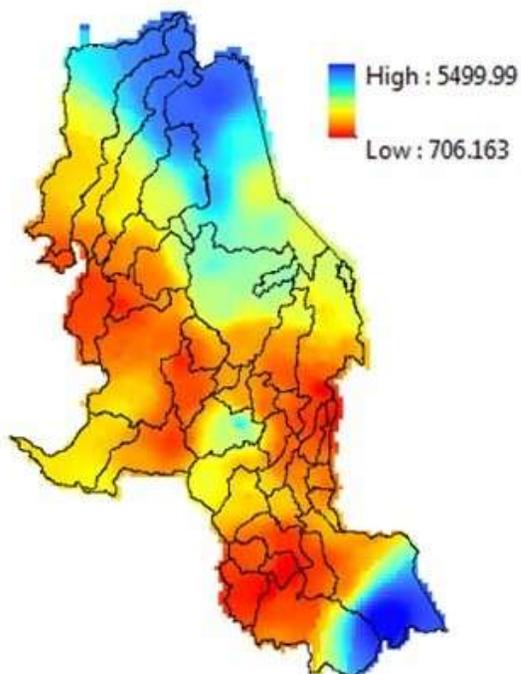
En la

Figura 56 aparece el Índice de Área de Drenaje, establecido en 10 clases, donde la Clase 1, en color amarillo claro, corresponde a las zonas con menor área de drenaje y la Clase 10, en color azul oscuro, corresponde a las zonas con mayor área de drenaje. En la

Figura 57 aparece el Índice de Pendiente, I.S., establecido en 10 clases, donde la Clase 1, en color rojo, corresponde a las zonas con menor pendiente y la Clase 10, en color verde, corresponde a las zonas con mayor pendiente. En la

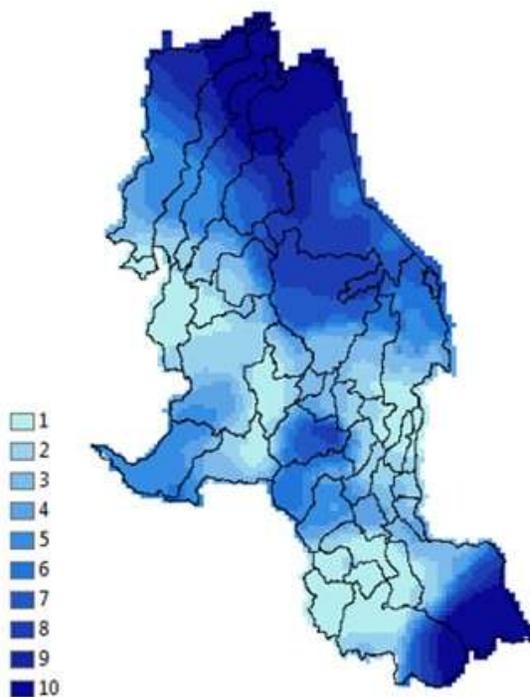
Figura 58 aparece el Índice de Potencial Hídrico, I.P.H., establecido en 10 clases, donde la Clase 1, en color rojo, corresponde a las zonas con menor potencial y la Clase 10, en color azul, corresponde a las zonas con mayor potencial.

**Figura 54.** Precipitación media anual para Norte de Santander



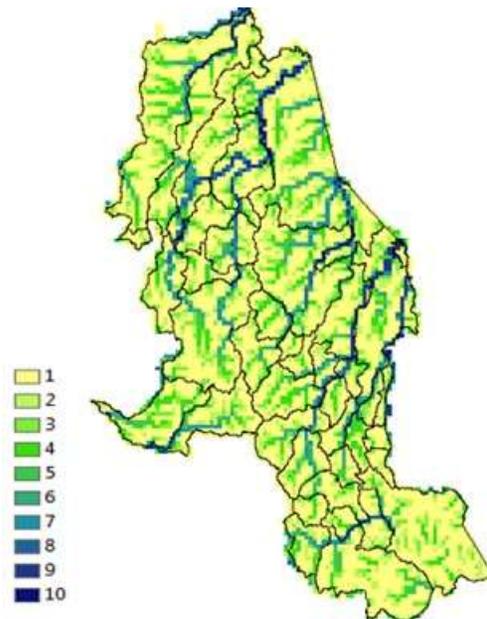
Fuente: Autor

**Figura 55.** Índice de Precipitación, I.P. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.P.



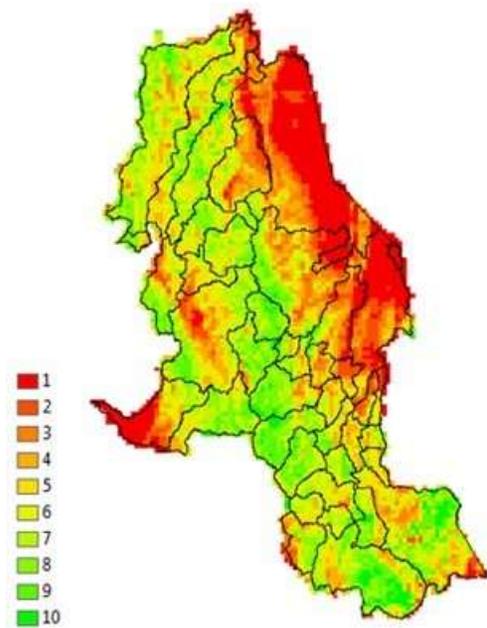
Fuente: Autor

**Figura 56.** Índice de área de drenaje, I.Acum. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.Acum



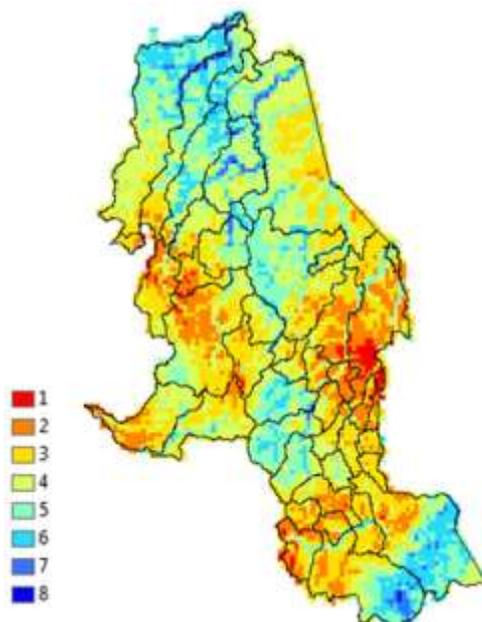
Fuente: Autor

**Figura 57.** Índice de Pendiente, I.S. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.S.



Fuente: Autor

**Figura 58.** Índice de Potencial Hídrico, IPH. Clases ordenadas de menor (C1) a mayor (C10) I.P.H.



Fuente: Autor

Aun cuando teóricamente es posible tener zonas con I.P.H. de valor 10, para el Norte de Santander se obtuvo un valor máximo de 8, como se observa en la Figura 58.

## 4.5 Energía Eólica

### 4.5.1. Marco teórico

El viento es un recurso natural básico e insustituible y se define como el aire en movimiento es decir puede ser considerado indirectamente como un tipo de energía solar. En este caso como energía renovable se denomina “energía Eólica” y es la producida por corrientes de aire o viento y se presenta en forma de energía cinética y posteriormente se convierte en energía eléctrica

formando CENTRALES EÓLICAS. Este tipo de energía puede transformarse en electricidad por medio de aerogeneradores (turbinas eólicas), empleando principalmente los conocidos molinos de viento. La potencia producida por el viento a través de las turbinas es proporcional a la densidad del aire. Por esta razón, las regiones que se podrían considerar en el proyecto son aquellas con alta velocidad del viento

Con base en las características fisiográficas de Norte de Santander se podría presentar un gran potencial para el uso de esta fuente renovable pero la poca información de estaciones meteorológicas en el departamento en relación con los parámetros involucrados para este análisis de energía eólica disminuye la probabilidad de que su uso sea viable para producir energía. Con base en las diferentes características del recurso se toman las decisiones de pertinentes de su estudio y en tal caso las posibles alternativas de proyectos que proporcionen no solo capacidad de producir energía sino sostenibilidad del servicio a los usuarios.

A continuación, se presentan algunos conceptos importantes referentes a la energía eólica:

**Energía** Se define como un sistema que estudia la cantidad de trabajo que dicho sistema es capaz de producir. La energía se presenta en la naturaleza de diferentes formas como, por ejemplo: la energía cinética, que está asociada el movimiento; la energía potencial, que está relacionada con la ubicación relativa entre objetos dentro de un sistema (ejemplo, energía potencial gravitacional); la energía eléctrica, que está asociada el movimiento de electrones; la energía calórica o energía en forma de calor, entre otras.

Unidades: en el Sistema Internacional, la energía se mide en Julios (J); también es posible medir la energía en vatios hora (Wh), o kilovatios hora (kWh); kWh= 3,60 X10<sup>6</sup> J.

**Potencia** La potencia promedio (P) es igual a la energía (E) transferida en un intervalo de tiempo determinado (t):  $P=E/t$ . Unidades: en el Sistema Internacional, la potencia se mide en vatios (W); 1W= 1 J/s.

**Energía eléctrica** La energía eléctrica es la energía de mayor calidad, debido a que tiene el más alto potencial de realizar trabajo y, por lo tanto, puede utilizarse para realizar un mayor número de actividades. Se genera a partir de una diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor; esta diferencia de potencial hace que se genere un flujo de electrones (electrones en movimiento) entre los dos puntos, creando una corriente eléctrica. La diferencia de potencial se denomina voltaje y se mide en Voltios (V); y la corriente y se mide en Amperios (A), la corriente puede ser corriente directa (DC) o corriente alterna (AC).

**Energía eólica** La energía eólica es la energía cinética de las moléculas de aire en movimiento. La energía cinética puede ser transformada en energía mecánica rotacional, al generar el movimiento de las palas de un rotor. La energía mecánica puede ser implementada para desarrollar trabajo mecánico (ej., molinos, bombas de agua), o puede ser transformada en electricidad mediante un generador. En cada transformación, parte de la energía es disipada en forma de calor (energía calórica).

El recurso eólico se mide a partir de la velocidad del viento (m/s) a determinada altura, o de la densidad de potencia eólica ( $W/m^2$ ) a determinada altura; la densidad de potencia (e) es proporcional a la densidad del aire y al cubo de la velocidad del viento.

La velocidad del viento se ve afectada por la altura y la rugosidad del terreno; la velocidad del viento aumenta con la altura, y un terreno liso favorece la velocidad del viento y disminuye la formación de turbulencias. Adicionalmente, la densidad de potencia eólica se ve afectada por la densidad del aire; a mayor densidad del aire, mayor densidad de potencia; la densidad del aire, a la vez, depende de la temperatura y presión atmosférica del lugar.

*Velocidad de viento:* Con el aumento de la velocidad del viento, la generación eólica disponible aumenta exponencialmente. La potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad.

*Turbulencia:* En lo que respecta a las características del viento (turbulencias), los modelos de tiempo globales determinan a grandes rasgos el recurso eólico en una región. Sin embargo, los rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.

*Densidad del aire:* incide en la potencia. Temperaturas bajas producen una mayor densidad de aire, con lo cual se obtiene un mayor rendimiento de la potencia. La densidad del viento disminuye al aumentar la temperatura, y aumenta al aumentar la presión.

**Generadores eólicos o aerogeneradores** Los aerogeneradores transforman la energía cinética de las moléculas de aire en electricidad (movimiento de partículas portadoras de carga, electrones).

Existen aerogeneradores de eje horizontal (los más comunes) y de eje vertical. Los componentes principales de un aerogenerador de eje horizontal son:

*Rotor:* su función es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica; está conformado por las palas y el buje que las une.

*Palas:* similares a las alas de un avión, la mayoría de aerogeneradores tiene tres palas.

*Góndola:* su función es transformar la energía mecánica del rotor en energía eléctrica; está conformado por diferentes dispositivos en el interior (como el generador y el multiplicador), y un anemómetro y una veleta en su exterior.

*Multiplicador:* multiplica la velocidad de giro que llega del rotor.

*Generador:* transforma la energía mecánica en eléctrica, normalmente generando corriente alterna.

*Torre:* soporta la góndola y el rotor.

La potencia de un aerogenerador depende principalmente del área barrida por las palas del rotor; por lo tanto, los aerogeneradores pueden clasificarse según su potencia y área, como muestra la Tabla 48.

Los aerogeneradores se caracterizan por tener determinada potencia nominal, que representa la máxima potencia de generación (bajo condiciones óptimas del recurso); y por una curva de potencia, que representa la potencia que genera dicho aerogenerador como función de la velocidad del viento. La mayoría de aerogeneradores comienzan a generar con vientos de 3-4m/s, llegan a su máxima potencia de generación con vientos de 12-15m/s, y se apagan para evitar averiarse con vientos de velocidades mayores.

**Tabla 48.** Clasificación de aerogeneradores

<i>Clasificación de aerogeneradores de eje horizontal para producción eléctrica en función de su potencia</i>			
Denominación	$P_N$ (kW)	$R$ (m) <sup>4</sup>	Aplicaciones
Muy baja <sup>5</sup>	< 1	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación...
	1-10	1-3	Granjas, viviendas aisladas (sistemas EO-FV), bombeo...
Baja	10-100	3-9	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos EO-diésel), drenaje, tratamiento de aguas...
Media	100-1.000	9-27	Parques Eólicos (terreno complejo).
Alta	1.000-10.000	27-81	Parques Eólicos (terreno llano, mar adentro).
Muy alta	> 10.000	> 81	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. Suponen un salto tecnológico. No antes del año 2010.

**Modelo de Elevación Digital** Es una representación en 3D de la topografía (altimetría y/o batimetría) de una zona terrestre adaptada mediante sistemas de cómputo (Programas). Representa la superficie de suelo desnudo y sin ningún objeto, como la vegetación o los edificios.

Debido a la gran variabilidad del viento resulta bastante complejo la evaluación del recurso eólico de un emplazamiento, lo que requiere campañas de medida con toma de datos de elevada frecuencia, y periodos de medida largos para poder realizar una evaluación adecuada. Otras variables meteorológicas, como por ejemplo la presión y temperatura ambiente, resultan mucho más fáciles medir, y se pueden realizar mapas de una zona con los valores medios, que por otra parte son fácilmente extrapolables a emplazamientos cercanos. Cuando para un emplazamiento determinado se quiere evaluar las posibilidades de utilización de la energía eólica, la primera acción requerida es cuantificar el potencial del viento en el mismo. El viento tiene unas fuertes variaciones, tanto temporalmente como espacialmente, por lo que va a ser necesario caracterizarlo mediante medidas del mismo, y cálculo de valores estadísticos en un periodo de tiempo. Normalmente se utilizan valores estadísticos considerados para un año para tener en cuenta las variaciones estacionales que se produzcan.

Los valores que se utilizan son:

- Valor medio de la velocidad
- Rosa de Vientos Predominantes

- Curva de Frecuencia de la velocidad
- Valores medios de temperatura y presión ambiente

**Alcances a futuro del recurso eólico** La energía eólica es considerada como la más limpia dentro de la rama energética, debido a que no contamina el entorno ya que todo el proceso de generación de energía o bien electricidad proviene de las corrientes de aire o vientos que circula cada segundo por todos los rincones del planeta. Esta energía presenta múltiples ventajas y que son importantes resaltar, algunas de ellas se muestran a continuación:

- No produce emisiones de CO<sub>2</sub> ni otros gases contaminantes.
- No generan residuos de complicados tratamientos para evitar el daño en la corteza terrestre o acuífera.
- Es inagotable.
- Reduce el agotamiento de otras fuentes energéticas contaminantes, por ende, ayuda a que sean cada vez menos explotadas.
- Puede competir y generar más rentabilidad que otras fuentes energéticas.
- No destruye la capa de Ozono.
- Su instalación requiere de una fuerte inversión, pero su mantenimiento es barato y muy rápido, en caso de que se requiera intervención humana.
- No requiere de otros procesos que duplican o triplican los costos operativos.
- Se puede instalar en cualquier lugar en donde exista una cota de viento abundante. Puede ser dentro o fuera de la ciudad.

Con base en las diferentes ventajas que presenta este recurso como energía renovable, es importante realizar estudios a futuro de la misma, teniendo en cuenta la necesidad de obtener más información de las variables requeridas para el mismo. Esto a través de la implementación de nuevas estaciones meteorológicas en el departamento tanto en zonas con relieve pronunciado como en las que no, para así posteriormente poder realizar un modelo de la potencialidad eólica que arroje resultados robustos y probabilísticamente lo más cercano a la realidad posible.

No solo es importante resaltar la importancia de nuevas estaciones meteorológicas en el departamento, sino obtener un registro en años considerables para realizar los estudios del recurso eólico. Es decir, promover su instalación y esperar obtener registros de series largas (años de lecturas).

#### **4.5.2. Metodología**

A continuación, se describen de forma general las actividades para la elaboración del análisis en el componente eólico.

- Revisión del recurso eólico de manera general del departamento, a través de un reconocimiento de las estaciones hidrometeorológicas existentes y su correspondiente análisis estadístico.
- Revisión bibliográfica de las diferentes energías renovable y evaluación de la información existente de proyectos PERS en Colombia.
- Identificación de la información secundaria del componente eólico y la definición de los formatos de presentación de los productos finales.

- Elaboración de antecedentes basado en la información del recurso en Colombia.
- Creación de marco teórico y desarrollo del Modelo de Elevación Digital para el área de estudio, en tanto el aspecto topográfico está relacionado con el comportamiento del viento.
- Realizar una descripción general del recurso eólico en el departamento de Norte de Santander.

### **4.5.3. Resultados y análisis de resultados**

#### **4.5.3.1. Cuantificación de la Oferta**

La información requerida sobre el recurso solar En Colombia se obtuvo a partir del estudio llamado “Atlas de Viento y de Energía Eólica de Colombia (2006)”, el cual contiene mapas que representan la distribución espacial de la disponibilidad del recurso energético eólico en Colombia; mapas de la velocidad de viento en superficie, de la desviación estándar y el sesgo de la velocidad del viento en superficie, y de densidad de energía eólica a 20 y 50 metros de altura.

El Atlas cuenta con 13 mapas (12 promedio mensual y 1 promedio anual) que presentan la velocidad promedio del viento en superficie (a 10m de altura); la información está interpolada a una resolución de 100 km<sup>2</sup> y con una precisión de 0,5 m/s. Los mapas se construyeron a partir de datos de anemógrafos recopilados de 111 estaciones del país y 122 estaciones localizadas en países fronterizos, los cuales fueron complementados con información de modelos meteorológicos y procesos estadísticos.

Adicionalmente, el Atlas cuenta con 12 mapas mensuales que presentan la desviación estándar del viento en superficie, la cual es una medida de la dispersión de los datos de velocidad con respecto a la media, información que da noción de la variabilidad de la velocidad del viento en superficie.

Con base en ese estudio se observan diferentes puntos de vista del recurso eólico como energía renovable. En Colombia, la mayor disponibilidad del recurso eólico se encuentra en la costa Atlántica, donde los vientos aumentan en dirección a la península de La Guajira. A continuación, la Tabla 49 con un resumen de la densidad de potencia de viento en las diferentes regiones del país.

Igualmente, en el país, los sistemas de aerobombeo han sido ampliamente utilizados en el sector rural; entre los usos más comunes están: Abastecimiento de agua limpia para uso doméstico; suministro de agua para ganadería; Irrigación; Drenaje; Movimiento de agua en granjas piscícolas. Los sistemas de aerobombeo se caracterizan por una larga vida útil de los equipos, son de fácil operación y mantenimiento, aunque dependen de la disponibilidad del recurso eólico local.

A continuación, en la

Figura 59 y

Figura 60, se observan los mapas de velocidad del viento y de densidad de energía a 50m con base en la información del IDEAM y del atlas de viento y energía eólica mencionado anteriormente.

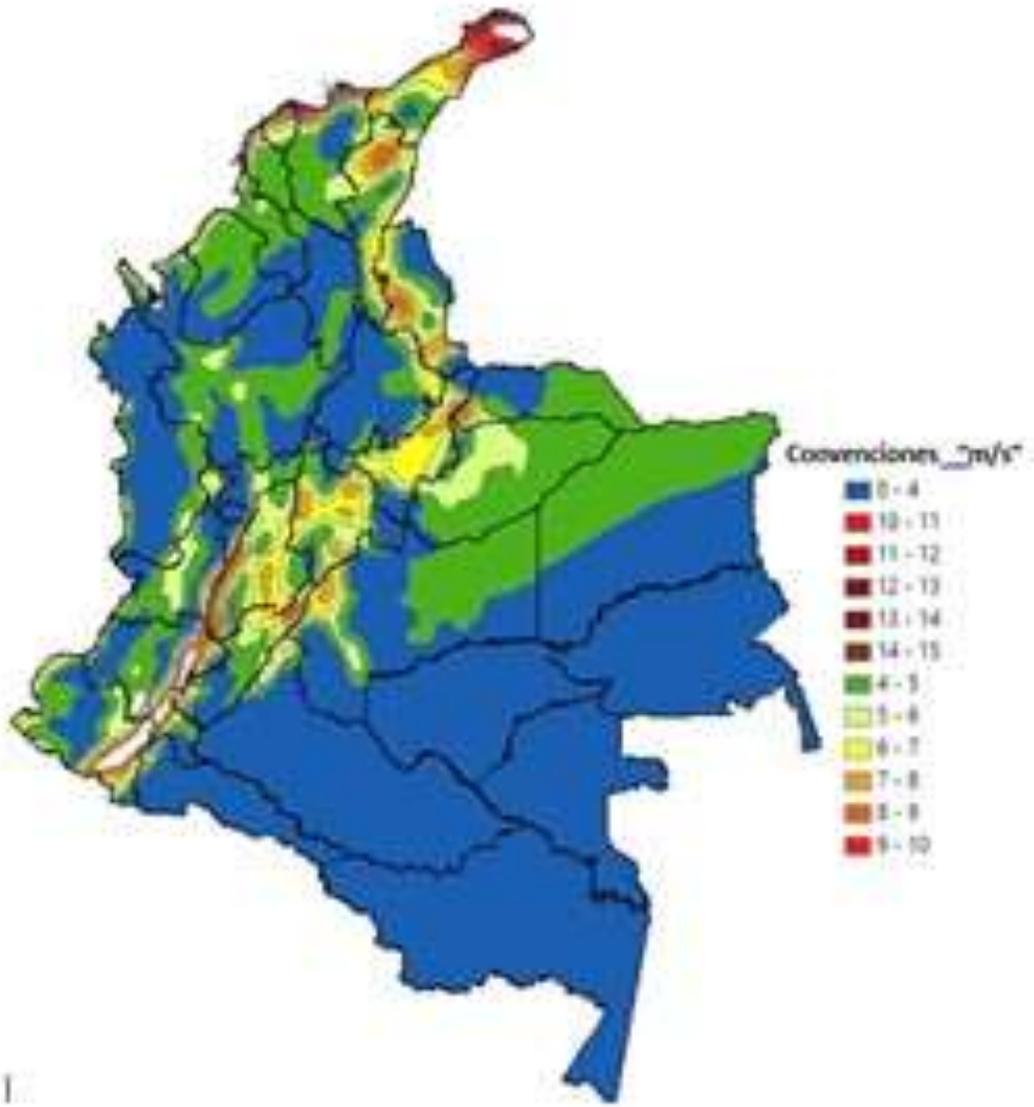
**Tabla 49.** Densidad de Potencia del viento por Región.

<b>REGIÓN</b>	<b>Densidad de Potencia a 20m (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad de Potencia a 50m (W/m<sup>2</sup>)</b>
Guajira	1000-1331	2744-3375
San Andrés	125-216	216-343
Santanderes	125-216	343-512
Costa Atlántica	216-512	729-1331
Casanare y llanos Orientales	125-216	216-343
Boyacá	125-216	216-343
Límites entre Tolima y zona cafetera	216-512	512-729
Golfo de URABÁ	125-216	343-512

Fuente: UPME-IDEAM

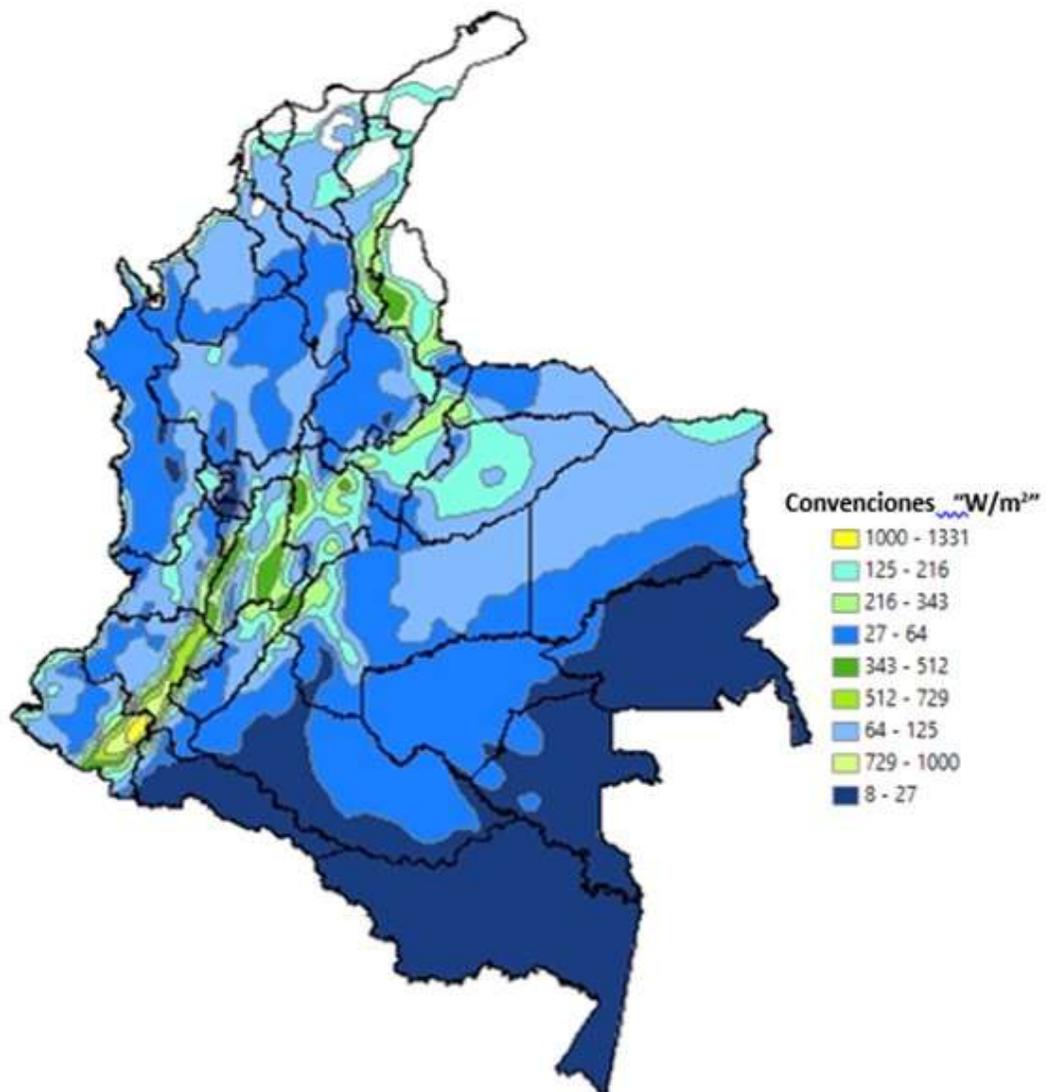
En el siguiente numeral, se detalla el recurso eólico para el departamento a través de las estaciones climatológicas existentes.

**Figura 59.** Mapa de Velocidad Media del Viento en Superficie Promedio Multianual a 50m de altura.



Fuente: Atlas de Viento y de Energía Eólica de Colombia (UPME, IDEAM, 2006) – Autor.

**Figura 60.** Densidad de energía a 20m de altura.



Fuente: Atlas de Viento y de Energía Eólica de Colombia (UPME, IDEAM, 2006) – Autor.

## **Parámetros Temperatura y Viento del Departamento**

El actual documento es una representación de como el recurso renovable, como es la energía eólica, podría producir electricidad en las zonas no interconectadas para el departamento. Para su estudio se requieren diferentes insumos necesarios para su desarrollo, partiendo de la base que para evaluar cualquier parámetro climatológico se necesita información del lugar. Para ello se solita a IDEAM información de campo de las diferentes estaciones meteorológicas de las zonas.

A continuación, un análisis de las estaciones de IDEAM disponibles en el departamento, específicamente para el componente eólico, donde se requieren datos de estaciones de temperatura y viento.

**Estaciones disponibles del IDEAM** – El IDEAM presenta las estaciones hidrometeorológicas a través de categorías. En el departamento hay registradas 220 estaciones en total. A continuación, se mencionan cuantas estaciones existen para cada una de las categorías:

- AM: Agrometeorológica (3 estaciones)
- CO: Climatológica Ordinaria (21 estaciones)
- CP: Climatológica Principal (12 estaciones)
- HA: Hidrometeorológica Automática (5 estaciones)
- LG: Limnigráfica (25 estaciones)
- LM: Limnimétrica (46 estaciones)
- PG: Pluviográfica (8 estaciones)
- PM: Pluviométrica (99 estaciones)
- SP: Sinóptica Principal (1 estaciones)

En Norte de Santander, cada una de estas estaciones arroja parámetros hidrometeorológicos diferentes dando diversos resultados (Por ejemplo, lluvias, temperaturas, tiempos atmosféricos, nubosidad, radiación solar, brillo solar, evaporación, humedad, viento, presión atmosférica, etc.),

existiendo estaciones que dan varios parámetros para una sola de ellas. Para el presente documento que pertenece al análisis del componente eólico, se requieren las estaciones donde se obtengan resultados de temperatura y viento. De forma general cabe mencionar que las categorías del IDEAM a utilizar son las observadas a continuación en la

Figura 61 y

Figura 62, y que son requeridas para el estudio.

Algunas de estas estaciones podrían presentar datos incompletos (estaciones suspendidas, malas lecturas e incompletas, entre otros), posteriormente estas son filtradas para seleccionar las estaciones con datos más robustos y que podrían ser utilizadas en el proyecto. Igualmente, en la

Tabla 50 y

Tabla 51 se observan las estaciones que se muestran las

Figura 61 y

Figura 62, con información general de cada estación (máximos, medios y mínimos promedios).

**Figura 61.** Estaciones Climatológicas del IDEAM que involucran el parámetro temperatura en el departamento.



Fuente: CORPONOR – IDEAM - Autor

**Figura 62.** Estaciones Climatológicas del IDEAM que involucran el parámetro viento en el departamento.



Fuente: CORPONOR – IDEAM - Autor

**Tabla 50.** Estaciones IDEAM como parámetro Temperatura para el departamento.

Estación	Parámetro	Unid	Valor Anual Mínimo	Valor Anual Medio	Valor Anual Máximo
APTO CAMILO DAZA	Temperatura	°C	23.2	27.6	30.9
STA ISABEL	Temperatura	°C	24.2	27.2	30
SAN FAUSTINO	Temperatura	°C	23.5	26.3	29.6
CARMEN DE TONCHALA	Temperatura	°C	22.8	27.3	31.7
CINERA-VILLA OLGA	Temperatura	°C	23.8	27.6	30.7
LIMONCITO	Temperatura	°C	24	26.7	29
CEEZ ICA	Temperatura	°C	24.4	26.8	28.5
LA MARIA	Temperatura	°C	13	15.4	16.8
ABREGO CENTRO ADMO	Temperatura	°C	18.1	20.8	23.5
STA LUCIA	Temperatura	°C	15.2	19.4	22.1
ESC AGR CACHIRA	Temperatura	°C	14.8	17	19.6
INS AGR CONVENCION	Temperatura	°C	19.3	22	24.8
H.J.C GJA	Temperatura	°C	18.8	20.3	21.8
RISARALDA	Temperatura	°C	27.2	34.5	39.8
PARQUE NAL TAMA	Temperatura	°C	12.2	13.8	15.7
LA PLAYA	Temperatura	°C	16.9	20	22.9
APTO AGUAS CLARAS	Temperatura	°C	17.8	21.3	23.7
UNIV FCO P SANTAND	Temperatura	°C	19.1	21.5	23.7
ISER PAMPLONA	Temperatura	°C	12.2	15.1	17.2
FCA LA PALMITA	Temperatura	°C	19.2	21	22.4
EL DAVE	Temperatura	°C	26.4	27.8	29
LA ESPERANZA	Temperatura	°C	14.3	17	19.5
RAGONVALIA	Temperatura	°C	16.4	18.8	21
SALAZAR	Temperatura	°C	19.6	22.8	27
LA MARAVILLA	Temperatura	°C	16.2	18.8	21.3
SARDINATA	Temperatura	°C	22.8	26.4	30.3
SILOS	Temperatura	°C	10.8	12.1	14.6
TEORAMA	Temperatura	°C	17.9	21.8	30.4
TIBU	Temperatura	°C	24.4	27.4	30.6
PETROLEA	Temperatura	°C	23.7	28.1	30.9
LA ESTANCIA	Temperatura	°C	24.1	24.6	25.7
TUNEBIA	Temperatura	°C	22.2	24.4	27.5

Fuente: IDEAM - Autor

**Tabla 51.** Estaciones IDEAM como parámetro Viento para el departamento.

Estación	Parámetro	Unid	Valor Anual Mínimo	Valor Anual Medio	Valor Anual Máximo
ABREGO CENTRO ADMO	Viento	m/s	1.6	2.5	3.3
APTO CAMILO DAZA	Viento	m/s	0.4	3.1	8.9
TIBU	Viento	m/s	0.7	1.7	4.2

Fuente: IDEAM - Autor

#### 4.5.3.2. Descripción General Recurso Eólico

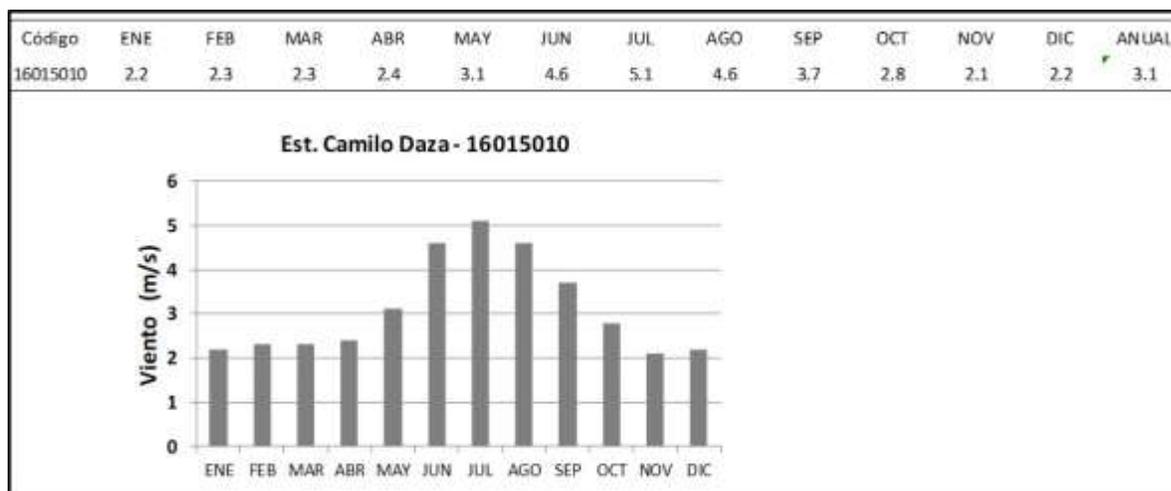
A continuación, se realiza un recorrido por los datos de las estaciones para seleccionar si la información es apta para el proyecto.

El departamento de Norte de Santander presenta 6 subregiones. Con base en ellas y a las necesidades del proyecto se continua con el análisis de las series de datos de las estaciones hidrometeorológicas involucradas para el componente eólico.

La

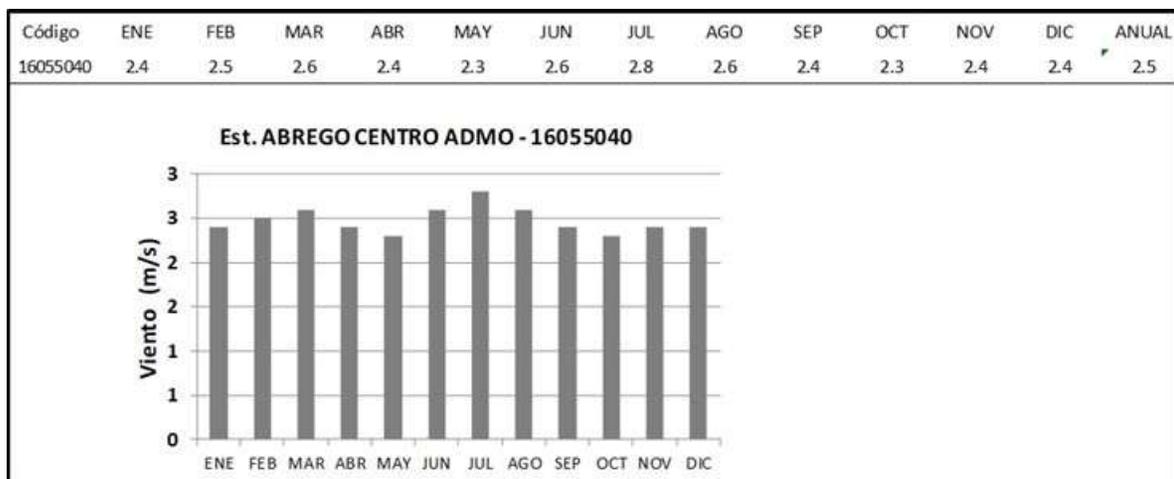
Figura 63, Figura 64 y Figura 65, presentan la representación gráfica de las tres estaciones de viento existentes en el IDEAM para el departamento. Para el presente estudio del componente eólico estas estaciones son las más relevantes.

**Figura 63.** Velocidad media mensual del viento, Estación Camilo Daza – IDEAM



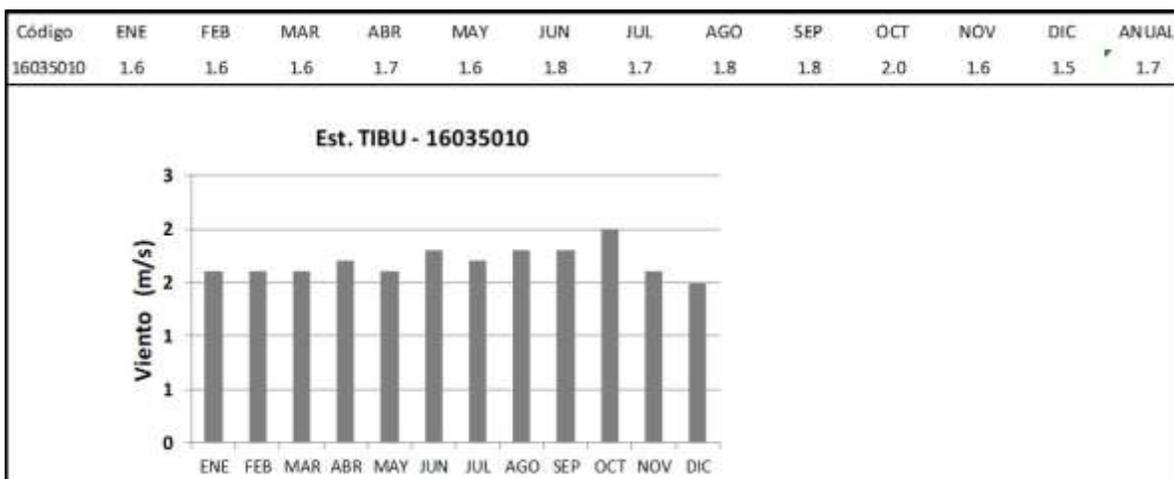
Fuente: IDEAM – Autor

**Figura 64.** Velocidad media mensual del viento, Estación Ábrego Centro Administrativo - IDEAM.



Fuente: IDEAM - Autor

**Figura 65.** Velocidad media mensual del viento, Estación Tibú - IDEAM.



Fuente: IDEAM - Autor

#### **4.5.3.3. Modelo de Elevación Digital**

El modelo de elevación digital es una representación en 3D de la topografía (altimetría y/o batimetría) de una zona terrestre adaptada mediante sistemas de cómputo (Programas). Representa la superficie de suelo desnudo y sin ningún objeto, como la vegetación o los edificios.

La obtención del modelo de elevación digital o modelo de terreno permite contar con el insumo que enriquece la información planimetría global con una altimetría asociada que complementa la información base y sirve de apoyo a la evaluación de diferentes proyectos.

En forma general, se busca generar un modelo de elevación digital (MED) como apoyo a las tareas de todo el proyecto PERS, en este caso específicamente en los objetivos y labores del componente eólico. El modelo del terreno permite evaluar los diferentes escenarios posibles para la ampliación de la oferta hídrica a partir de múltiples fuentes y fundamentalmente configurar una representación global del área de estudio y de sus rasgos físicos predominantes.

Específicamente, se busca obtener un archivo en formato ráster (puntos espaciados uniformemente) que representan una superficie continua de elevaciones o cotas y que permite obtener la información altimétrica en cualquier lugar el área de estudio.

Para el caso particular del grupo PERS, el área de estudio comprende una extensión mayor que va más allá del perímetro y de los límites departamentales.

Posteriormente como tarea conjunta con el grupo de investigación de la universidad HYDROS y el profesional encargado del área SIG, se define la extensión del área de estudio para realizar el modelo teniendo en cuenta diferentes aspectos.

### ***Información base***

La generación del modelo del terreno precisa fundamentalmente de información topográfica en el interior del área de estudio antes señalada. La información Topográfica puede consistir de curvas de nivel bajo diferentes resoluciones o niveles de detalle, nubes de puntos con información asociada de coordenadas planimétricas y altimetría o cotas adecuadamente referenciadas a un BM o mojón oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La referencia planimétrica o sistema de coordenadas se adoptará, como se menciona anteriormente con el especialista encargado, esperando que sea un sistema de coordenadas MAGNA ESTE recomendado por el IGAC como el nuevo sistema estándar de uso general en Colombia.

Para la generación del modelo del terreno sobre el área de estudio en este caso el departamento, se podrán recopilar diferentes fuentes de información las cuales se mencionarán posteriormente.

### ***Generación del modelo de elevación digital***

La creación del modelo utiliza módulos/extensiones de análisis de superficies del programa de computador ArcGIS (Sistema de Información Geográfica) tales como el Analista Espacial (Spatial Analyst) y el Analista de 3 Dimensiones (3D Analyst).

El procedimiento para la generación del modelo del terreno comprende los siguientes geo-procesos:

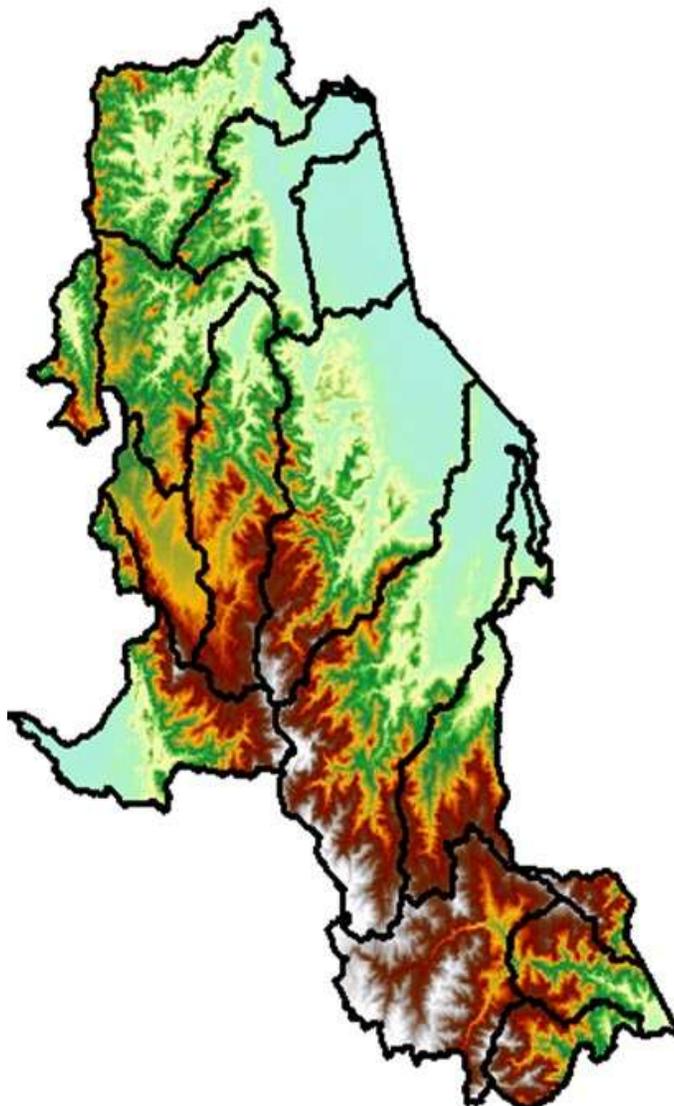
- Generación de Shapefiles georeferenciados en el sistema MAGNA ESTE de las curvas de nivel recolectadas en formato AutoCAD (extensiones dwg o dxf).
- Asignación del campo COTA asociado con cada una de las curvas de nivel.
- Generación de un ráster de puntos con base en las curvas de nivel y con la información altimétrica almacenada en el campo GRID\_CODE.
- Creación del TIN (Triangulated Irregular Network) a partir de la nube de puntos asociada con las curvas de nivel.
- Generación del Modelo del Terreno en formato ráster a partir del TIN y con una resolución espacial ponderada a partir del espaciamiento de las curvas de nivel usadas como insumos primarios.
- Generación del formato hillshade que permite/facilita visualizar el modelo del terreno bajo una perspectiva tri-dimensional que mejora la percepción del terreno y facilita las evaluaciones de alternativas y escenarios.

### ***Actualización dinámica***

Idealmente, el modelo del terreno se debe realizar a partir de toda la información topográfica disponible y recolectada por el proyecto que cubra en forma completa y precisa el área bajo estudio. Sin embargo, la información topográfica disponible no siempre cubre en forma completa toda el área de estudio quedando “vacíos” de información a partir de los cuales se genera una interpolación de alturas imprecisa. Para evitar los vacíos de información o para mejorar el nivel de resolución en sectores cubiertos por curvas de nivel muy espaciadas se recomienda agregar información de mayor nivel de detalle (más precisa) o complementaria a medida que el proyecto obtiene esta información a partir de trabajos de campo.

En la Figura 66 siguiente se observa un modelo de elevación digital suministrado por CORPONOR, realizado en el año 2014.

**Figura 66.** Modelo de Elevación Digital departamento.



Fuente: CORPONOR 2014

Con base en el modelo de elevación digital ya establecido en CORPONOR y con la información que se recolecta para el proyecto, el modelo se puede robustecer de acuerdo a las necesidades establecidas para de los profesionales.

## **INSUMOS REALES RECURSO EÓLICO**

Con base en lo descrito en los numerales anteriores, se observa que el departamento cuenta solo con tres estaciones de medición del parámetro de viento ubicadas como se observan en la

Figura 62 y distribuidas en las subregiones occidental, norte y oriental, zonas que tienen una gran superficie respecto a las otras, dejando fuera de información a las regiones central, suroccidental y suroriental.

Para evaluar el comportamiento de la variable meteorológica (viento), es necesario el conocimiento de mediciones preferiblemente localizadas uniformemente en el área de estudio en este caso el departamento de Norte de Santander, realizadas a través de anemógrafos, es decir con estaciones meteorológicas que puedan medir y graficar continuamente las características del viento como son la dirección y la velocidad, pudiendo de esta forma evaluar la posible potencialidad eólica en la zona.

Como consecuencia de la escasa información de estaciones climatológicas que se presentan en el IDEAM para esta variable como es el viento, es imposible la implementación de cualquier metodología para un estudio profundo de la potencialidad eólica y por lo tanto el planteamiento de alternativas de producción de energía con este recurso renovable en zonas no interconectadas. Específicamente por el hecho de crear resultados no certeros con la cantidad y calidad de las estaciones existentes.

Adicionalmente se observa que las tres estaciones del IDEAM presentan en común que son series incompletas en sus registros, es decir tienen años faltantes dentro de su longitud de series y

muchos de esos años igualmente presentan meses faltantes. En la Tabla 52, se observan los registros de los periodos de las tres estaciones.

**Tabla 52.** Estaciones variable viento del IDEAM con periodos de tiempo de las series.

<b>ESTACIÓN</b>	<b>CÓDIGO ESTACIÓN</b>	<b>PERÍODOS DE TIEMPO DE LAS SERIES</b>
Camilo Daza	16015010	1976 - 2014
Abrego Centro Admo	16055040	1974 - 2010
Tibú	16035010	1974-1997

Fuente: IDEAM – Autor

## 5. Conclusiones

### **Energía solar fotovoltaica**

Se calculó la insolación solar de cada uno de los municipios del departamento mediante la información obtenida de la base de datos del Global Solar Atlas y se obtuvo que el departamento Norte de Santander presentó un promedio de insolación de 4.857 kWh/m<sup>2</sup>/día, siendo este superior al promedio de insolación nacional y mundial.

Se calculó el porcentaje de insolación para cada municipio, generando un resumen estadístico con valores de tendencia central, primer y tercer cuartil, media, mediana, moda y valores máximos y mínimos, logrando obtener una caracterización de la distribución de la radiación solar de cada uno de los municipios del departamento que permitió la construcción del mapa de insolación solar.

Para todos los municipios del departamento se pudo obtener el valor promedio de insolación mediante fuentes secundarias. Además, se obtuvo el valor promedio mensual de la insolación de tres (3) de los cuarenta (40) con fuentes primarias (bases de datos de estaciones meteorológicas) y se estimó el valor promedio de insolación mensual para dieciséis (16) municipios del departamento mediante el modelo empírico de Angstrom-Prescott.

Utilizando la información del Global Solar Atlas se elaboró un mapa de radiación solar del departamento en el que se dan a conocer mediante una paleta de colores el valor promedio de la

insolación solar encontrada para cada municipio del departamento, permitiendo la comparación del recurso solar entre diferentes zonas. Además, esta información se complementará en el Sistema de Información del PERS (SIPERS) mediante el acompañamiento de los promedios de insolación mensual de los 19 municipios con los que se cuenta información.

Debido a la escasez de información de variables climatológicas del departamento referentes al brillo solar, se recomienda desarrollar e implementar un sistema de estaciones meteorológicas en el departamento que permita obtener los datos históricos de brillo solar, temperatura y radiación de todos los municipios.

En este sentido, se recomienda el desarrollo de un centro de supervisión de variables meteorológicas de radiación solar global, brillo solar y temperatura que se encuentre interconectado al sistema de estaciones mencionado anteriormente.

Con el objetivo de facilitar el cálculo de la insolación solar del departamento, se recomienda el desarrollo de un software que tenga como función la estimación del recurso solar con base en información de brillo solar. Además, este software deberá interpolar la información para otras zonas cercas a estas, contemplando las condiciones climáticas de cada una.

Finalmente, se recomienda desarrollar una página web y una aplicación para teléfonos inteligentes que permita obtener en tiempo cercano al real, el valor de las variables meteorológicas de radiación solar global, insolación solar, brillos solar y temperatura. Estas aplicaciones deberán estar conectadas a la red de estaciones mencionada anteriormente.

## **Energía a partir de biomasa**

Según los resultados del estudio Norte de Santander tiene una gran cantidad de biomasa residual proveniente de actividades agrícolas y pecuarias, con un elevado potencial energético. En conjunto la biomasa que se obtiene de los cultivos seleccionados (arroz, palma de aceite, café, plátano y caña panelera) podría generar una oferta energética cercana a 284 GWh/año, mediante procesos de conversión termoquímica (gasificación) y bioquímica (digestión anaerobia).

Tibú es el municipio con mayor oferta energética a partir del cultivo de plátano, con una participación del 10%. Actualmente se desconocen las prácticas de manejo que los productores de plátano realizan con los subproductos de cosecha. Este escenario dificulta cuantificar la biomasa residual realmente disponible para fines de conversión energética.

Convención es el municipio con mayor oferta energética a partir del cultivo de caña panelera, aportando un 32,94%, seguido de Toledo (14,51%) y Teorama (10,98%). Actualmente los subproductos de la industrial panelera son utilizados como combustible en las hormillas. Dada la baja eficiencia de combustión, se infiere que el material debe ser sometido a un pretratamiento térmico que permita alcanzar mejores índices de combustión para incrementar su potencial energético.

Tibú participa con un 72,34% de la oferta energética a partir del cultivo de palma de aceite, seguido por La Esperanza (13,42%) y Sardinata (10,40%). Se reconoce que los subproductos del beneficio del fruto de palma en su mayoría son aprovechados directamente en los sistemas de

siembra y servicios industriales de extracción. Es importante verificar en la fuente como se disponen los subproductos del beneficio de la palma en Norte de Santander. Lo anterior, para estimar la cantidad de biomasa neta disponible que puede ser utilizada como fuente de energía en zonas no interconectadas.

La oferta energética de la biomasa residual del cultivo de arroz es mayor los municipios de Cúcuta (57,73%), El Zulia (23,10%) y La Esperanza (10,54%). Por sus características fisicoquímicas y bajo contenido de humedad la cascarilla del arroz que se obtiene como subproducto del beneficio del grano, es considerada una fuente potencial de energía, ya que puede ser utilizada como combustible en sistemas directos de conversión. Actualmente las arroceras comercializan la cascarilla para ser utilizada cama en galpones de aves de engorde y en viveros.

Teniendo en cuenta que la biomasa producida por el cultivo de arroz presenta un mayor potencial energético y por consiguiente el valor más alto de oferta energética, es de esperarse que las investigaciones en la región se orienten a generar conocimiento y desarrollo tecnológico en torno a su aprovechamiento como fuente alternativa de energía. Para ello se requiere tener información primaria de productividad y prácticas de manejo de subproductos en las plantaciones y en las instalaciones de beneficio del grano.

Los municipios con mayor participación en la oferta energética a partir de biomasa residual del cultivo de café son: Convención (8,35%), Salazar (6,82%) y Arboledas (6,76%). El cultivo de café en Norte de Santander ha tomado gran importancia en los últimos años. Las fincas y

centros de producción han incursionado en el lanzamiento de marcas propias, bajo el sello artesanal que llaman la atención de consumidores locales, nacionales y extranjeros. Por ello es importante conocer en la fuente cuáles son las prácticas de manejo de subproductos, las cantidades de producción de biomasa residual, la disponibilidad y las características fisicoquímicas de los materiales susceptibles de transformación.

La oferta energética de la biomasa residual del sector bovino se concentra en los municipios de: Cúcuta (12,38%), Abrego (12,38%) y Arboledas (9,42%). Es necesario conocer de la fuente la cantidad de biomasa generada por cada ciclo productivo y las prácticas de manejo del estiércol. Se reconoce la utilización de sistemas anaerobios de transformación mediante digestores, especialmente para el estiércol de cerdos. Sin embargo, en la producción de ganado bovino no se destaca el aprovechamiento de los residuos.

Los digestores pueden llegar a ser una buena alternativa de producción energética, debido a que los costos de instalación y mantenimiento son menores, comparados con su eficiencia. Se requiere una pequeña población de vacas o cerdos para mantener en funcionamiento una unidad capaz de abastecer una vivienda promedio. El biogás producido puede utilizarse para cocinar, calentar o para producir energía, si se cuenta con la configuración de equipos que permitan su conversión.

Teniendo en cuenta que el poder calorífico y la humedad de la biomasa residual fueron tomados de referencias bibliográficas para la determinación del potencial energético, se recomienda realizar un estudio experimental de las propiedades fisicoquímicas de los cultivos

con mayor potencial energético. Lo anterior, con el fin de obtener información validada que permita llevar a ejecución proyectos de aprovechamiento y generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales.

### **Energía hídrica**

Norte de Santander es un departamento con una importante oferta hídrica y con una capacidad considerable para producir proyectos de índole hidráulica, desde el punto de vista general y preliminar.

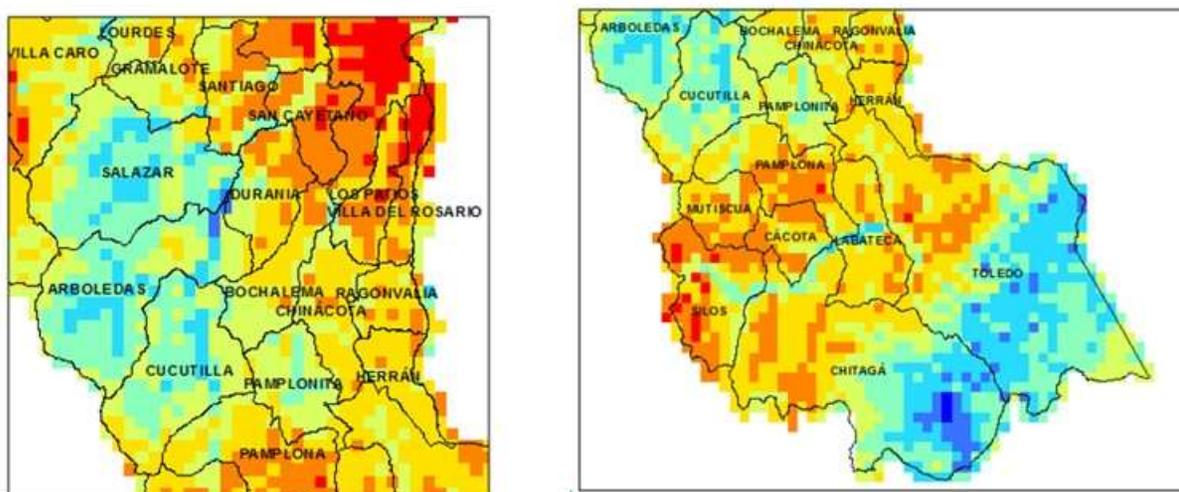
Según la corporación regional CORPONOR, a la fecha no existe ninguna central hidroeléctrica legalizada en el departamento de Norte de Santander. Existen 6 proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas en proceso de solicitud de licencia ambiental. Las pequeñas centrales hidroeléctricas con probabilidad de licencia ambiental se ubican sobre la cuenca del río Zulia y el río Chitagá.

Se observa que los distritos de riego existentes y las PCH con posibilidad de desarrollo, se encuentran concentrados en la zona media y sur del departamento con excepción de las áreas donde se ubican los parques nacionales naturales que son sectores protegidos ambientalmente.

Con base en la clasificación según la UPME de centrales hidroeléctricas y a las necesidades del proyecto para zonas rurales no interconectadas se pueden considerar planteamientos desde pequeñas centrales hidroeléctricas hasta microcentrales hidroeléctricas.

De acuerdo con el mapa del Índice de Potencial Hídrico, IPH, se identifican las áreas del departamento con mayor potencial para la implementación de proyectos de generación hidroeléctrica, estas áreas corresponden a los municipios de Chitagá, Toledo, Cucutilla, Arboledas y Salazar, como se observa en la Figura 67.

**Figura 67.** Detalle de municipios con mayor Índice de Potencial Hídrico



Resulta importante resaltar que los municipios identificados corresponden a zonas con el mayor potencial hídrico en el departamento, pero para identificar proyectos específicos es necesario incluir otro tipo de consideraciones, como por ejemplo aspectos ambientales y geológicos.

### **Energía eólica**

A fin de caracterizar la oferta de energía eólica en un territorio se requiere fundamentalmente información topográfica, de temperatura y del viento. Las dos primeras fueron identificadas y caracterizadas, sin embargo, en el departamento Norte de Santander, solo se cuenta con tres estaciones climatológicas con registros suficientes extensos para realizar un análisis estadístico del comportamiento del viento.

Con tan solo tres estaciones de registro de la variable viento no es posible aplicar método alguno de interpolación geoestadística que permita espacializar dicha variable, de manera tal que se garantice un adecuado grado de confiabilidad.

La información de viento solo sería confiable cerca de las tres estaciones con registro, pero estas áreas están cerca de centro urbanos que reciben su oferta energética del sistema interconectado nacional de energía eléctrica por cuanto no resulta viable un proyecto tipo PERS.

Es importante aclarar que no se está afirmando que en Norte de Santander no se puedan implementar proyectos de energía eólica, lo que se manifiesta es que no existen los registros históricos suficientes para abordar el estudio de un proyecto de inversión en este tipo de generación de energía.

Se recomienda el establecimiento de una red de estaciones climatológicas, con el adecuado sistema de captura, transmisión y análisis de la data que permita en un futuro caracterizar adecuadamente la oferta eólica del departamento, entre otros muchos beneficios que traería este tipo de Sistema de Información.

## 6. Bibliografía

Acevedo, E. 2006. Agrocienza, un desafío para Chile. Santiago, Universidad de Chile. Serie Ciencias Agronómicas N11, 103.

Abreo, M., Rueda S. 2016. Evaluación de un proceso termoquímico seleccionado mediante vigilancia tecnológica para transformar biomasa sólida en energía eléctrica que pueda ser usado en las Zonas no interconectadas de Colombia. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Agudelo Muñoz, J. S. 2014. Simulación de gasificación integrada con un ciclo combinado para aprovechamiento de gasificación de biomasa residual. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

Alarcón, G., Olivares, E., Barbosa, L., & Glauco, C. 2006. Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I Características Físicas. Proceedings of the 6. Encontro de Energía No Meio Rural, 1-10.

Álvarez Chávez, B. 2014. Caracterización del pericarpio, mesocarpio y endocarpio del fruto del café para la producción de aglomerados energéticos. Universidad de Veracruzana. Xalapa, México.

Arias Ortiz, R. A., & Meneses Cruz, J. D. 2016. Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

Baena, L. & Cardona G, A., 2012. Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. de una industria chocolatera Colombiana. Química Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira.

Barrera Zapata, R., Pérez Bayer, J. F., & Salazar Jiménez, C. 2014. Carbones colombianos: clasificación y caracterización termoquímica para aplicaciones energéticas. Revista ION, 27, 2. Biblioteca Ministerio de Agricultura, Colombia.

BUN-CA, Biomass Users Network Centroamérica, 2002. Biomasa, Manuales sobre energía renovable para América Central.

Burgos, F. & Oporto, C. 2010. Biomasa como fuente de energía sustentable. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile.

Barco Burgos, J. Gasificación de cuesco de palma para la obtención de gas combustible en un reactor de lecho fijo. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Chadwick, D. T., McDonnell, K. P., Brennan, L. P., Fagan, C. C., Everard, C. D. 2014. Evaluation of infrared techniques for the assessment of biomass and biofuel quality parameters and conversion technology processes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 672-681.

Camargo, L., Pereira, S., Farinas, C., Marconcini, J., & Mattoso, L. 2015. Obtenção de nanowhiskers de celulose a partir dos resíduos da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. In Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA-COBEQ, 20; ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE O ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 15, 2014, Florianópolis. Anais Florianópolis: UFSC, 2014.

Cabrales Contreras, H. Caracterización del proceso de densificación de biomasa residual proveniente de Palma de Aceite Africana (Tusa). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Castro Ycaza, K. V., & Ocampo Chávez, J. E. 2015. Caracterización físico-química de la biomasa residual del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), naranja (*Citrus sinensis*, Variedad Valenciana,) y mandarina (*Citrus reticulata*) en la provincia Bolívar. Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador.

Correa Zea, S. A. 2016. Análisis teórico de la combustión de biomasa residual proveniente de cultivos tradicionales en Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira.

Cuervo, L., Folch, J. & Quiroz, R. 2009. Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *BioTecnología*, 13, 3, 11-25.

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), Censo General 2016.

Escalante H, H., Orduz P, J., Zapata L, H., Cardona R, M. & Duarte O, M., 2011. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Universidad Industrial de Santander, Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

Energía, M. d. (2015). Guía para elaboración de un plan de energización rural sostenible. Bogotá.

Escobar, R., Gamio, P., Moreno, A. I., Castro, A., Cordero, V., Vásquez, U., & Universidad Católica de Perú. (2016). Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible. Lima, Perú.

Espinosa, K. 2013. Modelo Matemático para evaluar la valorización energética de biomásas agrícolas mediante digestión anaeróbica. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

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

Galvis P, D. & Acevedo L, M., 2008. Evaluación del potencial energético de la biomasa residual proveniente del sector porcino en Colombia. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

García, J. A., Cárdenas, M. & Yáñez, E. E. 2010. Generación y uso de biomasa en plantas de beneficio de palma de aceite en Colombia. Palmas, 31, 2.

García Rincón, J. G., Arévalo, J & Guerrero, G. 2015. Análisis exergético de un horno de lecho fijo en la producción de panela. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1, 32.

Garrido Echeverría, N. C. (2010). Análisis y evaluación ambiental: —proyecto sistema de energización sustentable para Huatacondo, comuna de Pozo Almonte, Región de Tarapacá.

Gómez R, D. & Parra C, J., 2013. Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas en Santander: “cacao, cítricos, fique y tomate”. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. L., & Wiest, W. 2004. Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma: tecnologías y perspectivas. Revista Palmas, 25, 388-397.

IPSE. Informe Rendición Social de Cuentas, 2014-2015.

IPSE. (2014). Soluciones energéticas para las zonas no interconectadas de Colombia. Bogotá.

Ladino Tamayo, A. F., & Martínez Rojas, J. A. 2016. Metodología para el aprovechamiento energético de recursos de biomasa residual pecuaria en la autogeneración de electricidad: casos de estudio Briceño Boyacá y Cajicá Cundinamarca.

Lye, E. & Bilsborrow, P. 2013. Assessment of the availability of agricultural residues on a zonal basis for medium- to large-scale bioenergy production in Nigeria. *Biomass and Bioenergy*, 48, 66 - 74.

Mejía G, J. & Rondón R, J., 2013. Caracterización fisicoquímica de biomasa agrícola representativa en Santander: papa, yuca, mora papaya y cebolla junca. *Ingeniería Química*, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MINAGRICULTURA). Red de Información y Comunicación del sector Agropecuario Colombiano (AGRONET), Anuario Estadístico de Sector Agropecuario 2015, Base Agrícola EVA 2007-2015.

Ministerio de Minas y Energía (MME), Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Programa de Uso Racional y eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales (PROURE), Plan de Acción Indicativo 2010-2015.

Ministerio de Minas y Energía (MME), Instituto de planeación y Promoción de soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), 2011.

MME, & UPME. (2010). Plan nacional de fuentes no convencionales de energía - PNFNCE.

Mora Navarro, D. C., & Hurtado Liévano, J. M. (2004). Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Murillo, A. & Barrera, K. 2016. Evaluación del potencial energético de la biomasa residual agrícola en Caquetá: caso de estudio. (Doctoral dissertation).

Nunez, D. 2012. Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. Tecnura, 16, 142 - 156.

Orduz P, J., 2011. Modelo matemático para evaluar el potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia. Maestría en Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Orozco, K., Carpio, A., Rojas, I. & Pardo, M. 2016. Potencial de biogás de los residuos agroindustriales generados en el departamento de Cundinamarca. *Revista Ion*, 29, 2.

Pacheco, A. 2016. Análisis exergético al uso del bagazo de caña como combustible en la hornilla panelera tradicional en el Trapiche “San Antonio” del municipio de Convención, Norte de Santander. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Patel, M. & Zhang, K. 2016. Techno-economic and life cycle assesment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1486-1499.

Patiño Martínez PE. 2014. Biomasa Residual Vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. *Innovaciencia facultad cienc. exactas fis. Naturales*, 2, 1, 45-52.

Quintero Mora, L., Martínez Castilla, Y., Velasco Mendoza, J., Arévalo Rodríguez, A., Amparo Muñoz, Y., & Urbina Suarez, N. 2015. Evaluación de residuos de papa, yuca y naranja para la producción de etanol en cultivo discontinuo utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Ion*, 28, 1.

Ramírez, C., Garzón, N., Silva, E., Yáñez, Á. & Edgar, E. 2011. Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite. Centro de Investigación en Palma de Aceite, CENIPALMA, Colombia.

Red de Información y Comunicación del sector Agropecuario, Producción Agrícola por departamento, AGRONET, 2015.

Reina, L. H & Delgado, D. A. 2014. Análisis prospectivo-estratégico del centro de energías renovables de Norte de Santander al 2023. Capítulo XI, Prospectiva territorial urbana, “Retos y desafíos para la construcción social de territorios del futuro”. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Reshamwala S, Shawky B. & Dale B. 1995. Ethanol production from enzymatic hydrolysates of AFEX-treated coastal Bermuda grass and switchgrass. *Appl. Biochem. Biotechnol*, 51,52, 43-55.

Robasco I., Bisaro V., Romagnoli M. & Martignone R., 2004. Métodos estadísticos para la caracterización de ambientes climáticos y evaluación de respuestas de cultivares de soja. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Rosario, Argentina.*

Rodríguez C, L., 2016. Evaluación de la disponibilidad de biomasa residual agrícola y su potencial energético en ZNI de Colombia: Caso Estudio. Maestría en Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Romero, A. 2010. Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Rev.r.acad.cienc.exact.fís.nat (esp)*, 104, 2, 331-345.

Romero Millán, L., Cruz Domínguez, M., & Sierra Vargas, F. 2016. Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma. *Tecnura*, 20, 48, 89-100.

Sanguino B, P., Téllez A, N., Escalante H, H. & Vásquez C, C., 2009. Aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector avícola. *ION*, 22.

San Miguel, G. & Gutiérrez, F. 2015. *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.

Sánchez, T., & Ramírez, J. (1995). *Manual de mini y micro centrales hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos*. Lima, Perú.

Santos, J. 2008. *Fuentes de Energía No Renovables: El Carbón*.

Secretaría de Energía de la República de Argentina, 2004. *Energías Renovables – Energía Biomasa*.

SIMEC, *Sistema de Información Minero Energético Colombiano*, 2015.

Sierra R, A., 2013. *Obtención de biogás a partir de gallinaza producida en la granja Bellavista-Horizonte a servicio de Incubadora Santander*. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Solano H, A. & Mendoza J, C., 2014. Caracterización de los residuos de cultivos agrícolas de aguacate, arracacha, frijol, guayaba y piña producidos en Santander, Colombia. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Suárez Rodríguez, J. A. & Beatón Soler P. A. 2001. Propiedades físicas y aerodinámicas de la cascara de arroz. Tecnología Química, 21, 2, 84.

Téllez R, S. & Vega, B, J., 2012. Digestión anaerobia del mucílago de café utilizando estiércol bobino como inóculo. Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Torres Quintero, E. (2013). Investigación en pequeñas centrales en Colombia. Universidad Libre. Bogotá.

UPME. (2010). Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Bogotá.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Cobertura de Energía Eléctrica a 2012.

UPME. (2015). Guía para elaboración de un plan de energización rural sostenible. Bogotá.

UPME, & Pontificia Universidad Javeriana. (2015). Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia. Bogotá.

UPME. (2016). Plan De Energización Rural Sostenible para el Departamento de La Guajira . Ríohacha.

UPME. (2017). Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 - 2022, 157.

Retrieved from

[http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf).

Valverde, A., Sarria, B., Montegudo, J. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et technica* año XIII. Diciembre, 37, 255-260.

Venandy, R., & Andrés, C. 2012. Producción de biogás a partir del bagazo cervecero. Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Vélez, C., 2010. Limpieza de caña en seco y aprovechamiento de la materia extraña vegetal como combustible en Brasil. *Revista TECNICAÑA* No. 26.

Vélez, Andrés M; Vergara, Eliana., Barraza, William., Agudelo, Diana., (2013). Determinación de un modelo paramétrico para estimar la radiación solar. *Ingenium*. V7, 21, 11-17.

## Anexos

Anexo 1. Oferta energética del cultivo de plátano en Norte de Santander.

Municipio	Potencial Energético (TJ/año)	Densidad Energética (TJ/ha)	Densidad Energética (MJ/ha)	Oferta Energética (KWh/año)	Oferta Energética (GWh/año)
TIBÚ	33,2903	0,0275	27512,62	2.301.406,59	2,30
SARDINATA	30,7437	0,0216	21620,05	2.125.359,79	2,13
EL CARMEN	28,5510	0,0220	22013,08	1.973.771,84	1,97
EL ZULIA	26,9218	0,0329	32911,78	1.861.147,40	1,86
CHINÁCOTA	23,6718	0,0247	24683,83	1.636.467,32	1,64
CONVENCIÓN	22,1003	0,0239	23918,03	1.527.824,54	1,53
SAN CALIXTO	19,8705	0,0247	24683,83	1.373.676,94	1,37
TEORAMA	16,8138	0,0251	25095,23	1.162.363,91	1,16
CUCUTILLA	16,7027	0,0405	40540,60	1.154.684,97	1,15
OCAÑA	16,4600	0,0536	53615,65	1.137.905,06	1,14
ABREGO	16,0486	0,0341	34145,97	1.109.464,55	1,11
HACARI	13,4280	0,0242	24238,28	928.298,46	0,93
EL TARRA	8,5571	0,0329	32911,78	591.562,74	0,59
TOLEDO	8,1703	0,0242	24172,63	564.828,66	0,56
BOCHALEMA	7,2406	0,0329	32911,78	500.553,09	0,50
BUCARASICA	6,8559	0,0226	22626,85	473.961,21	0,47
LOURDES	5,2700	0,0123	12284,38	364.323,02	0,36
LABATECA	5,1096	0,0244	24447,63	353.231,21	0,35
DURANIA	5,0437	0,0113	11296,15	348.680,73	0,35
VILLA CARO	4,5459	0,0206	20569,86	314.267,71	0,31
LA ESPERANZA	2,7810	0,0267	26740,82	192.257,89	0,19
ARBOLEDAS	2,4684	0,0123	12341,92	170.643,10	0,17
SANTIAGO	2,0734	0,0247	24683,83	143.340,20	0,14
LA PLAYA	2,0611	0,0362	36159,65	142.486,99	0,14
CÚCUTA	2,0488	0,0247	24683,83	141.633,77	0,14
PAMPLONITA	1,1313	0,0198	19848,11	78.211,42	0,08
CHITAGÁ	0,9503	0,0288	28797,81	65.697,59	0,07
LOS PATIOS	0,9442	0,0350	34968,77	65.270,99	0,07
SAN CAYETANO	0,4924	0,0234	23449,64	34.043,30	0,03
VILLA DEL ROSARIO	0,2222	0,0247	24683,83	15.357,88	0,02
PUERTO SANTANDER	0,1975	0,0247	24683,83	13.651,45	0,01
TOTAL	330,7662	0,8170	817242,05	22866374,32	22,84

## Anexo 2. Oferta energética - cultivo de caña panelera - Norte de Santander.

Municipio	Potencial Energético (TJ/año)	Densidad Energética (TJ/ha)	Densidad Energética (MJ/ha)	Oferta Energética (KWh/año)	Oferta Energética (GWh/año)
CONVENCIÓN	28,7192	0,0143	14330,95	3.361.942,73	3,36
TOLEDO	12,6518	0,0119	11913,22	1.481.055,44	1,48
TEORAMA	9,5659	0,0107	10748,21	1.119.808,77	1,12
ARBOLEDAS	6,1623	0,0103	10270,51	721.374,94	0,72
CÚCUTA	5,6574	0,0182	18249,62	662.266,93	0,66
CUCUTILLA	3,5732	0,0093	9305,17	418.285,62	0,42
ABREGO	2,9546	0,0137	13678,54	345.868,53	0,35
LABATECA	2,5939	0,0139	13945,71	303.648,52	0,30
BOCHALEMA	2,1783	0,0091	9076,27	254.997,65	0,25
SAN CALIXTO	2,0063	0,0096	9553,97	234.866,26	0,23
GRAMALOTE	1,5155	0,0107	10748,21	177.407,91	0,18
CHINÁCOTA	1,4331	0,0096	9553,97	167.761,61	0,17
LOURDES	1,4140	0,0096	9553,97	165.524,79	0,17
HACARI	1,0127	0,0096	9553,97	118.551,54	0,12
CHITAGÁ	0,8599	0,0107	10748,21	100.656,97	0,10
RAGONVALIA	0,7452	0,0104	10350,13	87.236,04	0,09
BUCARASICA	0,6793	0,0086	8598,57	79.519,00	0,08
SALAZAR	0,6592	0,0092	9155,88	77.170,34	0,08
OCAÑA	0,6401	0,0096	9553,97	74.933,52	0,07
SANTIAGO	0,6241	0,0093	9315,12	73.060,18	0,07
CACHIRA	0,4777	0,0096	9553,97	55.920,54	0,06
VILLA DEL ROSARIO	0,4299	0,0107	10748,21	50.328,48	0,05
DURANIA	0,3344	0,0119	11942,46	39.144,38	0,04
PAMPLONITA	0,2257	0,0103	10259,66	26.422,45	0,03
LOS PATIOS	0,0043	0,0107	10748,21	503,28	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>87,12</b>	<b>0,27</b>	<b>271456,68</b>	<b>10198256,42</b>	<b>10,20</b>

Anexo 3. Oferta energética del cultivo de café en Norte de Santander.

Municipio	Potencial Energético (TJ/año)	Densidad Energética (TJ/ha)	Densidad Energética (MJ/ha)	Oferta Energética (KWh/año)	Oferta Energética (GWh/año)
CONVENCIÓN	34,80	0,0203	20348,5	2.899.666,41	2,90
SALAZAR	28,45	0,0168	16816,5	2.371.123,74	2,37
ARBOLEDAS	28,26	0,0155	15467,1	2.354.860,89	2,35
SARDINATA	26,74	0,0175	17486,0	2.228.010,65	2,23
TOLEDO	25,51	0,0155	15543,4	2.125.554,68	2,13
CUCUTILLA	25,00	0,0174	17421,1	2.083.271,27	2,08
EL CARMEN	24,36	0,0211	21105,1	2.029.603,86	2,03
CACHIRA	21,86	0,0205	20484,8	1.821.439,36	1,82
LOURDES	20,63	0,0163	16268,0	1.718.983,40	1,72
EL ZULIA	18,05	0,0196	19578,9	1.504.313,76	1,50
BUCARASICA	17,99	0,0166	16645,0	1.499.434,90	1,50
LABATECA	17,41	0,0153	15283,4	1.450.646,35	1,45
GRAMALOTE	17,08	0,0147	14695,3	1.422.999,50	1,42
HACARI	15,48	0,0193	19320,5	1.289.644,12	1,29
OCAÑA	14,85	0,0203	20288,6	1.237.602,99	1,24
DURANIA	11,26	0,0160	15972,2	938.366,53	0,94
TEORAMA	8,08	0,0212	21205,7	673.282,05	0,67
BOCHALEMA	7,88	0,0163	16323,5	657.019,20	0,66
ABREGO	7,75	0,0174	17410,4	645.635,20	0,65
CHINÁCOTA	7,01	0,0161	16142,9	583.836,37	0,58
VILLA CARO	6,09	0,0162	16150,7	507.400,96	0,51
RAGONVALIA	5,60	0,0153	15303,1	466.743,84	0,47
PAMPLONITA	4,76	0,0128	12834,9	396.813,57	0,40
LA ESPERANZA	4,23	0,0222	22172,0	352.903,88	0,35
SANTIAGO	3,86	0,0141	14051,1	322.004,46	0,32
LA PLAYA	3,40	0,0200	19974,6	282.973,61	0,28
CHITAGÁ	3,28	0,0179	17915,8	273.215,90	0,27
LOS PATIOS	2,34	0,0167	16727,5	195.154,22	0,20
HERRÁN	2,24	0,0167	16748,3	187.022,79	0,19
VILLA DEL ROSARIO	1,33	0,0102	10208,1	110.587,39	0,11
SAN CAYETANO	0,80	0,0104	10391,3	66.677,69	0,07
PAMPLONA	0,35	0,0088	8781,9	29.273,13	0,03
CÁCOTA	0,14	0,0228	22768,0	11.384,00	0,01
EL TARRA	0,04	0,0098	9757,7	3.252,57	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>416,91</b>	<b>0,57</b>	<b>567591,90</b>	<b>34740703,24</b>	<b>34,74</b>

**Anexo 4.** Oferta energética de la producción bovina en Norte de Santander.

<b>Municipio</b>	<b>Potencial Energético (TJ/año)</b>	<b>Densidad Energética (TJ/ha)</b>	<b>Densidad Energética (MJ/ha)</b>	<b>Oferta Energética (KWh/año)</b>	<b>Oferta Energética (GWh/año)</b>
CÚCUTA	31,2440	0,000417	416,6	2.603.662,76	2,60
ABREGO	31,2440	0,001216	1215,9	2.603.662,76	2,60
TIBÚ	23,7113	0,000424	423,7	1.975.938,62	1,98
SARDINATA	15,5182	0,000344	344,1	1.293.185,31	1,29
SANTIAGO	15,5182	0,001399	1399,3	1.293.185,31	1,29
TOLEDO	15,4105	0,000324	324,4	1.284.204,85	1,28
EL ZULIA	10,3644	0,000339	339,5	863.699,89	0,86
CACHIRA	10,3644	0,000414	413,7	863.699,89	0,86
EL TARRA	6,5318	0,000242	241,9	544.320,57	0,54
SALAZAR	6,2624	0,000317	317,0	521.869,44	0,52
OCAÑA	5,3631	0,000238	237,5	446.920,87	0,45
CHINÁCOTA	5,2839	0,000424	424,4	440.328,83	0,44
CHITAGÁ	5,1699	0,000295	294,8	430.822,93	0,43
VILLA CARO	4,6494	0,000332	331,5	387.449,25	0,39
LABATECA	4,5084	0,000469	469,2	375.698,23	0,38
PAMPLONA	4,3376	0,000365	365,0	361.463,25	0,36
SILOS	3,9409	0,000433	433,0	328.407,54	0,33
DURANIA	3,7752	0,000314	313,7	314.602,48	0,31
ARBOLEDAS	3,7632	0,000257	257,4	313.599,35	0,31
PAMPLONITA	3,4491	0,000302	302,0	287.422,28	0,29
MUTISCUA	3,1733	0,000484	483,6	264.445,70	0,26
GRAMALOTE	3,1172	0,000320	320,2	259.764,39	0,26
RAGOVALIA	2,9882	0,000327	327,0	249.016,51	0,25
CUCUTILLA	2,8472	0,000286	285,9	237.265,49	0,24
PUERTO SANTANDER	2,8208	0,000855	854,8	235.068,15	0,24
EL CARMEN	2,8208	0,000271	270,8	235.068,15	0,24
BOCHALEMA	2,7348	0,000271	271,3	227.902,89	0,23
TEORAMA	2,3181	0,000204	204,3	193.175,29	0,19
VILLA DEL ROSARIO	2,2304	0,000159	159,0	185.866,73	0,19
LA ESPERANZA	2,2304	0,000022	22,4	185.866,73	0,19
HERRÁN	2,1639	0,000476	475,8	180.325,60	0,18
CÁCOTA	2,0160	0,000250	250,1	168.001,36	0,17
SAN CALIXTO	1,8939	0,000286	286,1	157.826,69	0,16
LOURDES	1,8097	0,000274	273,5	150.804,74	0,15
LA PLAYA	1,6933	0,000284	284,3	141.107,76	0,14
BUCARASICA	1,3683	0,000273	273,5	114.023,10	0,11
LOS PATIOS	1,0610	0,000249	248,8	88.419,25	0,09

<b>Municipio</b>	<b>Potencial Energético (TJ/año)</b>	<b>Densidad Energética (TJ/ha)</b>	<b>Densidad Energética (MJ/ha)</b>	<b>Oferta Energética (KWh/año)</b>	<b>Oferta Energética (GWh/año)</b>
CONVENCIÓN	1,0610	0,000124	123,8	88.419,25	0,09
SAN CAYETANO	0,7372	0,000218	217,8	61.430,12	0,06
HACARI	0,7372	0,000078	78,0	61.430,12	0,06
<b>TOTAL</b>	<b>252,23</b>	<b>0,01</b>	<b>14575,60</b>	<b>21019372,43</b>	<b>21,01</b>