



Universidad de Nariño

INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



IPSE
Instituto de planificación y promoción
de Soluciones Energéticas para las
zonas No Interconectadas

OFERTA DE RECURSOS APROVECHABLES EN FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO



pers
Nariño

Plan de Energización Rural Sostenible

OFERTA DE RECURSOS APROVECHABLES EN FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

AUTORES:

José Alonso Orbes Lasso

Ing. Electrónico

Wilson Alexander Vallejo Coral

Ing. Electrónico

ASESOR:

Darío Fernando Fajardo Fajardo

Ing. Electrónico, MSc. Automatización Industrial

Docente

Universidad de Nariño

COMPILACIÓN:

Andrés Darío Pantoja Bucheli

Ing. Electrónico, MSc., Doctor en Ingeniería

Docente

Universidad de Nariño

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PERS-Nariño

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

UPME

USAID

IPSE

San Juan de Pasto – Nariño

Colombia

2014

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR	6
2.1.	Subregión Río Mayo.....	6
2.2.	Subregiones Centro y Occidente.....	8
2.3.	Subregiones Exprovincia de Obando y Sabana.....	9
2.4.	Comparación, Zonificación e Identificación de Potencial	12
3.	POTENCIAL DE ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	15
3.1.	Volcán Azufral	15
3.2.	Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.....	17
3.2.1.	Antecedentes	17
3.2.2.	Localización del proyecto	18
3.2.3.	Estudios de Prefactibilidad	18
3.2.4.	Etapas futuras	18
3.3.	Potencial de Manantiales.....	19
3.4.	Zonificación e Identificación de Potencial	20
4.	POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA EN NARIÑO.....	22
4.1.	Subregión Centro	22
4.2.	Subregión Exprovincia de Obando	25
4.3.	Subregión del Pacífico Sur	26
4.4.	Comparación, Zonificación y Potencial Eólico.....	28
5.	POTENCIAL DE ENERGÍA DE LA BIOMASA	31
5.1.	Indicadores Agrícolas	31
5.1.1.	Cultivos transitorios	31
5.1.2.	Cultivos anuales	33
5.1.3.	Cultivos permanentes	35
5.1.4.	Análisis de los cultivos.....	36
5.1.5.	Pastos	38
5.2.	Indicadores Pecuarios	40
5.2.1.	Ganadería	40
5.2.2.	Especies menores	41
5.2.3.	Análisis de los residuos animales	47
5.3.	Residuos sólidos urbanos (RSU).....	48
5.4.	Zonificación y Potencial Energético de Biomasa.....	50
6.	APLICACIONES EXITOSAS EN NARIÑO.....	54
7.	BIBLIOGRAFIA.....	56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones meteorológicas	6
Tabla 2. Promedio diario de brillo solar en las estaciones meteorológicas.....	12
Tabla 3. Manantiales identificados en el departamento de Nariño	19
Tabla 4. Estaciones meteorológicas para energía eólica	22
Tabla 5. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de enero	27
Tabla 6. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de junio.....	28
Tabla 7. Promedio anual de la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas	28
Tabla 8. Área sembrada de cultivos transitorios en las 13 subregiones	31
Tabla 9. Densidad de cultivos transitorios.....	33
Tabla 10. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones	33
Tabla 11. Densidad de cultivos anuales.....	34
Tabla 12. Área sembrada de cultivos permanentes en las 13 subregiones.....	35
Tabla 13. Densidad de cultivos permanentes	36
Tabla 14. Productos y sus residuos	36
Tabla 15. Productos agrícolas para la generación de biocombustible.....	37
Tabla 16. Residuos agrícolas para la generación de energía	37
Tabla 17. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones	38
Tabla 18. Densidad de cultivos de pasto	39
Tabla 19. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones.....	40
Tabla 20. Densidad de ganadería.....	41
Tabla 21. Número de gallinas en las 13 subregiones.....	42
Tabla 22. Densidad de gallinas.....	43
Tabla 23. Número de cuyes en las 13 subregiones	43
Tabla 24. Densidad de cuyes	44
Tabla 25. Número de cerdos en las 13 subregiones	45
Tabla 26. Densidad de porcinos	46
Tabla 27. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones	46
Tabla 28. Densidad de ovinos y caprinos	47
Tabla 29. Producción de biogás con estiércol.....	48
Tabla 30. Residuos sólidos urbanos en las 13 subregiones.....	49
Tabla 31. Densidad de RSU	50
Tabla 32. Resumen de las experiencias exitosas en generación de energía en el departamento de Nariño	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Brillo Solar en la subregión Río Mayo	7
Figura 2. Temperatura máxima en la subregión Río Mayo.....	7
Figura 3. Brillo Solar en las subregiones Centro y Occidente	8
Figura 4. Temperatura máxima en las subregiones Centro y Occidente	9
Figura 5. Brillo Solar en la subregión Exprovincia de Obando	10
Figura 6. Temperatura máxima en la subregión Exprovincia de Obando	10
Figura 7. Brillo Solar en las subregiones Exprovincia de Obando y Sabana	11
Figura 8. Temperatura máxima en las subregiones Exprovincia y Sabana	11
Figura 9. Mapa del Potencial de energía solar en el departamento de Nariño	14
Figura 10. Mapa del Potencial de energía geotérmica en el departamento de Nariño	21
Figura 11. Velocidad del viento en las tres estaciones de la subregión Centro.	23
Figura 12. Rosa de vientos en la estación sinóptica del aeropuerto Antonio Nariño	24
Figura 13. Velocidad del viento en la estación Aeropuerto San Luis	25
Figura 14. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes de enero	26
Figura 15. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes de junio.....	27
Figura 16. Mapa del Potencial de energía eólica en el departamento de Nariño.....	30
Figura 17. Área sembrada de cultivos transitorios en las 13 subregiones.....	32
Figura 18. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones.....	34
Figura 19. Área sembrada de cultivos permanentes en las 13 subregiones.....	35
Figura 20. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones	39
Figura 21. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones.....	41
Figura 22. Número de gallinas en las 13 subregiones	42
Figura 23. Número de cuyes en las 13 subregiones	44
Figura 24. Número de cerdos en las 13 subregiones.....	45
Figura 25. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones	47
Figura 26. RSU en las 13 subregiones	49
Figura 27. Mapa del Potencial de biomasa agrícola en el departamento de Nariño	51
Figura 28. Mapa del Potencial de biomasa pecuaria en el departamento de Nariño	52
Figura 29. Mapa del Potencial de RSU en el departamento de Nariño	53

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la oferta energética en el departamento de Nariño, así como su posible uso en fuentes no convencionales de energía, es uno de los principales aspectos al proponer un plan de energización de las zonas rurales. Estas regiones, que en su mayoría son apartadas y no interconectadas, tienen una alternativa interesante al evaluar el recurso local y por lo tanto el uso de nuevas fuentes.

La oferta de energía eléctrica está claramente identificada en el sector eléctrico colombiano con base en la amplia experiencia e información que reposan en las instituciones de planeación. Es así como documentos como los Planes Indicativos de Extensión de Cobertura de Energía Eléctrica (PIEC 2013-2017), determinan la línea base para la propuesta de universalización de este servicio basado en los reportes de los operadores de red. Por otra parte, el IPSE por medio de sus bases de datos y el centro nacional de monitoreo tiene identificadas las poblaciones de las zonas no interconectadas (ZNI) en donde se presta el servicio por medio de grupos electrógenos basados en diésel

Por estas razones, en este documento se presenta un análisis de los recursos aprovechables por fuentes no convencionales de energía (FNCE) tales como la solar, geotérmica, eólica y de biomasa, que han sido exploradas en forma general en estudios a nivel del país, y con muy poco detalle a nivel regional. La información recopilada para este propósito hace parte de diferentes fuentes como el plan departamental de desarrollo, bases de datos de estaciones meteorológicas, estudios especializados y reportes regionales de cuentas departamentales.

Un aporte que se destaca como resultado de este trabajo es la metodología de zonificación por subregiones para identificar de forma más puntual el potencial energético en el departamento. Esta metodología propone unas pautas iniciales a la hora de emprender una exploración de este tipo ya sea para una región en particular o para el análisis de datos específicos que se puedan adquirir para localidades específicas.

Es también de resaltar la clasificación y ordenamiento de los datos que se obtienen en la exploración bibliográfica sobre estudios en fuentes no convencionales que generan una visión amplia del potencial de cada fuente para su respectivo análisis. Un ejemplo de esto está en las tablas y mapas con indicadores, solar, eólico, geotérmico y de biomasa que sirven como una herramienta guía para establecer los potenciales en una zona.

En resumen, en este documento se explora el potencial solar, geotérmico, eólico y de biomasa con base en datos reportados en diferentes fuentes. Para cada uno de los potenciales se propone una metodología de zonificación a nivel de subregión y una comparación de las subregiones o puntos más atractivos para el uso de cada tipo de potencial.

En el proceso de recolección de información, especialmente sobre potencial solar y eólico, se evidencia que los datos disponibles no son representativos y no se puede establecer una microzonificación para identificar puntos específicos con gran potencial. Por lo tanto, en esta metodología solo se plantea una estructura que debe nutrirse con datos estimados con alta resolución (e.g., interpolaciones con bases de datos mundiales) o con mediciones confiables a nivel local con equipos avalados o calibrados en instituciones acreditadas.

2. POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR

Aunque la información oficial sobre radiación solar en el departamento se encuentra en el Atlas de Radiación Solar de Colombia¹, con los mapas en este atlas no es posible realizar una zonificación para obtener información particular para cada subregión de Nariño. Sin embargo, al analizar los datos de las estaciones meteorológicas instaladas en el departamento, se puede estimar el comportamiento de este recurso en cada subregión. En el proyecto “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”², se presenta información de las estaciones implementadas que tienen datos sobre horas de brillo solar mensual en el año 2006. La Tabla 1 muestra las 10 estaciones y su ubicación por municipio.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas

No.	Estación Meteorológica	Ubicación Municipio
1	Los Milagros	Bolívar – Cauca
2	San Bernardo	San Bernardo
3	Aeropuerto Antonio Nariño	Chachagüí
4	Bombona	Consacá
5	Sindagua	Tangua
6	Obonuco	Pasto
7	El Encano	Pasto
8	Aeropuerto San Luis	Aldana
9	Monopamba	Puerres
10	El Paraíso	Túquerres

Fuente: UDENAR – Corponariño, 2007.

Analizando los datos de cada estación meteorológica, se encuentran puntos con recursos interesantes para el desarrollo de proyectos. A continuación se resumen la cantidad de horas de brillo solar y temperatura en las estaciones mencionadas y su relación con cada subregión de acuerdo a su ubicación.

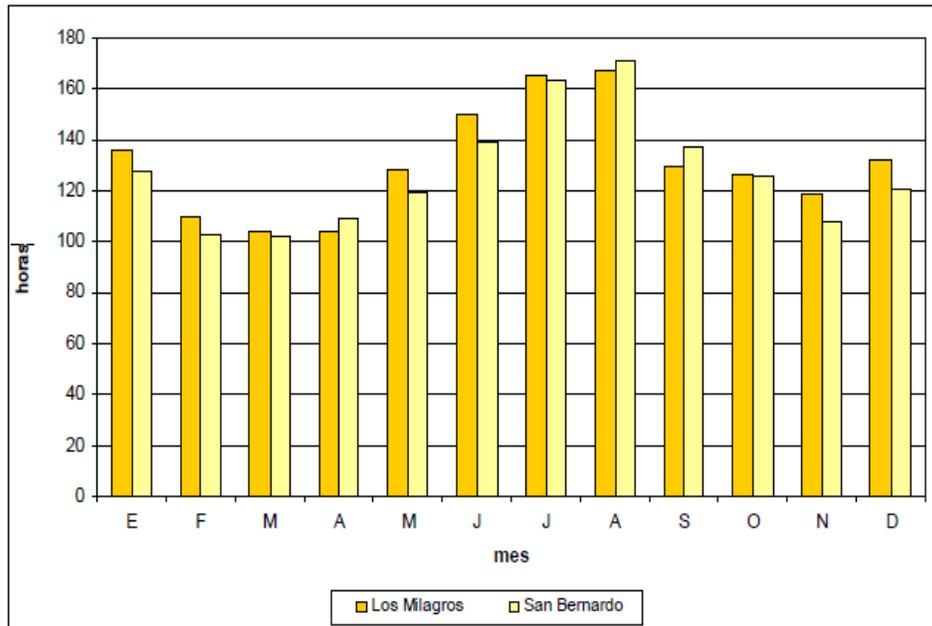
2.1. Subregión Río Mayo.

En esta subregión se ubican las estaciones meteorológicas 1 y 2. En la Figura 1 se muestran las horas de brillo solar para cada uno de los meses del año 2006. Esta información indica que existen dos períodos de mayor insolación directa que se presentan entre los meses de junio a agosto y diciembre a enero; así como dos períodos de menor brillo solar entre los meses de febrero a abril y octubre a noviembre. La Figura 2 muestra las máximas temperaturas para los meses del mismo año en las dos estaciones.

¹ UPME, IDEAM. Atlas de Radiación Solar en Colombia, Bogotá, 2005. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Home/EnergiaSolar/tabid/74/language/en-US/Default.aspx>

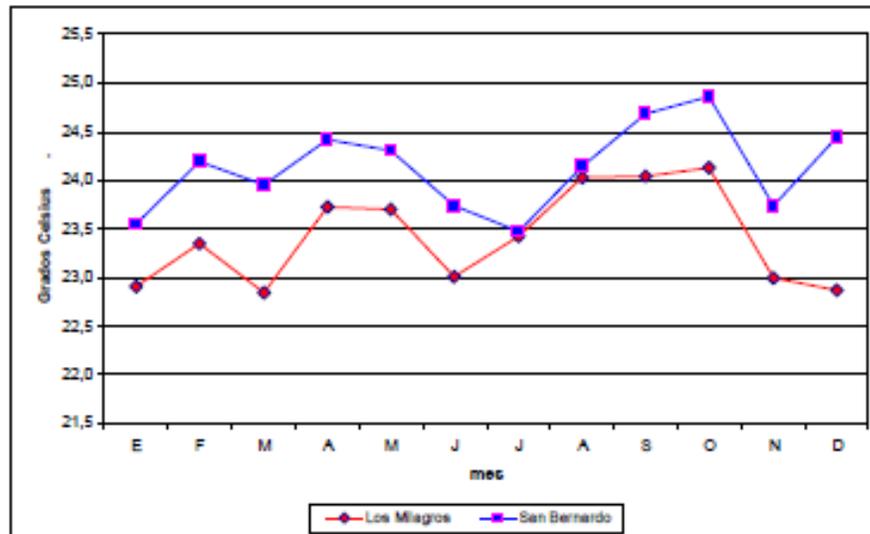
² Universidad de Nariño, Corponariño. Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. Tomo II: Características biofísicas de los páramos de Nariño. San Juan de Pasto, Febrero de 2007. Disponible en: <http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo02caracteristicasbiofisicas.pdf>

Figura 1. Brillo Solar en la subregión Río Mayo



Fuente: IDEAM, 2006.

Figura 2. Temperatura máxima en la subregión Río Mayo



Fuente: IDEAM, 2006.

Es interesante observar que no existe correspondencia entre el comportamiento del brillo solar y las temperaturas máximas que es debido a que en los meses de mayor insolación se presentan fuertes vientos durante el día que generan un efecto de refrigeración en el aire.

Por otro lado, hacia el sur del cerro Juanoy, el IDEAM sostiene que la mayor energía radiante se recibe a finales y principios de año, de forma inversa a lo que sucede en el

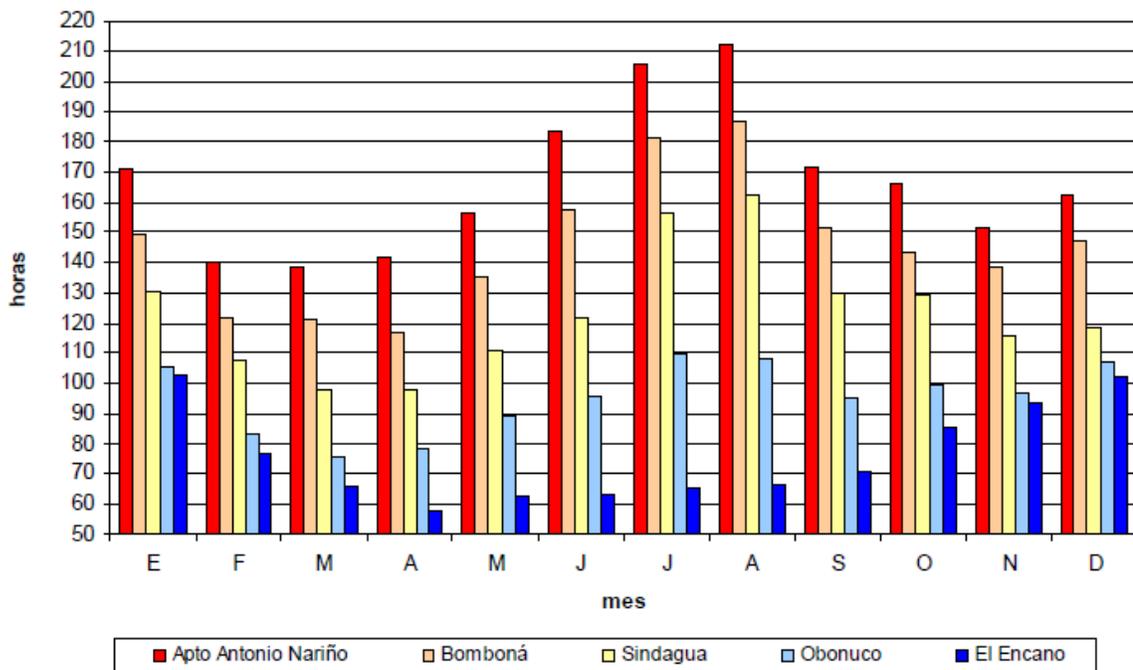
flanco occidental de la cordillera³.

2.2. Subregiones Centro y Occidente

En estas subregiones se caracterizan con las estaciones ubicadas en el Aeropuerto Antonio Nariño en Chachagüí, Bombona en Consacá, Sindagua en Tangua, Obonuco y El Encano en Pasto suministrando información que se registra en la Figura 3 y Figura 4. Se observa, que existen dos períodos de mayor insolación directa que se presentan entre los meses de junio a agosto y diciembre a enero; así como dos períodos de menor brillo solar entre los meses de febrero a abril y octubre a noviembre y parte de diciembre.

La distribución intermensual de brillo solar en la estación meteorológica El Encano muestra valores significativamente más bajos que los de otras estaciones. De hecho, solo enero y diciembre superan las 100 horas mensuales de brillo solar, es decir, que en los meses de mayor radiación solar directa, ésta no supera las tres horas y cuarto de brillo durante un día.

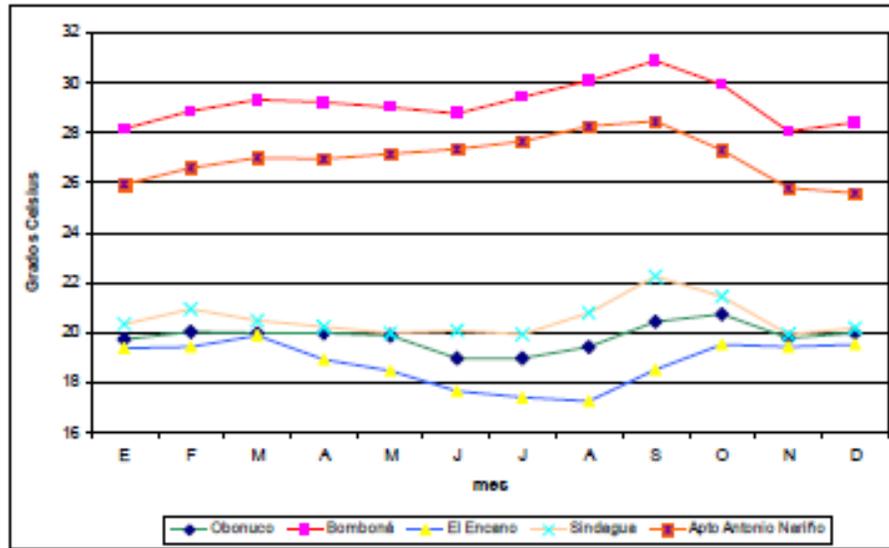
Figura 3. Brillo Solar en las subregiones Centro y Occidente



Fuente: IDEAM, 2006.

³Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corponariño, Corporación Autónoma Regional del Cauca, Corpoamazonía e IDEAM. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental del complejo volcánico Doña Juana, Cerro Juanoy y su área de influencia. Tomo II. Bogotá, 2003. p. 276.

Figura 4. Temperatura máxima en las subregiones Centro y Occidente



Fuente: IDEAM, 2006.

En relación con la temperatura máxima, los mayores valores de este parámetro se presentan hacia los meses agosto, septiembre y octubre, es decir uno a dos meses después que cuando se presentan los picos máximos de brillo solar.

Analizando esta información, Chachagüí y Consacá son dos municipios con radiaciones solares y temperaturas relativamente altas y con tendencias coincidentes, en comparación con las otras estaciones de las subregiones. Con base en la información de la población de estos municipios, es factible la implementación de iniciativas solares en los meses de mayor radiación, que en general exceden el promedio multianual presentado por los mapas nacionales.

2.3. Subregiones Exprovincia de Obando y Sabana

En estas subregiones se ubican las estaciones del Aeropuerto San Luis en Aldana, Monopamba en Puerres y El Paraíso en Túquerres.

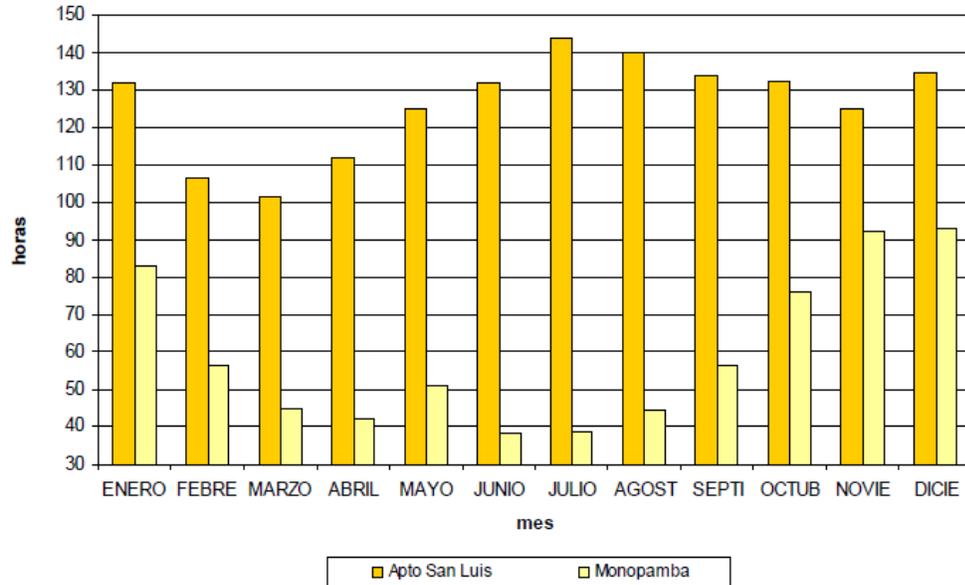
Observando los datos de la Figura 5 y Figura 6, la estación del aeropuerto San Luis indica que existen dos períodos de mayor insolación directa que se presentan entre los meses de junio a septiembre y diciembre a enero, así como un período de menor brillo solar entre los meses de febrero a abril.

Para Monopamba, la distribución intermensual del brillo solar es distinta debido a su localización, razón por la que los valores más bajos de este parámetro se presentan desde el mes de febrero y se extienden hasta septiembre. Solo en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, se observa un leve incremento en la cantidad de horas con sol despejado. No obstante, en esta estación se encuentran los valores más bajos de brillo solar en comparación con otras estaciones revisadas a nivel departamental. En ésta, los máximos valores de brillo no superan las 90 horas mensuales, es decir, que en los meses de mayor insolación no se superan las 3 horas diarias de sol despejado, y al contrario, existen meses como junio y julio cuando hay menos de 40 horas mensuales de radiación

solar directa (estos días no se presenta más de una hora de sol despejado).

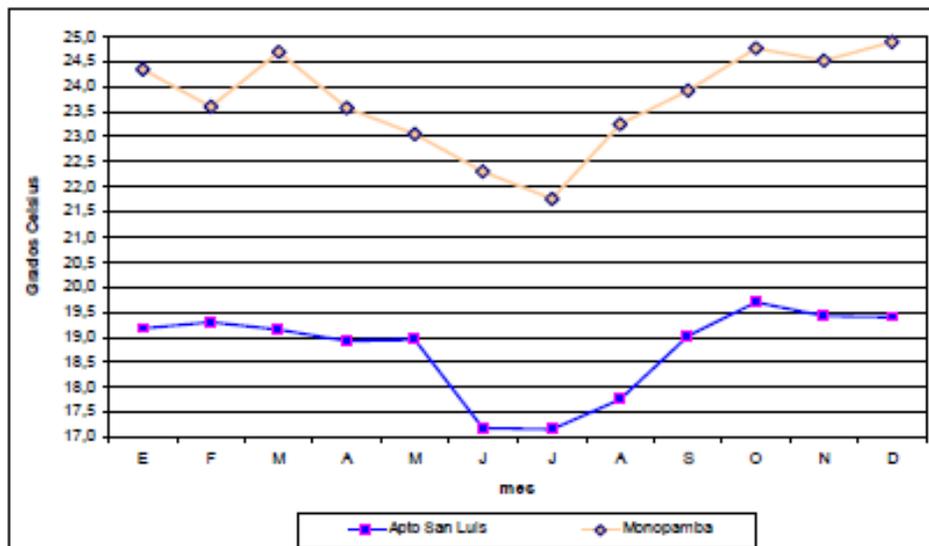
Se puede analizar en la estación del aeropuerto de San Luis que cuando la temperatura máxima presenta su menor valor en los meses de junio, julio y agosto, el promedio de horas diarias de brillo solar (4,5) es el máximo valor que presenta la estación. En la estación de Monopamba la relación de brillo solar con temperatura máxima es proporcional excepto en el mes de marzo que la relación es inversa.

Figura 5. Brillo Solar en la subregión Exprovincia de Obando



Fuente: IDEAM, 2006.

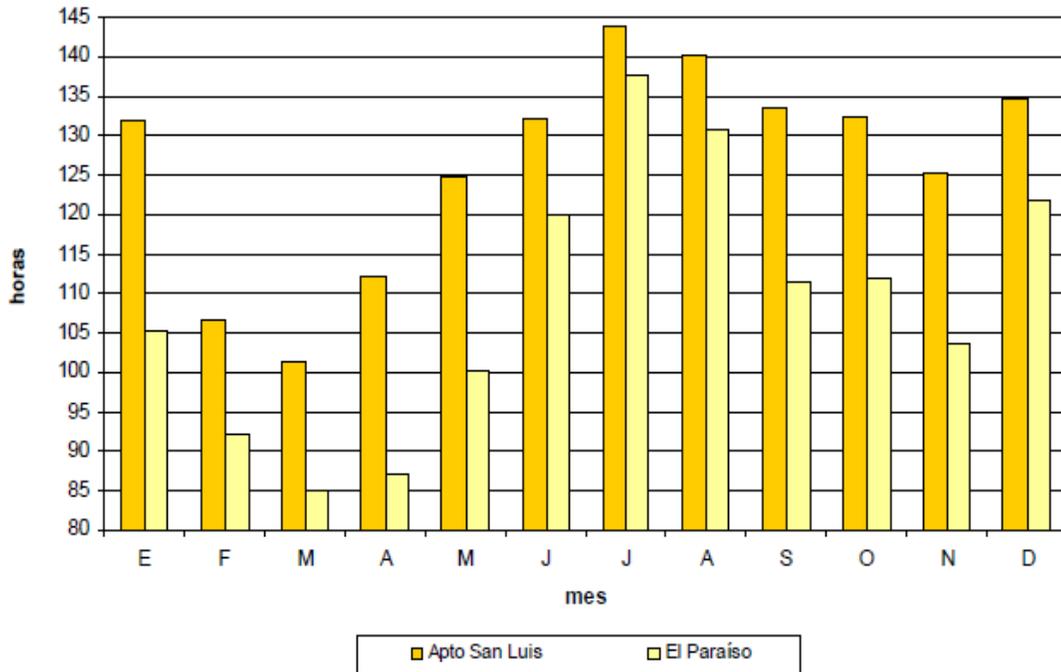
Figura 6. Temperatura máxima en la subregión Exprovincia de Obando



Fuente: IDEAM, 2006.

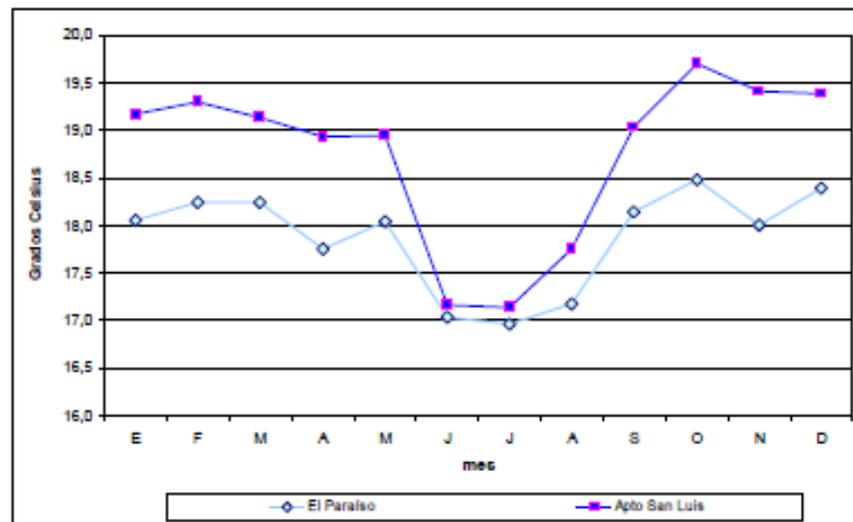
Comparando dos subregiones similares (Exprovincia y Sabana), en la Figura 7 y Figura 8 se presenta el comportamiento de la estación de San Luis en Aldana y El Paraíso en Túquerres. Se observan dos períodos de mayor insolación directa que se presentan entre los meses de junio a octubre y diciembre a enero, mientras que el menor brillo solar se presenta en el periodo comprendido entre los meses de febrero y abril.

Figura 7. Brillo Solar en las subregiones Exprovincia de Obando y Sabana



Fuente: IDEAM, 2006.

Figura 8. Temperatura máxima en las subregiones Exprovincia y Sabana



Fuente: IDEAM, 2006.

En relación con la temperatura máxima, cuando presentan los menores valores en los meses de junio, julio y agosto, el brillo solar obtiene su mayor valor.

2.4. Comparación, Zonificación e Identificación de Potencial

Una comparación entre los brillos solares medidos en cada una de las estaciones puede obtenerse calculando el promedio diario de horas de brillo durante todo el año, como se muestra en la Tabla 2

Tabla 2. Promedio diario de brillo solar en las estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	Promedio diario de brillo solar (horas)
Los Milagros	4,29
San Bernardo	4,12
Aeropuerto Antonio Nariño	5,48
Bombona	4,81
Sindagua	4,06
Obonuco	3,15
El Encano	2,48
Aeropuerto San Luis	4,15
Monopamba	1,96
El Paraíso	3,59

Fuente: Elaboración propia con datos de Udenar – Corponariño, 2007.

En la estación meteorológica de Monopamba ubicada al oriente del municipio de Puerres, se presenta el menor promedio diario de brillo solar (1,96 horas). De igual manera, la estación de El Encano (2.48 horas) tiene muy bajo brillo. Estas son las zonas de menor potencial aprovechable en energía fotovoltaica.

La estación del Aeropuerto Antonio Nariño ubicada en Chachagüí presenta el mayor promedio (5,48 horas), seguida por la estación de Bomboná en Consacá (4.81 horas). Esto indica un potencial interesante al menos en las zonas aledañas a las estaciones mencionadas.

Dado que no existen más registros de estaciones instaladas en el departamento, no se puede inferir información de brillo solar para las demás subregiones.

Con base en la información disponible, se realizó el siguiente procedimiento para la zonificación del departamento teniendo en cuenta el recurso fotovoltaico.

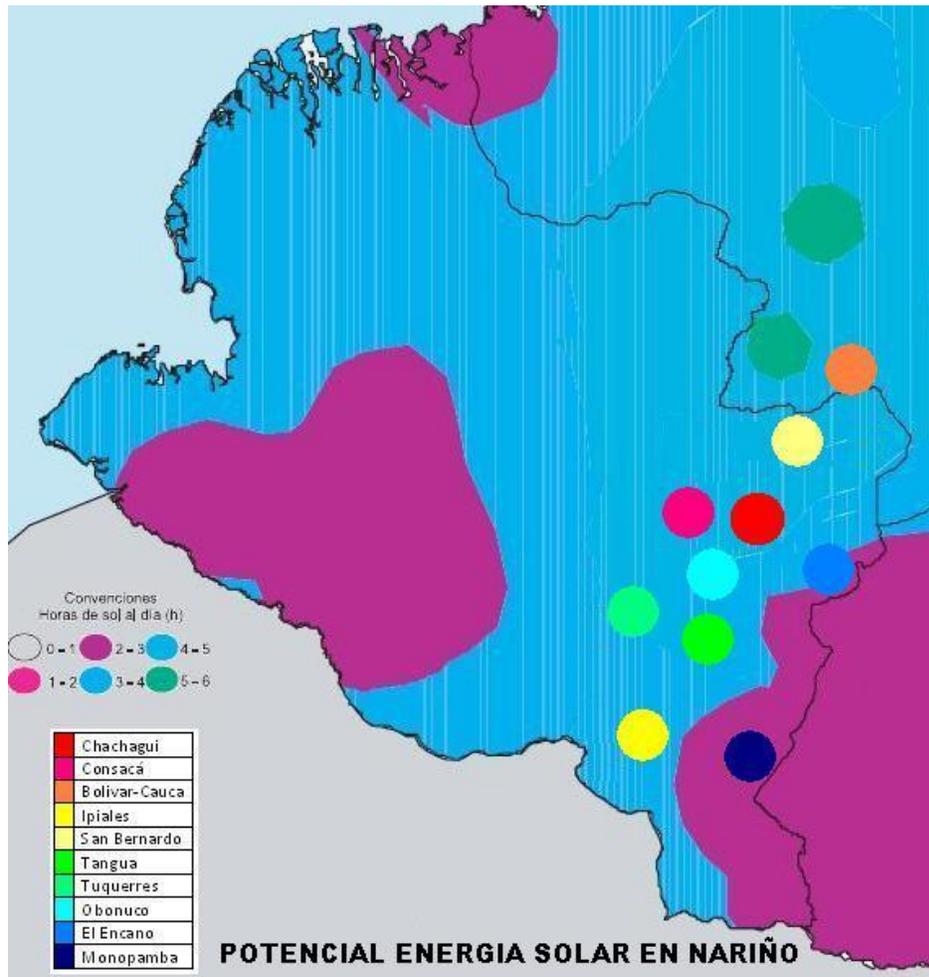
- Búsqueda de datos de radiación y brillo solar en la base de datos de la UPME (disponible en www.si3ea.gov.co) en donde se encuentra el Atlas de Radiación Solar del territorio Colombiano.
- Recolección de datos de las estaciones meteorológicas que se encuentran en el

departamento. Aunque el IDEAM tiene los datos disponibles de cada una de las estaciones, la recopilación de datos tiene tres inconvenientes. Primero, existen muy pocos puntos de medición que pudieran servir para realizar interpolaciones o estimaciones en puntos alejados. Segundo, las bases de datos no están disponibles libremente (para éste estudio se tomaron los datos del proyecto “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”). Si bien, el costo de los datos mensuales no es elevado, adquirir todos los datos multianuales de todas las estaciones requiere una inversión generalmente no contemplada en los proyectos comunitarios. Finalmente, las bases de datos no se encuentran en formatos estándar o totalmente digitalizadas.

- Mediante el Mapa del Promedio multianual de brillo solar que se encuentra en el Atlas de Radiación Solar suministrado por la UPME, se identifican los niveles de brillo solar en el departamento (Nariño cuenta con 3 niveles de brillo solar que se representan con los colores: verde de 5 a 6 horas de brillo solar al día, azul de 3 a 5 horas y violeta de 2 a 3 horas).
- Obtener el promedio diario de horas de brillo solar para cada estación meteorológica del departamento.
- Clasificar y analizar los niveles (para la evaluación del potencial solar en Nariño, se descarta el nivel violeta, debido a que de 2 a 3 horas de brillo solar diario no representan un potencial favorable. Sin embargo, se estima que los sistemas fotovoltaicos tendrían un desempeño aceptable en esas zonas ya que la radiación solar promedio en el departamento que es de 4,5 KWh/m²/día⁴).
- Recolección de datos de campo visitando lugares localizados en el nivel predominante (azul) que contengan aplicaciones implementadas con funcionamiento exitoso. Los datos a registrar son: Ubicación geográfica, elementos que conforman el sistema fotovoltaico, potencia generada y cargas de consumo.
- Relacionar los sitios visitados con el promedio diario de brillo solar de la estación meteorológica más cercana denominada estación referencia, con el fin de establecer el promedio diario de brillo solar con el que funcionan las aplicaciones.
- Se establece que las zonas con un valor promedio de brillo solar diario igual o mayor al de la estación referencia (4,1 horas) son potenciales en el nivel predominante. Las zonas con menor valor promedio de brillo solar al de la estación referencia se consideran zonas de aprovechamiento de la fuente solar.
- El territorio que comprende el nivel superior de promedio diario de brillo solar en el departamento se considera como un fuerte potencial de energía solares (En el departamento de Nariño es el verde con 5 -6 horas diarias de brillo solar).
- En la Figura 9 se muestra una adaptación del mapa de promedio multianual de brillo solar del Atlas, junto con la ubicación de las estaciones de medición. Los puntos fueron clasificados de mayor a menor en un código de colores iniciando con rojo y finalizando con azul oscuro, para indicar el grado de potencial de las regiones cercanas a las estaciones.

⁴ UPME, IDEAM. Atlas de Radiación Solar en Colombia, 2005.

Figura 9. Mapa del Potencial de energía solar en el departamento de Nariño



Fuente: Adaptado de UPME – IDEAM, 2005

3. POTENCIAL DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

La zona andina del departamento tiene 5 volcanes que ofrecen posibilidades de aprovechamiento geotérmico, no solo desde el punto de vista de grandes centrales (caso Chiles y Azufral) sino del uso de manantiales y corrientes casi superficiales. Según la identificación realizada por el sector eléctrico colombiano, las áreas que tienen mayor presencia de los elementos constitutivos de un sistema geotérmico de alta entalpia en el departamento son⁵:

Subregión Exprovincia de Obando. En esta subregión se localizan:

- El volcán Chiles - Cerro Negro: presentan rasgos de una fuente de calor relativamente cercana a la superficie, fuentes termales de interés y posible presencia de rocas en profundidad relacionadas con un reservorio geotérmico.
- El volcán Cumbal: aunque podría albergar un reservorio de interés en profundidad, a juzgar por su evolución magmática, no hay claridad sobre la presencia de una fuente de calor significativa.

Subregión Sabana. En esta subregión se encuentra el volcán Azufral que presenta un volcanismo de gran evolución, garantía de una fuente de calor significativa en profundidad y fuentes termales superficiales que indican la existencia de un reservorio geotérmico de alta temperatura probablemente cubierto por rocas que actuarían como cobertura impermeable.

Subregión Centro. Se ubica en esta subregión el volcán Galeras que presenta manifestaciones de termalidad media-baja, pero la limitada evolución en sus términos volcánicos se tiene dudas sobre su interés geotérmico.

Subregión Río Mayo. Se localiza el volcán Doña Juana que se caracteriza por presentar indicios de la presencia de una cámara magmática relacionada con la existencia de una fuente de calor significativa. Sin embargo, la presencia de un espeso basamento metamórfico por debajo de las vulcanitas sugiere que podría haber problema con la existencia de un reservorio geotérmico.

Con base en esta información, las principales fuentes potenciales de energía geotérmica en el departamento de Nariño se encuentran en los volcanes Azufral y Chiles – Cerro Negro – Tufiño. A continuación se detallan los avances en los estudios y proyectos desarrollados entorno a estas fuentes.

3.1. Volcán Azufral

Está localizado en la intersección de las tres grandes cordilleras (occidental, central y oriental), coincidiendo con la convergencia de un extenso sistema de fallas y un sistema local de fallas transversales. Las coordenadas geográficas del volcán Azufral y su campo

⁵ UPME, Unidad de planeación minero energética. Plan Preliminar de Expansión de Referencia: Generación - Transmisión 2011-2025.

geotermal asociado son 1° 05' N y 77° 43' W. La caldera en la cima del volcán está a una altura de 4.070 m.s.n.m., el complejo volcánico se localiza entre los municipios de Sapuyes, Túquerres, Santacruz y Mallama⁶.

El Azufral ha sido objeto de estudio en cuanto a reconocimiento y caracterización de los diferentes depósitos asociados al volcán⁷. De igual manera la cartografía detallada de vulcanitas ha sido definida para generar el “Mapa de amenaza volcánica del volcán Azufral”⁸.

En relación con el sistema geotérmico del volcán Azufral, la OLADE⁹ a partir de estudios vulcanológicos, petrológicos, geoquímicos e hidrológicos, define los siguientes elementos de interés geotérmico:

- Edad reciente y larga persistencia de la actividad volcánica en la zona (al menos 400.000 años).
- Evolución magmática completa, iniciando desde andesitas hasta riolitas (SiO₂ de 60 a 71,5%).
- Presencia de cráteres de explosión freática.
- Zonación hidrotermal, identificada a partir de xenolitos recolectados en flujos piroplásticos.

Entre los fragmentos líticos se encontraron asociaciones mineralógicas típicas de las zonas hidrotermales argílica, fílica y propilítica, con estratificación vertical, que permitió plantear un incremento de temperatura y pH con la profundidad.

A partir de la caracterización físico-química de las fuentes termales y fumarolas del volcán Azufral y de su distribución espacial, en un estudio de Ingeominas¹⁰ se formuló un modelo geoquímico preliminar, en el cuál se plantea la ocurrencia de un flujo ascendente hacia el occidente del cráter y un flujo lateral con dirección preferencial sureste del volcán. Del mismo modo se estima que la temperatura del reservorio oscila entre 180 y 250 °C, clasificando el sistema geotérmico del Azufral como un sistema de entalpía media a alta. La geología del Azufral y la geoquímica de las rocas del volcán son evidencias de una completa evolución prolongada en una estructura de caldera, indicando un volcán maduro

⁶ GÓMEZ, D. Modelamiento de reservorios magmáticos del Volcán Azufral (Departamento de Nariño). Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Bogotá D.C., 2012 Disponible en: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/8513/1/diegomauriciogomezmartinez.2012.pdf>>

⁷ BETANCUR T. & CORREA A. M. Estudio geológico de los depósitos piroclásticos proximales del volcán Azufral, Colombia. Tesis pregrado Facultad de Ciencias, Universidad Nacional. pp.171. Medellín. 1992.

⁸ CALVACHE, M., MONSALVE, M. &, TORRE, P. Informe preliminar Proyecto: Evaluación de Amenazas y Riesgos Volcánicos Volcán Azufral. INGEOMINAS, informe interno (inédito), pp 31, Pasto. 2000.

⁹ OLADE, Organización Latinoamericana de Energía. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Colombia, informe final. En: INGEOMINAS, 1985. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. (CEGOC) XXI, pp 455, 1982.

¹⁰ ALFARO, C. Geoquímica del Volcán Azufral. Informe Preliminar Segunda Versión. INGEOMINAS Bogotá, pp 24. 2001.

con unas generaciones de domos. La reciente intrusión de esos domos puede proveer tanto una fuente de calor y significativa permeabilidad dentro de la caldera, como evidencia en la ocurrencia de cráteres generados en las explosiones hidrotérmicas¹¹.

De esta manera, el volcán Azufral se convierte en un objetivo ideal para llevar a cabo estudios más detallados, poder determinar el verdadero potencial geotérmico y realizar una aplicación para la obtención de energía eléctrica y térmica. Los geotermómetros químicos indican temperaturas de 200 a 230 °C, para muestras recogidas en los materiales y descargas de gas. Estos indicativos sugieren la presencia de un activo sistema geotérmico en alguna parte dentro del Azufral¹² de acuerdo con la alteración hidrotermal superficial identificada y su distribución espacial.

3.2. Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.

3.2.1. Antecedentes

Décadas atrás (1983-1989) la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (ICEL) y el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) realizaron los estudios de reconocimiento y prefactibilidad del proyecto geotérmico Tufiño – Chiles – Cerro Negro. Estos estudios han sido retomados y existe la decisión por parte de Ecuador y Colombia de llevar adelante este proyecto que permitirá obtener energía de una forma limpia y renovable.

Los gobiernos de Ecuador y Colombia, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y del Ministerio de Minas y Energía, respectivamente, suscribieron en el mes de julio de 2010 un Acuerdo Binacional con el propósito de estudiar conjuntamente la viabilidad de desarrollar un proyecto de generación de energía eléctrica basado en el recurso geotérmico identificado en la frontera de ambos países.

Para el desarrollo del Acuerdo Binacional, las autoridades mencionadas designaron en Ecuador a la Corporación Eléctrica del Ecuador – CELEC EP- y en Colombia a ISAGEN. Las instituciones previamente señaladas, suscribieron en abril de 2011 un convenio específico junto con la Comunidad Andina de Naciones CAN con la finalidad de que este último organismo viabilice los procesos de contratación para la realización de los estudios de prefactibilidad técnica, ambiental y financiera del Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.

El 19 de enero de 2011, se suscribió una declaración presidencial conjunta entre Ecuador y Colombia en la que se acuerda conferir un mandato a ISAGEN para que sea la entidad que adelante los estudios y el desarrollo del proyecto.

Para llevar adelante los trabajos se cuenta con un fondo común en el que participan por partes iguales Colombia y Ecuador, acuerdo ratificado en la reunión de los presidentes de

¹¹ ALFARO, C., CARVAJAL, D., MOJICA, J., MOLANO, J., ROMERO, D. Contribución al Modelo Geotérmico del Volcán Azufral a partir de identificación de zonas de Alteración Hidrotermal. Geología Colombiana No. 33, pp. 99-108. Bogotá, Diciembre, 2008. Disponible en: <<http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/geociencias/revistageologia/gcolombiana33/8-Carvajal.pdf>>

¹² Ibid., pp. 106

Ecuador y Colombia celebrada en diciembre del año 2012, en donde los dos países confirmaron su voluntad de continuar con el impulso de este proyecto.

3.2.2. Localización del proyecto

El proyecto Tufiño – Chiles - Cerro Negro está ubicado en las Parroquias de Maldonado y Tufiño, del Cantón Tulcán en Ecuador y en el departamento Nariño en Colombia en la frontera entre estos dos países. La zona clave para los estudios técnicos excluye la Reserva Ecológica El Ángel que se encuentra al sur del prospecto.

3.2.3. Estudios de Prefactibilidad

Al momento se ha finalizado una consultoría para la revisión especializada de todos los estudios realizados para este prospecto y se identificaron trabajos y estudios complementarios que definirán el recurso de mejor manera. Los trabajos propuestos consisten en recolección de información de campo adicional, es decir muestreos de las principales fuentes termales para análisis químicos de aguas y gases y pruebas de geofísica para inferir en la composición del terreno en el subsuelo.

Luego de la integración de los nuevos estudios con los anteriores, se obtendrá un modelo geotérmico conceptual que indicará el lugar idóneo para realizar una perforación profunda de diámetro reducido (aproximadamente 1.500 m) para comprobar la existencia del recurso. Esta perforación no causa mayores impactos ambientales (no afecta acuíferos cercanos). Al momento se está iniciando el proceso de contratación de la consultora especializada que lleve a cabo esta etapa de prefactibilidad avanzada.

De manera adicional, está en proceso un contrato para levantamiento cartográfico de la zona y se está contratando una empresa consultora especializada para la difusión y socialización del proyecto.

En la etapa de prefactibilidad se ha previsto invertir alrededor de \$5.000.000 de dólares y se planifica tener los resultados en el año 2014. Sin embargo, los problemas con las comunidades indígenas de los territorios Colombianos han sido severos hasta el punto de negar rotundamente los permisos de estudios en la zona. Por este motivo, actualmente se encuentra el proyecto nuevamente en etapa de socialización con los cabildos de Chiles y Cumbal para poder obtener el aval preliminar y posterior realización de estudios sin perforación.

3.2.4. Etapas futuras

Si los estudios son positivos y se comprueba la existencia de un recurso de alta temperatura para generar electricidad, se deben realizar los estudios de factibilidad que comprobarán la capacidad de producción del recurso. Esta etapa requiere de una inversión de alrededor de 50 millones de dólares y tomará un tiempo de aproximadamente 2 años, previo consentimiento de la comunidad dentro del proceso de consulta previa con el apoyo del ministerio del interior.

Si la etapa de factibilidad es positiva se procederá con los diseños definitivos y el desarrollo de la central. Se ha considerado empezar con un aprovechamiento del recurso en 40 MW (presupuesto aproximado de 120 millones de dólares) que tomaría un tiempo aproximado de 3 años.

La ventaja de esta energía es que es amigable con el medio ambiente, es muy estable al no verse afectada por los cambios meteorológicos, y permite incluso aprovechar una parte del calor para utilizarlo en usos industriales o turísticos que favorecerán el desarrollo de las

comunidades aledañas.

La información del estado actual del Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles –Cerro Negro fue suministrada por el Ingeniero Marco Valencia Delgado¹³.

3.3. Potencial de Manantiales

Aunque el mayor potencial geotérmico se encuentra en los reservorios de vapor subterráneos a grandes profundidades, también se puede aprovechar la energía de los manantiales termales que en algunas ocasiones pueden proveer aguas cerca del punto de ebullición.

Aparte del conocido atractivo turístico, entre las principales aplicaciones energéticas de los manantiales se encuentran la calefacción y agua caliente domiciliaria, usos industriales para calderas y agua a bajas temperaturas (tinturado y secado de tejidos), calefacción en invernaderos de gran escala en agricultura y calefacción de aguas en estanques de piscicultura, entre otras¹⁴.

En el departamento de Nariño se han identificado varios nacimientos manantiales de aguas termales ubicados cerca de las zonas volcánicas de la región. En el reciente estudio del Servicio Geológico Colombiano denominado “Inventario Nacional de Manantiales Termales de Colombia”¹⁵, se especifican un total de 33 manantiales en la zona andina a alturas superiores a los 2100 msnm, y varios sobre los 3000 msnm. En estas regiones, la calefacción domiciliaria, para agricultura y piscicultura podría representar un aprovechamiento interesante del potencial geotérmico. En la Tabla 3 se muestra el detalle de los puntos identificados.

Tabla 3. Manantiales identificados en el departamento de Nariño

No.	Accidente Geográfico Asociado	Nombre	Municipio	Altitud (msnm)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Volcán Doña Juana	Tajumbina I	La Cruz	2350	1016358	665572
2		Tajumbina II	La Cruz	2340	1016394	665616
3		Animas	La Cruz	2480	1018545	665269
4		Churos	La Cruz	2530	1017681	664404
5		Aguas Tibias	El Tablón	2575	1012160	653188
6		La Vega (Saladito de las Mesas)	El Tablón	2340	1010361	653079
7	Volcán	Salado Guaices	Santacruz de Guachavez	2515	935104	620299
8		Salado Taquelán	Santacruz de Guachavez	2685	930385	620189
9		Tercán	Mallama	2550	924059	612674

¹³ VALENCIA DELGADO, Marco. Director de Planificación de la Expansión. CELEC EP, Corporación Eléctrica de Ecuador. 6 de marzo, 2013.

¹⁴ BARRERO, A., Energía Geotérmica y del Mar, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2012. Disponible en: <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos-energia-geotermica-y-del-mar.pdf>

¹⁵ ALFARO, C., ORTIZ, I., Inventario Nacional de Manantiales Termales de Colombia, Departamento de Nariño. Servicio Geológico Colombiano, Abril 2013.

10	Azufral	Chimangual	Mallama	3141	926849	609809
11		Laguna Verde I	Mallama	3685	928692	612133
12		Laguna Verde II	Mallama	3675	928527	612164
13		Salado de Malaver	Sapuyes	2761	937862	606207
14		La Cabaña	Guachucal	2982	934218	602110
15		San Ramón	Sapuyes	2939	931389	600347
16	Volcán Galeras	Fuente Blanca	Consacá	2220	964011	625331
17		Licamancha	Consacá	2327	964492	625297
18		Aguas Agrias	Pasto	2580	971899	630192
19		Briceño	Pasto	2029	973948	631900
20		Cehani	Pasto	2360	976597	627400
21		Club Guamuez	Pasto	2445	976368	627822
22		Merchacano	Pasto	2435	976505	627956
23		Pandiaco	Pasto	2440	976488	627974
24	Volcán Chiles, Rio Blanco	Termal del Rio	Cumbal	2345	897668	588766
25		Baños de Chiles 1	Cumbal	2181	912843	581012
26		Baños de Chiles 2	Cumbal	3198	912928	581027
27		Aguas Hediondas	Tufiño (Ecuador)	3480	908174	580987
28		Rio Blanco I	Cumbal	3750	904886	584774
29		Rio Blanco II	Cumbal	3745	904389	584779
30		Casateja (El Zapatero)	Cumbal	3079	917911	590814
31		Piscina El Cuetial	Cumbal	3049	918659	590350
32	Depresión cordilleras Occidental y Centro Oriental	Lajas	Ipiales	2620	943397	581190
33		Rumichaca	Tufiño (Ecuador)	2640	934624	581943

Fuente: Inventario Nacional de Manantiales de Colombia, 2013.

3.4. Zonificación e Identificación de Potencial

Como procedimiento para la identificación del potencial geotérmico, se recomiendan los siguientes pasos:

- Búsqueda de datos de la temperatura a 5 Km de profundidad en la base de datos de la UPME (disponible en www.si3ea.gov.co) en donde se encuentra el Mapa preliminar de Potencial de Geotermia del territorio Colombiano.
- Reconocimiento de las zonas volcánicas del departamento (Nariño cuenta con los volcanes Galeras, Azufral, Chiles y Doña Juana).
- Exploración de información geológica y geotérmica de las zonas volcánicas localizadas.
- Investigar la existencia de proyectos geotérmicos en las zonas volcánicas.
- Si se encuentran proyectos geotérmicos en desarrollo, identificar el estado actual de la etapa en desarrollo (Nariño cuenta con el proyecto geotérmico binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro desarrollado por ISAGEN de Colombia y CELEC EP de Ecuador. Se contactó al Ing. Marco Valencia, Director de Planeación de la expansión – CELEC EP, quien suministró el estado actual del proyecto, actualmente en etapa de prefactibilidad).
- Establecer el potencial geotérmico en el departamento, estableciendo los puntos de mayor capacidad en cuanto a temperatura y condiciones circundantes.

Figura 10. Mapa del Potencial de energía geotérmica en el departamento de Nariño



Fuente: Adaptado de Plan de Desarrollo Departamental “Nariño Mejor”, 2013.

4. POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA EN NARIÑO

De manera similar al trabajo realizado para el potencial solar, para el estudio del potencial eólico se tomaron los datos disponibles en las estaciones meteorológicas que disponen de equipos para la medición de velocidad y dirección del viento. En el departamento de Nariño se cuenta solamente con 5 estaciones que se detallan en la Tabla 4.

A pesar de la carencia de información sobre el recurso eólico, actualmente la UPME y el IDEAM buscan actualizar con información nueva de los recursos solar y eólico en Colombia, proveniente de cerca de 10 años de series de medición y de un mayor número de estaciones, actualizar y mejorar los modelamientos y la información contenida en los Atlas del año 2005 y 2006¹⁶.

Tabla 4. Estaciones meteorológicas para energía eólica

No.	Estación Meteorológica	Ubicación Geográfica
1	Aeropuerto Antonio Nariño	Chachagüí
2	Obonuco	Pasto
3	El Encano	Pasto
4	Aeropuerto San Luis	Aldana
5	EMAS	San Andrés de Tumaco

Fuente: Udenar – Corponariño, 2007.

Retomando el proyecto “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”¹⁷, tomo II, se extraen los datos de dirección y velocidad del viento en las estaciones implementadas en el departamento, de acuerdo a la ubicación de las estaciones por subregión.

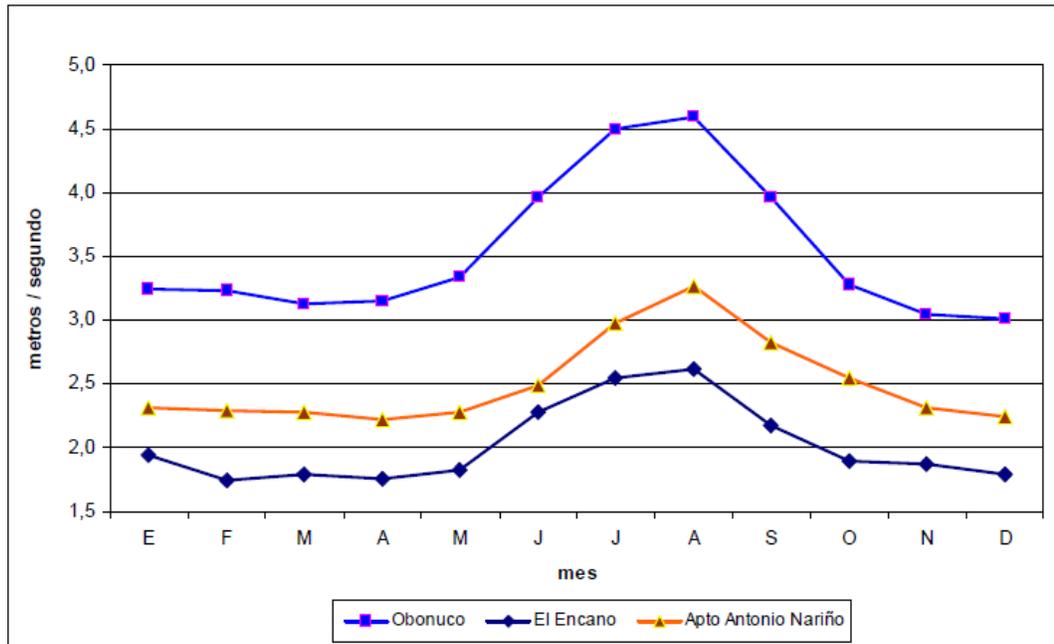
4.1. Subregión Centro

La estación sinóptica del aeropuerto Antonio Nariño y la estación meteorológica de Obonuco suministran datos acerca de los valores de dirección y velocidad del viento en la subregión centro del departamento de Nariño, mientras que la estación de El Encano solo proporciona datos de velocidad.

¹⁶ CADENA, Á., Acciones y retos para energización de las ZNI en el País. UPME. Octubre 29, 2012.

¹⁷ Universidad de Nariño y Corponariño. Proyecto: Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. Tomo II: Características biofísicas de los páramos de Nariño. Grupo de investigación en biología de paramos y ecosistemas andinos, Equipo interdisciplinario proyecto páramos. San Juan de Pasto, Febrero de 2007. Disponible en: <<http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo02caracteristicasbiofisicas.pdf>>

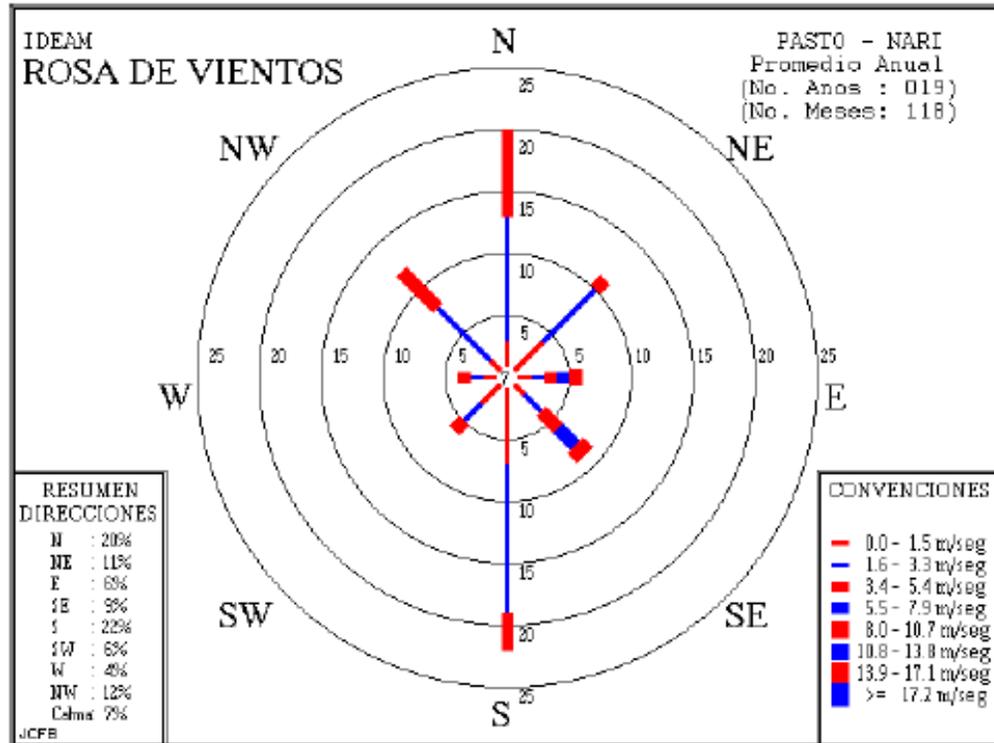
Figura 11. Velocidad del viento en las tres estaciones de la subregión Centro.



Fuente: IDEAM, 2006

En la Figura 11, se indican los datos de velocidad del viento de las tres estaciones, encontrando que los mayores valores se presentan hacia el tercer trimestre del año entre los meses de junio y septiembre. El promedio más alto se presenta en la estación de Obonuco en la ladera oriental del volcán Galeras, donde el viento tiene un promedio anual de 3.5 m/s con valores máximos en el mes de agosto de 4.6 m/s. Los valores más bajos se presentan en El Encano con un promedio anual de 2 m/s y un máximo en el mes de agosto de 2.6 m/s.

Figura 12. Rosa de vientos en la estación sinóptica del aeropuerto Antonio Nariño



Fuente: IDEAM, 2006

En la Figura 12, se indica la dirección del viento en la estación sinóptica ubicada en el aeropuerto Antonio Nariño, la cual muestra que los vientos predominantes son los alisios del sureste, que cobran mayor fuerza entre los meses de julio y septiembre con valores máximos de velocidad de 13.9 a 17.1 m/s. Estos vientos transportan humedad desde la región amazónica favoreciendo la formación de nubes orográficas en la vertiente oriental.

Sin embargo, las direcciones predominantes están condicionadas por su relieve, y teniendo en cuenta la variación altimétrica es probable que durante el día la dirección predominante del viento sea de norte a sur debido al ascenso de masas de aire cálidas desde la parte baja de los cañones. Mientras tanto en la noche, es más probable que se presente el fenómeno de circulación montaña-valle, haciendo que las masas de aire desciendan por los cañones desde el sur hacia el norte.

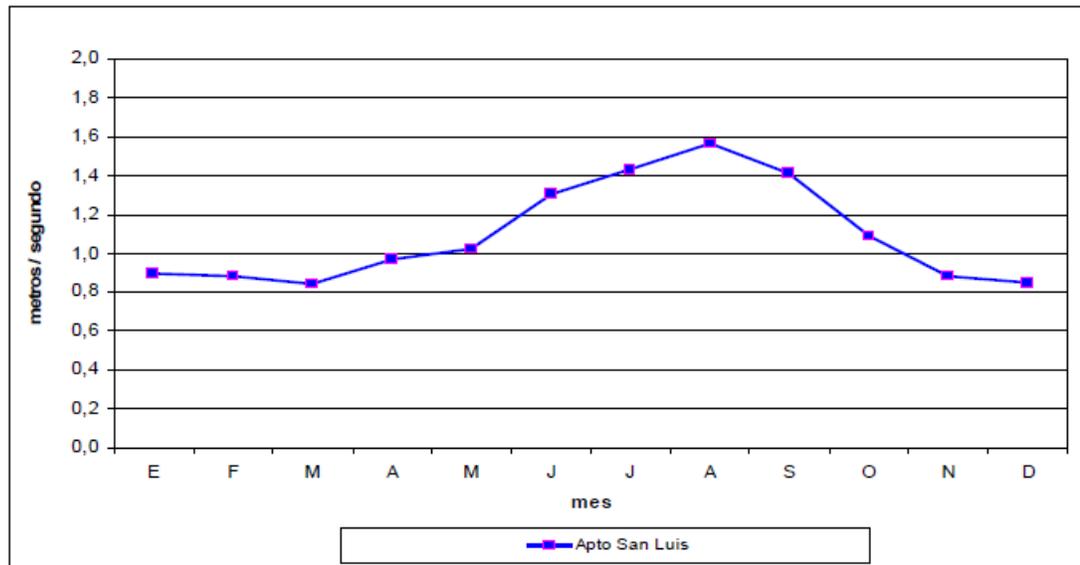
A pesar de que la rosa de los vientos de la estación de Obonuco tiene una baja calidad gráfica en medio digital, el análisis predominante es que en el ciclo horario del viento prevalecen intensidades cercanas a los 5 m/s entre las 11 a.m. y 3 p.m., especialmente entre los meses de julio y septiembre.

La dirección predominante de donde sopla el viento es del sur-suroeste¹⁸.

4.2. Subregión Exprovincia de Obando

La estación sinóptica del aeropuerto San Luís en Aldana, suministra información acerca de la dirección y velocidad del viento.

Figura 13. Velocidad del viento en la estación Aeropuerto San Luis



Fuente: IDEAM 2006

En la Figura 13 se muestran los datos de velocidad del viento de la estación sinóptica del aeropuerto San Luís en Aldana, indicando que el promedio anual es de 1.1 m/s con valores máximos en el tercer trimestre del año entre los meses de junio y septiembre. El valor más alto se presenta en el mes de agosto 1.6 m/s. Los valores más bajos se presentan entre diciembre y marzo fluctuando entre 0.8 m/s y 0.9 m/s.

Según la Sociedad Colombiana de Arquitectos (SCA) “la dirección constante durante la mayor parte del año es *este*, y en los meses de julio y agosto el vector *sureste* marca la dirección dominante del viento. Esto evidencia una clara influencia de los vientos alisios especialmente a mitad del año, cuando la zona de convergencia intertropical (ZCIT) se encuentra desplazada hacia el norte y los alisios del sureste que provienen de la amazonia colombiana y ecuatoriana penetran a la cordillera centro oriental”¹⁹. De forma complementaria, los mismos autores concluyen que el cañón del río Guáitara hace que las corrientes superficiales del viento asciendan a través de este corredor natural

¹⁸ UPME, IDEAM, Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. Capítulo IV: Distribución horaria de velocidad del viento en zonas con mayor aprovechamiento de potencial eólico. SI3EA, Sistema de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas, 2006. Disponible en: <<http://www.si3ea.gov.co/si3ea/Home/Energ%C3%ADaEolica/tabid/75/language/en-US/Default.aspx>>

¹⁹ MUNICIPIO DE IPIALES – SOCIEDAD COLOMBIANA DE ARQUITECTOS – CAPÍTULO IPIALES. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Diagnóstico Urbano. SCA. Ipiales, 2000.

condicionando de cierta manera la circulación local del aire.

En la zona del volcán Azufral y en relación con el condicionamiento topográfico, “la confluencia de los vientos provenientes del pacífico (oeste) y los provenientes del sector oriental, crean a estas alturas, condiciones medio ambientales como: diferencia de temperaturas y diferencia de velocidades de los vientos”²⁰. Así mismo, la forma explanada y amplia del volcán tiende a generar precipitaciones espontáneas o continuas y de intensidad variable.

4.3. Subregión del Pacífico Sur

La Dirección General Marítima ha implementado un proyecto denominado Sistema de Medición de Parámetros Oceanográficos y de Meteorológica Marina (SMPOMM) desde el año 2005, que está integrado por una red de Estaciones Meteorológicas Automáticas Satelitales (EMAS) y mareógrafos; al igual que boyas de oleaje direccional, ubicados a lo largo del litoral Pacífico Colombiano incluyendo Buenaventura, Isla de Malpelo, Isla de Gorgona y Tumaco.

La Estación Meteorológica Automática Satelital (EMAS) de San Andrés de Tumaco suministra información al área de oceanografía operacional del centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico Centro (CCCP), quien publica un boletín meteo-marino mensual realizando una descripción y análisis del comportamiento de los diferentes parámetros meteorológicos y oceánicos que definen el clima en la cuenca pacífica Colombia (CPC). Se encontraron dos boletines correspondientes al mes de enero²¹ y junio²² del año 2012, en donde evidencian graficas de velocidad y dirección del viento.

La Información del boletín del mes de enero de 2012, se observa en la Figura 14 y en la Tabla 5.

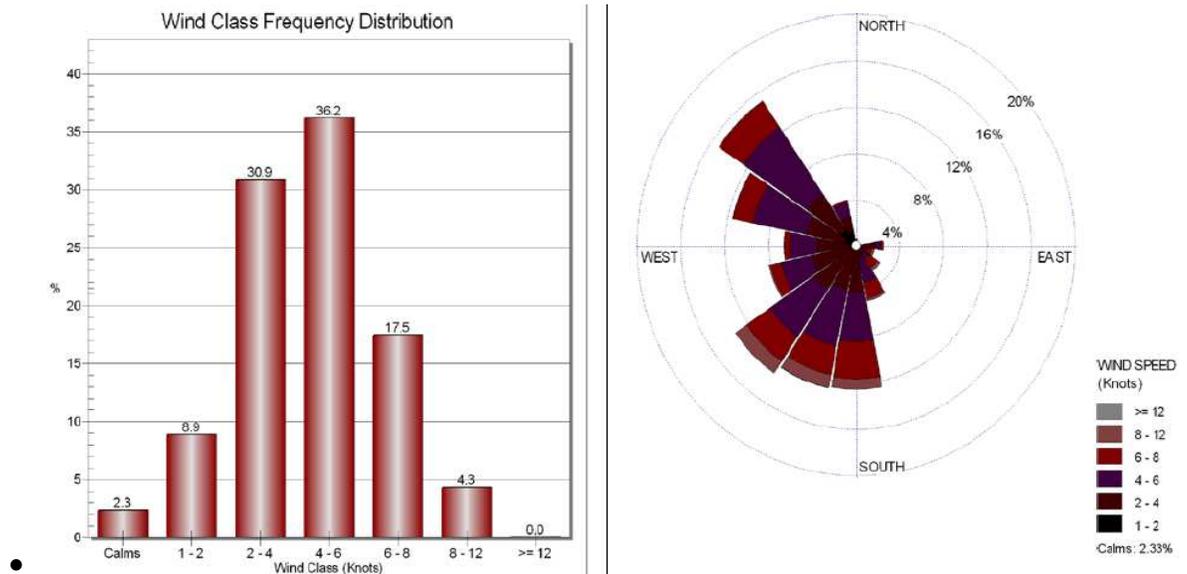
Figura 14. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes

²⁰ ANGULO, V., MARTÍNEZ, J., PONCE, G., Plan de Ordenamiento y Manejo Sostenible del Ecosistema Páramo de Azufral y su área de Amortiguamiento en el Departamento de Nariño. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, 1996. p. 471.

²¹ CCCP, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Boletín meteo-marino mensual del Pacífico Colombiano. Enero, 2012. Disponible en: < http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Enero/BoletinMeteoMarinoMensualEnero_2012.pdf >

²² CCCP, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Boletín meteo-marino mensual del Pacífico Colombiano. Junio, 2012. Disponible en: < http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Junio/BoletinMeteoMarinoMensualJunio_2012.pdf >

de enero



Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Enero, 2012.

Tabla 5. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de enero

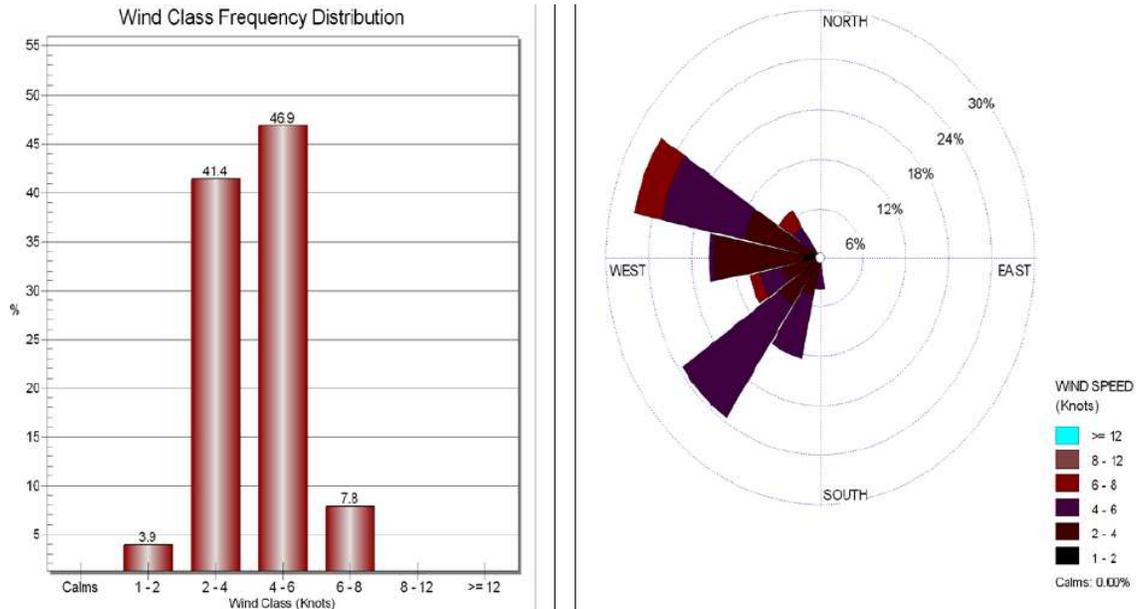
Velocidad del Viento		Dirección del Viento	
Intensidad (m/s)	Frecuencia Relativa (%)	Dirección Predominante	Frecuencia Relativa (%)
Calma	2.3	Norroeste	15
0,51 - 1,03	8.9	Suroeste	13
1,03 – 2,05	30.9	Sur-suroeste	12.5
2,06 - 3,08	36.2	Sur	12.5
3,08 – 4,11	17.5	Oeste-norroeste	11.8
4,11 – 6,12	4.3	Oeste - suroeste	9

Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Enero, 2012.

La Información del boletín del mes de junio de 2012, se observa en la Figura 15 y en la Tabla 6.

Figura 15. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes

de junio



Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Junio, 2012.

Tabla 6. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de junio

Velocidad del Viento		Dirección del Viento	
Intensidad (m/s)	Frecuencia Relativa (%)	Dirección Predominante	Frecuencia Relativa (%)
Calma	0	Oeste-noroeste	27
0,51 - 1,03	3.9	Suroeste	25
1,03 – 2,05	41.4	Oeste	16
2,06 - 3,08	45.9	Sur-suroeste	13
3,08 – 4,11	7.8	Oeste-suroeste	9
		Noroeste	8

Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Junio, 2012.

4.4. Comparación, Zonificación y Potencial Eólico

Con base en la escasa información disponible se puede obtener un mapeo adicional al encontrado en el Atlas Eólico Colombiano, teniendo en cuenta las velocidades promedio del viento resumidas en la Tabla 7

Tabla 7. Promedio anual de la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas

Estación Meteorológica	Promedio anual (m/s)
Aeropuerto Antonio Nariño	2,50
Obonuco	3,54

El Encano	2,00
Aeropuerto San Luis	1,11

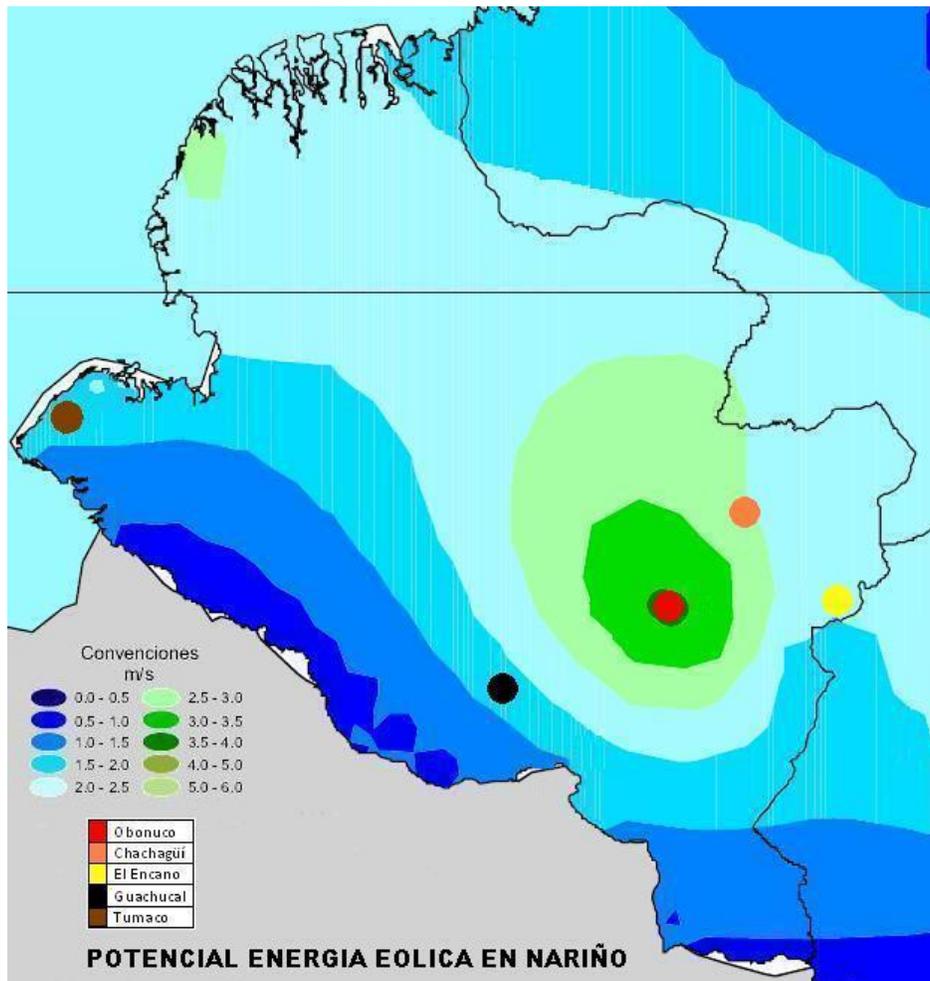
Fuente: Elaboración propia a partir de datos en Udenar – Corponariño, 2007 e IDEAM 2006.

En la estación de Obonuco se presenta el mayor promedio anual de velocidad del viento (3,54 m/s) lo que representa el potencial más aprovechable en comparación a las otras estaciones, mientras que la estación meteorológica del Aeropuerto San Luis se presenta el menor promedio (1,11 m/s).

La metodología propuesta para la identificación del potencial eólico se resume en los siguientes puntos.

- Búsqueda de datos de dirección y velocidad del viento en la base de datos de la UPME (disponible en www.si3ea.gov.co) en donde se encuentra el Atlas de Viento y Energía Eólica del territorio Colombiano.
- Recolección de datos de las estaciones meteorológicas que se encuentran en el departamento. Igual que en los datos de radiación solar, las bases de datos no son gratuitas y representan un trabajo adicional por no encontrarse en archivos digitales para algunas estaciones (para éste estudio se tomaron los datos del “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”).
- Mediante el Mapa del Promedio multianual de Velocidad Media del Viento en Superficie que se encuentre en el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia suministrado por la UPME, se identifican los niveles de velocidad media del viento en superficie en el departamento (Nariño cuenta con 7 niveles de velocidad del viento que se identifican en la Figura 16, observando el menor valor de 0,5 m/s y el mayor valor de 4 m/s).
- Obtener el promedio anual de velocidad del viento para cada estación meteorológica del departamento.
- Investigación de aplicaciones eólicas implementadas.
- Descartar niveles que no representen un potencial eólico destacable (para la evaluación del potencial eólico en Nariño, se descartan dos niveles comprendidos entre 0,5 y 1,5 m/s).
- Las zonas que se encuentren en el nivel de velocidad del viento mayor a 3,5 m/s se consideran potenciales eólicos.
- Las zonas comprendidas entre 1,5 y 3,5 m/s se consideran zonas de aprovechamiento bajo (pero no descartable) de la fuente eólica.
- Establecer el potencial eólico en el departamento (En la Figura 16 se muestra el mapa eólico promedio del atlas colombiano, junto con las estaciones de Nariño en un código de colores descendente de rojo a marrón).

Figura 16. Mapa del Potencial de energía eólica en el departamento de Nariño



Fuente: Adaptado de UPME – IDEAM, 2006.

5. POTENCIAL DE ENERGÍA DE LA BIOMASA

Con el objetivo de establecer un inventario completo del potencial de biomasa en Nariño, se tomó como base los datos de producción agropecuaria y de residuos sólidos consignados en el Plan de Desarrollo Departamental “Nariño mejor” 2012 - 2015²³. Aunque estos datos fueron tomados en el año 2010, es la recopilación más completa sobre todos los aspectos de biomasa en un mismo año, y sobre la que se pueden realizar comparaciones y aplicar la metodología para su identificación. Además, es de resaltar que la identificación del potencial de biomasa se realiza sobre los promedios anuales, por lo que la variación a 2014 no es significativa desde el punto de vista de la metodología aplicada.

En esta sección se utilizan los indicadores de la actividad agropecuaria que sigue siendo la actividad económica que más contribuye al PIB (Producto Interno Bruto) departamental y se utilizan como fuente para analizar el potencial de biomasa de las 13 subregiones del departamento, como se sugiere en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia²⁴.

Cada indicador contiene información agrícola y pecuaria por cada subregión. El indicador agrícola determina el área sembrada de cultivos clasificados en transitorios, anuales y permanentes. En el indicador pecuario se observa el área de pastos, el número de cabezas de ganado y de especies menores (gallinas, cuyes, cerdos, ovinos y caprinos).

5.1. Indicadores Agrícolas

5.1.1. Cultivos transitorios

Entre los productos agrícolas transitorios del departamento se destacan el arroz, maíz, frijol, papa y hortalizas. En la Tabla 8 se registran los valores de las áreas sembradas de cultivos transitorios en las 13 subregiones del departamento.

Tabla 8. Área sembrada de cultivos transitorios en las 13 subregiones

No.	Subregión	Área sembrada de cultivos transitorios [Ha]	%
1	Sanquianga	951	1,35
2	Pacífico Sur	310	0,44
3	Telembí	856	1,22
4	Pie de Monte Costero	395	0,56
5	Exprovincia de Obando	23.826	33,85
6	Sabana	15.784	22,43
7	Abades	622	0,88
8	Occidente	2.884	4,1
9	Cordillera	2.828	4,02
10	Centro	14.992	21,3
11	Juanambu	2.142	3,04

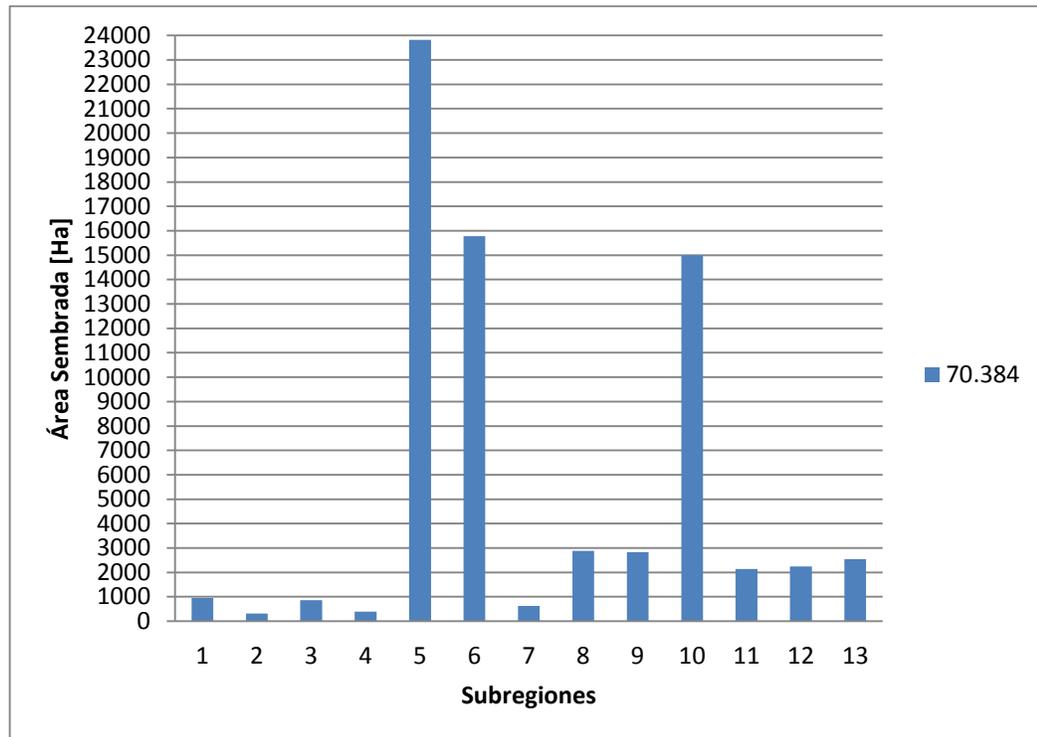
²³ GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

²⁴ UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, UIS., Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, 2010. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/en-US/Default.aspx>

12	Rio Mayo	2.242	3,19
13	Guambuyaco	2.549	3,62
	AREA TOTAL	70.384	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012 – 2015.

Figura 17. Área sembrada de cultivos transitorios en las 13 subregiones



El área total de cultivos transitorios en el departamento es de 70.384 Ha. La Figura 17 muestra los valores del área sembrada con cultivos transitorios en cada subregión, obteniendo una media de 5.414 Ha. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Exprovincia de Obando. Tiene 23.826 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Arveja, frijol, haba, papa y hortalizas.

Sabana. Tiene 15.784,5 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Arveja, frijol, haba, papa y hortalizas.

Centro. Tiene 14.992 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Arveja, cebada, frijol, maíz y papa.

Las tres subregiones anteriores son las que presentan mayor biomasa aprovechable a partir de los productos y residuos que arrojan los cultivos sembrados transitoriamente en el departamento. En la Tabla 9 se muestra la densidad de cultivos transitorios de las tres subregiones por habitante para obtener un indicador válido promedio.

Tabla 9. Densidad de cultivos transitorios

Subregión	Habitantes	Área sembrada de cultivos transitorios (Ha)	Densidad de cultivos transitorios (Ha/hab)
Exprovincia de Obando	273.776	23.826	0,087
Sabana	75.692	15.784	0,209
Centro	466.331	14.992	0,032

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.1.2. Cultivos anuales

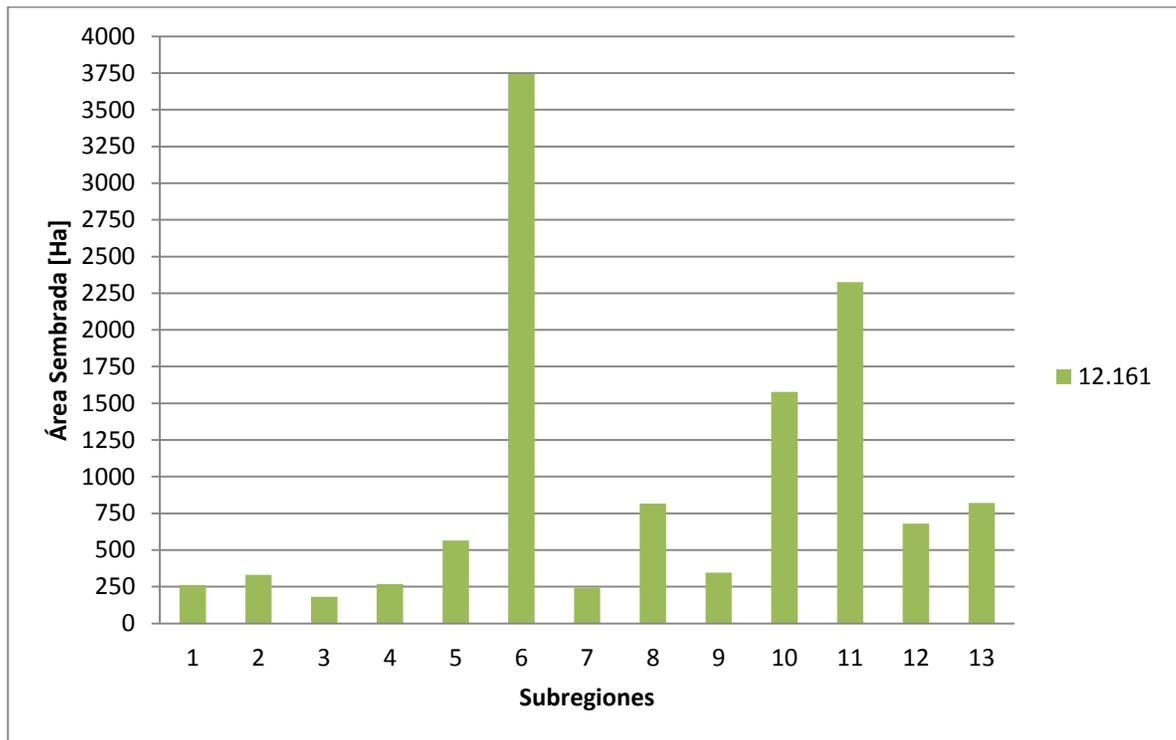
En el departamento se destacan los cultivos anuales de yuca, maíz y frijol. En la Tabla 10 se registran los valores de las áreas sembradas de cultivos anuales en las 13 subregiones.

Tabla 10. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones

No.	Subregión	Área sembrada de cultivos anuales [Ha]	%
1	Sanquianga	261	2,15
2	Pacífico Sur	330	2,71
3	Telembí	181	1,49
4	Pie de Monte Costero	268	2,2
5	Exprovincia de Obando	566	4,65
6	Sabana	3.744	30,79
7	Abades	244	2,01
8	Occidente	817	6,72
9	Cordillera	346	2,85
10	Centro	1.578	12,98
11	Juanambu	2.326	19,13
12	Rio Mayo	680	5,59
13	Guambuyaco	820	6,74
	AREA TOTAL	12.161	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 18. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones



El área total de cultivos anuales en el departamento es de 12.161 Ha. La Figura 18 muestra los valores del área sembrada con cultivos anuales en cada subregión, obteniendo una media de 953,4 Ha. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Sabana. Tiene 3.744 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Maíz, frijol y quinua.

Juanambu. Tiene 2.326 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Maíz, yuca y achira.

Centro. Tiene 1.578 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Maíz, frijol y yuca.

Las tres subregiones anteriores son las que presentan mayor biomasa aprovechable a partir de los productos y residuos que arrojan los cultivos sembrados anualmente en el departamento. En la Tabla 11 se muestra la densidad de cultivos anuales de las tres subregiones:

Tabla 11. Densidad de cultivos anuales

Subregión	Habitantes	Área sembrada de cultivos anuales (Ha)	Densidad de cultivos anuales (Ha/hab)
Sabana	75.692	3.744	0,049
Juanambu	84.828	2.326	0,027
Centro	53.837	817	0,015

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.1.3. Cultivos permanentes

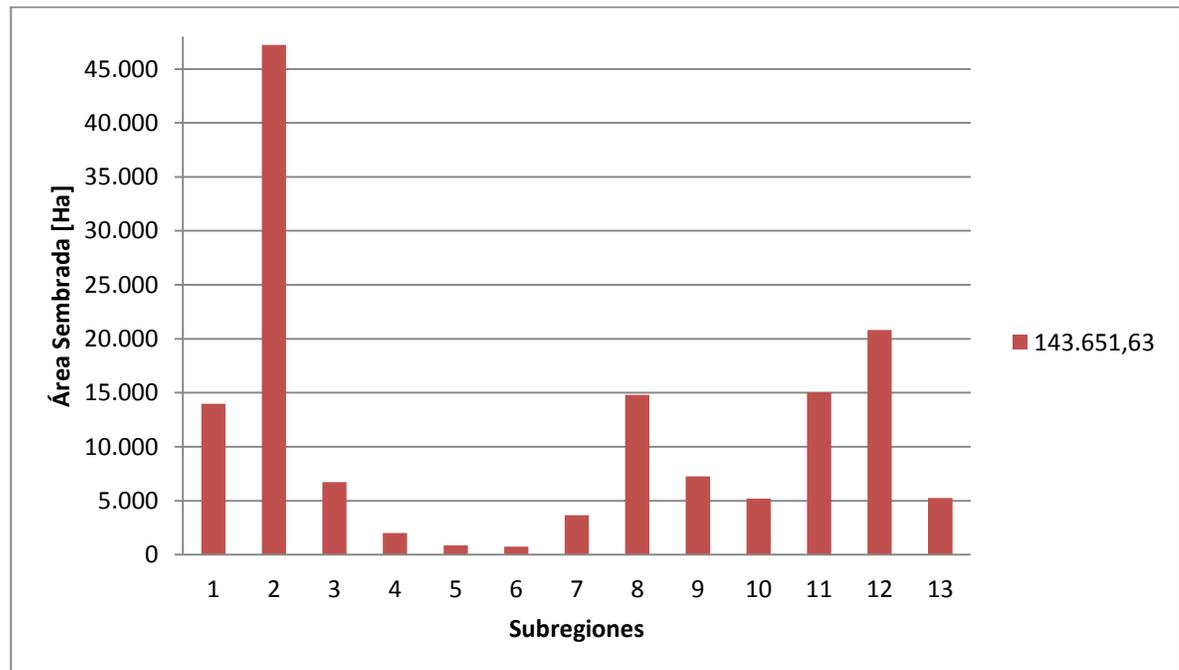
En el departamento se destacan los productos de cultivos permanentes de plátano, café, caña, palma africana y coco. En la Tabla 12 se registra el valor de las áreas sembradas de cultivos permanentes en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 12. Área sembrada de cultivos permanentes en las 13 subregiones

No.	Subregión	Área sembrada en cultivos permanentes [Ha]	%
1	Sanquianga	13.993	11,77
2	Pacífico Sur	47.213	39,71
3	Telembí	6.742	5,67
4	Pie de Monte Costero	2.022	1,7
5	Exprovincia de Obando	877	0,74
6	Sabana	756	0,64
7	Abades	3.676	3,09
8	Occidente	14.792	12,44
9	Cordillera	7.249	6,1
10	Centro	5.212	4,38
11	Juanambu	15.052	12,66
12	Rio Mayo	20.807	17,5
13	Guambuyaco	5.258	4,42
	AREA TOTAL	143.651,63	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 19. Área sembrada de cultivos permanentes en las 13 subregiones



El área total de cultivos permanentes en el departamento es de 143.651,63 Ha. La Figura 19 muestra los valores del área sembrada con cultivos permanentes en cada subregión, obteniendo una media de 11.050,2 Ha. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Pacífico Sur. Tiene 47.213 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Banano, coco, plátano y palmito.

Río Mayo. Tiene 20.807 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Café, banano y fique.

Juanambu. Tiene 15.052 Ha sembradas, donde los principales cultivos son Café, cítricos, fique y caña.

Occidente. Tiene 14.792 Ha sembradas, donde los principales cultivos son: Caña, café y fique.

Sanquianga. Tiene 13.993 Ha sembradas, donde los principales cultivos son: Banano, coco, plátano y palmito.

Las cinco subregiones anteriores son las que presentan mayor biomasa aprovechable a partir de los productos y residuos que arrojan los cultivos sembrados permanentemente en el departamento. En la Tabla 13 se muestra la densidad de cultivos permanentes de las cinco subregiones:

Tabla 13. Densidad de cultivos permanentes

Subregión	Habitantes	Área sembrada de cultivos permanentes (Ha)	Densidad de cultivos permanentes (Ha/hab)
Pacífico Sur	196.316	47.213	0,240
Río Mayo	104.262	20.807	0,200
Juanambu	84.828	15.052	0,177
Occidente	53.837	14.792	0,275
Sanquianga	101.713	13.993	0,138

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.1.4. Análisis de los cultivos

Los productos y residuos de los cultivos transitorios, anuales y permanentes que tienen mayor área sembrada convierten a las subregiones en potenciales para la generación de energía a través de biomasa.

En la Tabla 14 se indican los productos y residuos con base en la información del Atlas de Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. En general, los residuos son el potencial aprovechable de biomasa de los cultivos y que en el momento están siendo desperdiciados por su desecho.

Tabla 14. Productos y sus residuos

PRODUCTO	RESIDUO	PRODUCTO	RESIDUO
Arveja	Hoja y cascarilla	Achira	Hoja
Frijol	Mata y cascarillas	Banano	Cáscara
Haba	Mata y cascarillas	Coco	Cáscara

Papa	Mata y Cáscara	Plátano	Cáscara
Hortalizas	Mata	Palmito	Cáscara
Cebada	Mata	Café	Cascarilla
Maíz	Mata	Fique	Hoja
Quinua	Cascarilla	Cítricos	Cáscara
Yuca	Cáscara y tallo	Caña	Bagazo

Fuente: Elaboración propia con base en información de UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, UIS, 2010.

En la Tabla 15 se indican los productos con los cuales se puede generar biocombustibles tales como bioetanol y biodiesel.

Tabla 15. Productos agrícolas para la generación de biocombustible

PRODUCTO	BIOCOMBUSTIBLE	PRODUCTO	BIOCOMBUSTIBLE
Arveja		Achira	
Frijol		Banano	X
Haba		Coco	
Papa	X	Plátano	
Hortalizas		Palmito	
Cebada	X	Café	
Maíz	X	Fique	
Quinua		Cítricos	X
Yuca	X	Caña	X

Fuente: Elaboración propia con base en información de UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, UIS, 2010.

En la Tabla 16 se indican los residuos de los productos que se pueden aprovechar para la generación de biocombustibles, biogás - bioabono y la utilización de los residuos como especies leñosas.

Tabla 16. Residuos agrícolas para la generación de energía

RESIDUOS DE PRODUCTO	BIOCOMBUSTIBLE	BIOGAS Y BIOABONO	ESPECIES LEÑOSAS
Arveja	X	X	X
Frijol	X	X	X
Haba		X	X
Papa		X	X
Hortalizas		X	X
Cebada	X	X	X
Maíz	X	X	X
Quinua		X	
Yuca		X	X
Achira		X	X
Banano		X	X
Coco	X		X
Plátano		X	X
Palmito		X	X

Café	X	X	
Fique		X	X
Cítricos	X	X	X
Caña	X	X	X

Fuente: Elaboración propia con base en información de UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, UIS, 2010.

5.1.5. Pastos

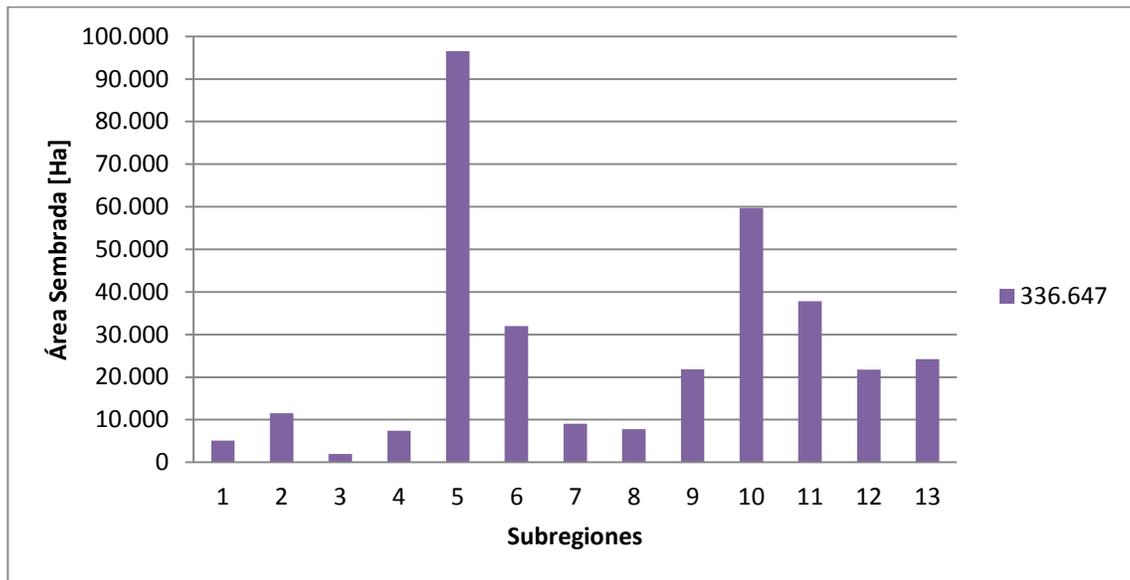
En la Tabla 17 se registra el valor de las áreas sembradas de pasto en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 17. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones

No.	Subregión	Área en pastos [Ha]	%
1	Sanquianga	5.084	1,51
2	Pacífico Sur	11.502	3,42
3	Telembí	1.957	0,58
4	Pie de Monte Costero	7.438	2,21
5	Exprovincia de Obando	96.505	28,67
6	Sabana	31.964	9,49
7	Abades	9.038	2,68
8	Occidente	7.825	2,32
9	Cordillera	21.849	6,49
10	Centro	59.741	17,75
11	Juanambu	37.797	11,23
12	Rio Mayo	21.731	6,46
13	Guambuyaco	24.216	7,19
	AREA TOTAL	336.647	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 20. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones



El área total de pasto en el departamento es de 336.647 Ha. La Figura 20 muestra los valores del área sembrada con pasto en cada subregión, obteniendo una media de 25.895,9 Ha. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Exprovincia de Obando. Tiene 96.505 Ha sembradas de pasto.

Centro. Tiene 59.741 Ha sembradas de pasto.

Juanambu. Tiene 37.797 Ha sembradas de pasto.

Sabana. Tiene 31.964 Ha sembradas de pasto.

Las cuatro subregiones anteriores son las que presentan mayor biomasa aprovechable a partir de los residuos de la poda del pasto. Estos residuos pueden ser aprovechados en la producción de biogás mediante la digestión anaeróbica. En la Tabla 18 se muestra la densidad de cultivos de pasto de las cuatro subregiones:

Tabla 18. Densidad de cultivos de pasto

Subregión	Habitantes	Área sembrada de cultivos pastos (Ha)	Densidad de pastos (Ha/hab)
Exprovincia de Obando	273.776	96.505	0,352
Centro	466.331	59.741	0,128
Juanambu	84.828	37.797	0,446
Sabana	75.692	31.964	0,422

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Un equipo de investigación de la Universidad Nacional de Palmira, determinó que el potencial de producción de biogás con los residuos de poda del campus universitario es de 354 litros de biogás por kilogramo de residuo y los cálculos determinaron que con las

toneladas de residuos generados al mes, se podría producir 4.026 kW/h²⁵. Este estudio se convierte en un estímulo para el aprovechamiento de los residuos de la poda de los pastos en el departamento de Nariño.

5.2. Indicadores Pecuarios

5.2.1. Ganadería

En la Tabla 19 se registra el número de cabezas de ganado existente en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

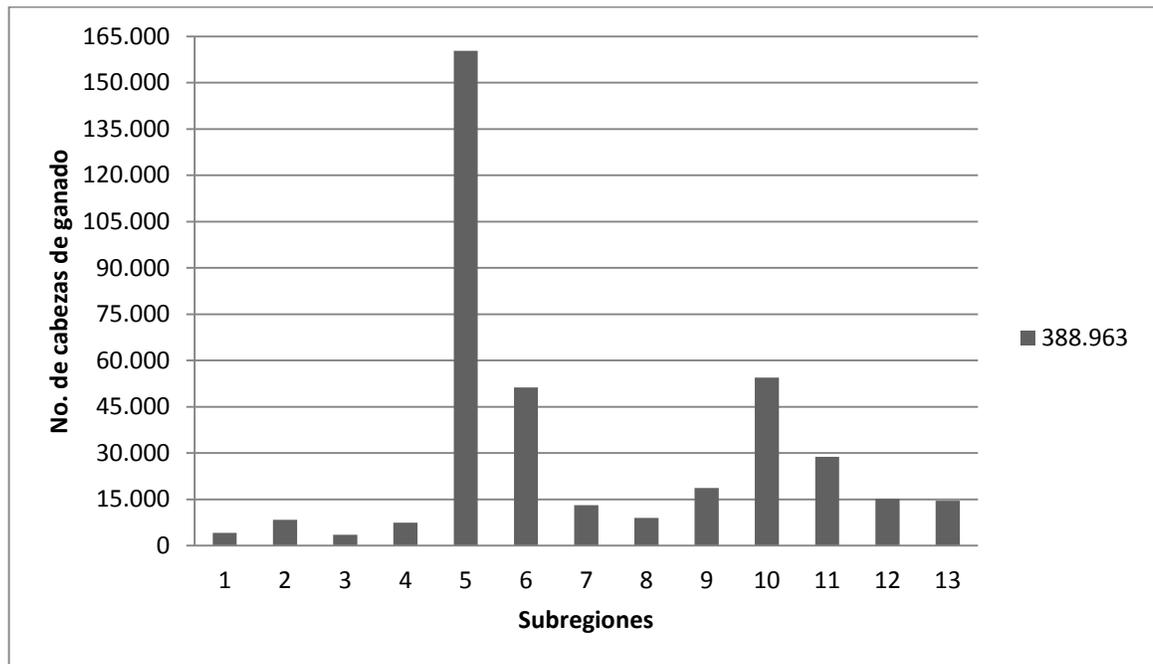
Tabla 19. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones

No.	Subregión	Cabezas de ganado	%
1	Sanquianga	4.149	1,07
2	Pacífico Sur	8.426	2,17
3	Telembí	3.503	0,9
4	Pie de Monte Costero	7.445	1,91
5	Exprovincia de Obando	160.348	41,22
6	Sabana	51.300	13,19
7	Abades	13.096	3,37
8	Occidente	8.979	2,31
9	Cordillera	18.673	4,8
10	Centro	54.503	14,01
11	Juanambu	28.848	7,42
12	Rio Mayo	15.154	3,9
13	Guambuyaco	14.539	3,74
	TOTAL	388.963	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

²⁵ Residuos de poda, fuente potencial de energía renovable. En: Agencia de noticias de la Universidad Nacional de Colombia. Palmira, 6 de Marzo, 2013. Disponible en: <<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/ndetalle/article/residuos-de-poda-fuente-potencial-de-energia-renovable.html>>

Figura 21. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones



El número total de cabezas de ganado en el departamento es de 388.963. La Figura 21 muestra los valores de cabezas de ganado en cada subregión, obteniendo una media de 29.920,2 Ha. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Exprovincia de Obando. Tiene 160.348 cabezas de ganado.

Centro. Tiene 54.503 cabezas de ganado.

Sabana. Tiene 51.300 cabezas de ganado.

Las tres subregiones anteriores son las más destacadas en el sector ganadero del departamento de Nariño. En la Tabla 20 se muestra la densidad del sector ganadero de las tres subregiones:

Tabla 20. Densidad de ganadería

Subregión	Habitantes	Cabezas de ganado	Densidad de ganado (ganado/hab)
Exprovincia de Obando	273.776	160.348	0,586
Centro	466.331	54.503	0,117
Sabana	75.692	51.300	0,678

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.2.2. Especies menores

5.2.2.1. Gallinas

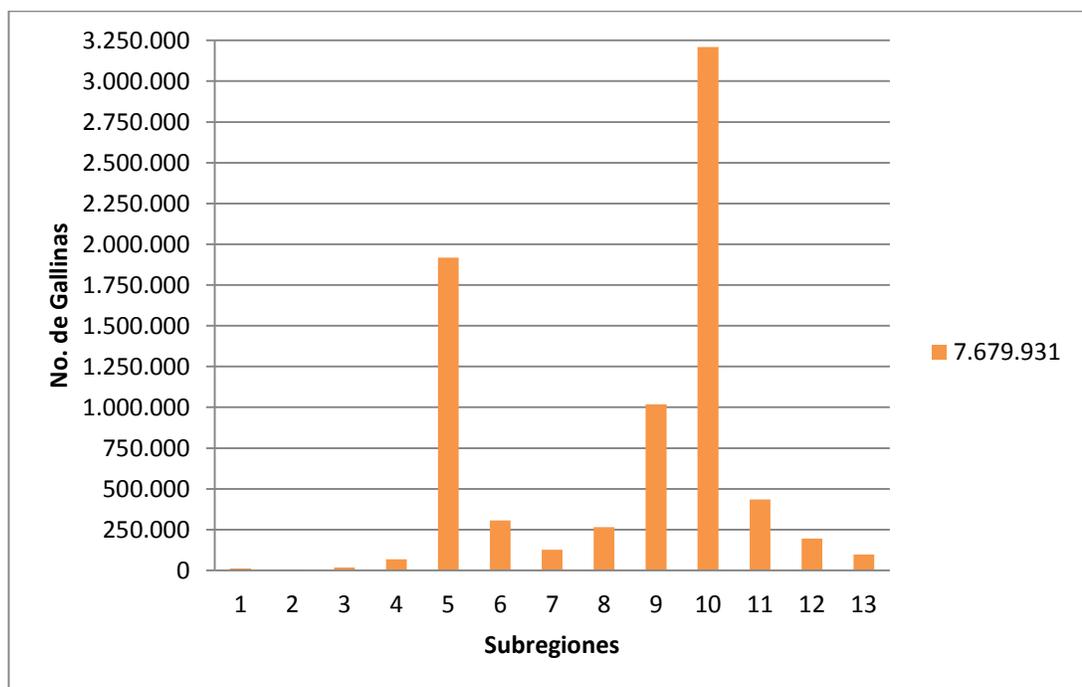
En la Tabla 21 se registra el número de gallinas en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 21. Número de gallinas en las 13 subregiones

No.	Subregión	Gallinas	%
1	Sanquianga	12.100	0,16
2	Pacifico Sur	6.400	0,08
3	Telebí	18.300	0,24
4	Pie de Monte Costero	69.200	0,9
5	Exprovincia de Obando	1.918.138	24,98
6	Sabana	305.925	3,98
7	Abades	127.000	1,65
8	Occidente	264.500	3,44
9	Cordillera	1.019.400	13,27
10	Centro	3.209.000	41,78
11	Juanambu	435.700	5,67
12	Rio Mayo	195.768	2,55
13	Guambuyaco	98.500	1,28
	TOTAL	7.679.931	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 22. Número de gallinas en las 13 subregiones



El número total de gallinas en el departamento es de 7.679.931. La Figura 22 muestra el número de gallinas en cada subregión, obteniendo una media de 590.764. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Centro. Tiene 3.209.000 gallinas.

Exprovincia de Obando. Tiene 1.918.138 gallinas.

Cordillera. Tiene 1.019.400 gallinas.

Las tres subregiones anteriores son las que se destacan en la crianza de gallinas en el departamento de Nariño. En la Tabla 22 se muestra la densidad de gallinas de las tres subregiones.

Tabla 22. Densidad de gallinas

Subregión	Habitantes	Gallinas	Densidad de gallinas (gallinas/hab)
Centro	466.331	3.209.000	6,881
Exprovincia de Obando	273.776	1.918.138	7,006
Cordillera	72.025	1.019.400	14,153

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.2.2.2. Cuyes

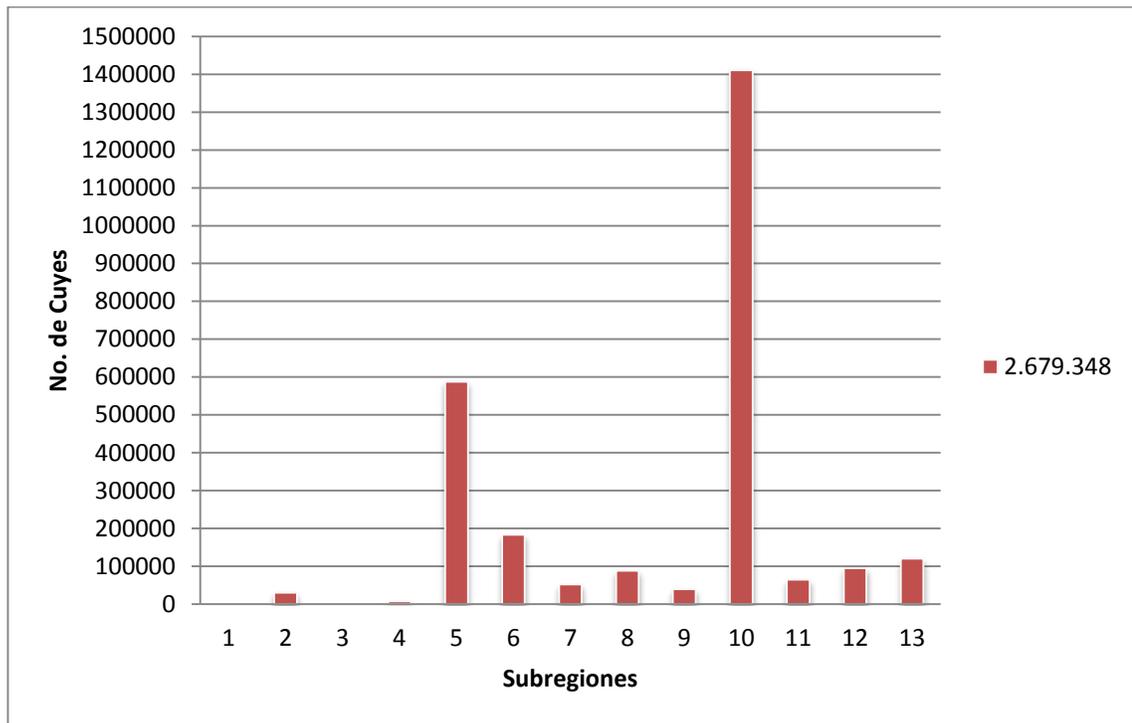
En la Tabla 23 se registra el número de cuyes en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 23. Número de cuyes en las 13 subregiones

No.	Subregión	Cuyes	%
1	Sanquianga	0	0
2	Pacifico Sur	30.200	1,13
3	Telembí	0	0
4	Pie de Monte Costero	7.600	0,28
5	Exprovincia de Obando	587.417	21,92
6	Sabana	183.500	6,85
7	Abades	52.500	1,96
8	Occidente	88.238	3,29
9	Cordillera	39.500	1,47
10	Centro	1.410.300	52,64
11	Juanambu	64.873	2,42
12	Rio Mayo	94.990	3,55
13	Guambuyaco	120.230	4,49
	TOTAL	2.679.348	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 23. Número de cuyes en las 13 subregiones



El número total de cuyes en el departamento es 2.679.348. La Figura 23 muestra el número de cuyes en cada subregión, obteniendo una media de 206.104. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Centro. Tiene 1.410.300 cuyes.

Exprovincia de Obando. Tiene 587.417 cuyes.

Las dos subregiones anteriores son las que se destacan en la crianza de cuyes en el departamento de Nariño. En la Tabla 24 se muestra la densidad de cuyes de las dos subregiones.

Tabla 24. Densidad de cuyes

Subregión	Habitantes	Cuyes	Densidad de cuyes (cuyes/hab)
Centro	466.331	1.410.300	3,024
Exprovincia de Obando	273.776	587.417	2,146

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.2.2.3. Porcinos

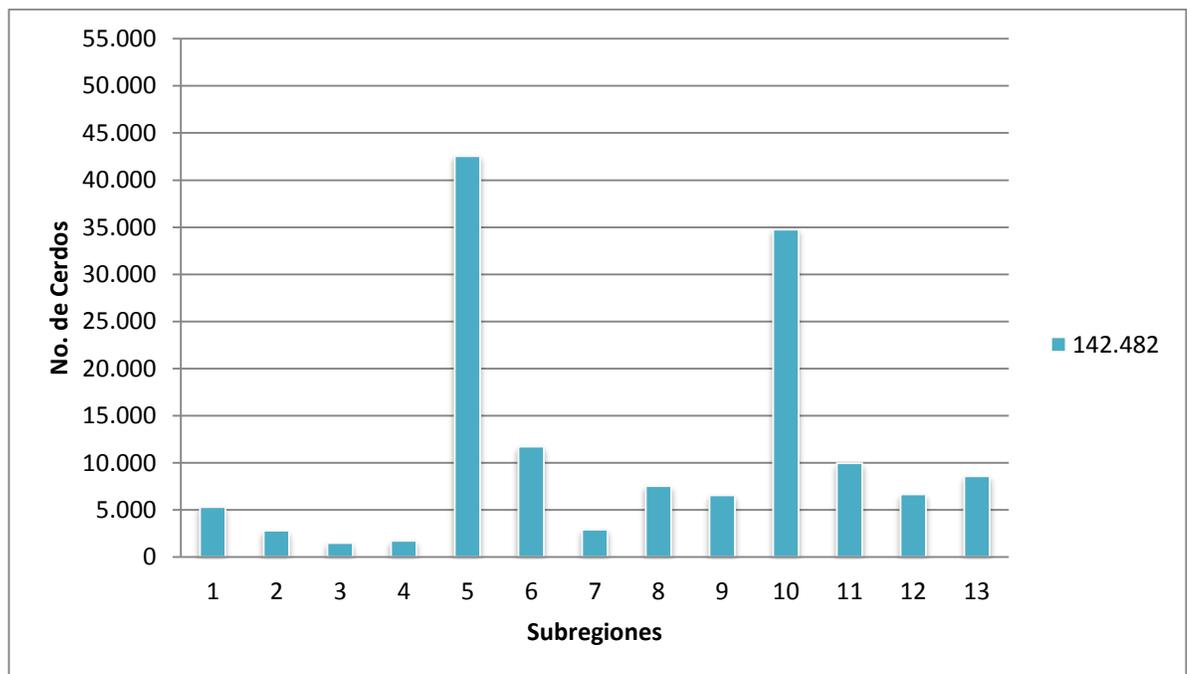
En la Tabla 25 se muestra el número de cerdos en las 13 subregiones.

Tabla 25. Número de cerdos en las 13 subregiones

No.	Subregión	Cerdos	%
1	Sanquianga	53.909	3,78
2	Pacifico Sur	2.800	1,96
3	Telebí	1.484	1,04
4	Pie de Monte Costero	1.710	1,2
5	Exprovincia de Obando	42.557	29,85
6	Sabana	11.722	8,22
7	Abades	2.900	2,03
8	Occidente	7.518	5,27
9	Cordillera	6.562	4,6
10	Centro	34.749	24,37
11	Juanambu	9.958	6,98
12	Rio Mayo	6.647	4,66
13	Guambuyaco	8.566	6,01
	TOTAL	142.482	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 24. Número de cerdos en las 13 subregiones



El número total de cerdos en el departamento es 142.482. La Figura 24 muestra el número de cerdos en cada subregión, obteniendo una media de 10.960. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Sanquianga. Tiene 53.909 cerdos.

Exprovincia de Obando. Tiene 42.557 cerdos.

Centro. Tiene 34.749 cerdos.

Sabana. Tiene 11.722 cerdos.

Las cuatro subregiones anteriores son las más destacadas en el sector porcino del departamento de Nariño. En la Tabla 26 se muestra la densidad de porcinos de las cuatro subregiones.

Tabla 26. Densidad de porcinos

Subregión	Habitantes	Cerdos	Densidad de cerdos (cerdos/hab)
Sanquianga	101.713	53.909	0,530
Exprovincia de Obando	273.776	42.557	0,155
Centro	466.331	34.749	0,075
Sabana	75.692	11.722	0,155

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.2.2.4. Ovinos y caprinos

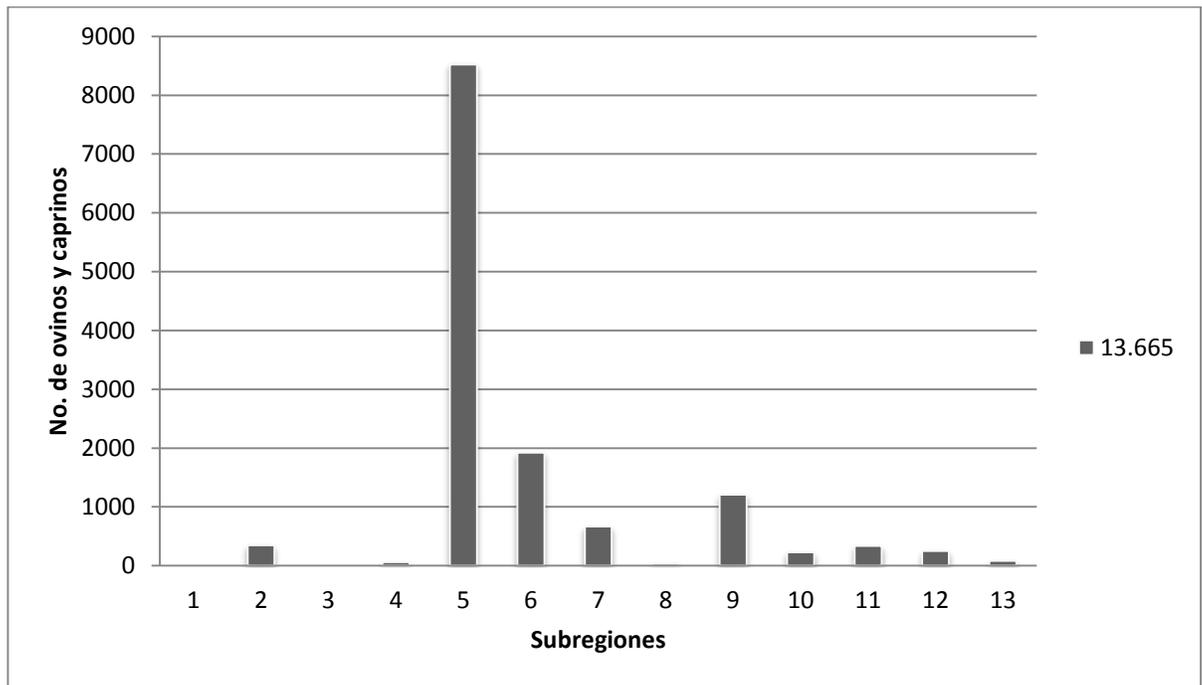
En la Tabla 27 se presenta el número de ovinos y caprinos para cada subregión.

Tabla 27. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones

No.	Subregión	Ovinos y caprinos	%
1	Sanquianga	0	0
2	Pacifico Sur	350	2,56
3	Telembí	0	0
4	Pie de Monte Costero	60	0,44
5	Exprovincia de Obando	8.523	62,37
6	Sabana	1.920	14,05
7	Abades	665	4,87
8	Occidente	39	0,29
9	Cordillera	1.209	8,85
10	Centro	229	1,68
11	Juanambu	335	2,45
12	Rio Mayo	253	1,85
13	Guambuyaco	83	0,61
	TOTAL	13.666	100

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 25. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones



El número total de ovinos y caprinos en el departamento es 13.665. La tendencia en las subregiones se puede apreciar en la Figura 25. La media departamental es de 1.051 y las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Exprovincia de Obando. Tiene 8.523 ovinos y caprinos.

Sabana. Tiene 1.920 ovinos y caprinos.

Cordillera. Tiene 1.209 ovinos y caprinos.

Las tres subregiones anteriores son las más destacadas en el sector ovino y caprino del departamento y la densidad por habitante se presenta en la Tabla 28.

Tabla 28. Densidad de ovinos y caprinos

Subregión	Habitantes	Ovinos y caprinos	Densidad de ovinos y caprinos (ovinos y caprinos/hab)
Exprovincia de Obando	273.776	8.523	0,031
Sabana	75.692	1.920	0,025
Cordillera	72.025	1.209	0,017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

5.2.3. Análisis de los residuos animales

Los residuos de animales tales como gallinas, cuyes, ganado, porcinos, ovinos y caprinos, pueden ser utilizados como materia prima para la generación de biogás. Los residuos útiles son el estiércol, sangre, vísceras abdominales y torácicas, sólidos grasos, plumas y orina.

Al llevar estos residuos a un proceso de digestión anaeróbica se obtiene el biogás. En la Tabla 29 se indica la producción diaria de biogás a partir del estiércol de algunos animales²⁶.

Tabla 29. Producción de biogás con estiércol

Tipo de animal (peso corporal individual)	Producción de biogás (m ³ /kg húmedo de estiércol)	Disponibilidad diaria de estiércol (kg)	Producción diaria de biogás (m ³)
Ganado (500 kg)	0,04	10	0,4
Aves (2 kg)	0,08	0,18	0,014
Porcino (50 kg)	0,06	2,25	0,014
Ovinos (32 kg)	0,05	1,5	0,08
Caprinos (50 kg)	0,05	2	0,1

Fuente: Adaptado de GUERRERO, L. 2013.

Las subregiones que no poseen un potencial o que no alcanzaron el umbral de la media aritmética en ninguno de los indicadores agropecuarios son: Guambuyaco, Abades, Pie de monte Costero y Telembí.

Analizando los puntos próximos a la media aritmética en cada indicador y se obtiene que, Guambuyaco se acerca en el indicador de cultivos anuales con 820 Ha sembradas (Maíz, yuca y frijol), con 24.216 Ha sembradas de pasto y en especies menores con 8.566 cerdos. La subregión Occidente se acerca con 817 Ha de cultivos anuales (arracacha, yuca y maíz).

5.3. Residuos sólidos urbanos (RSU).

En los indicadores de servicios públicos contienen datos de los residuos sólidos de las 13 subregiones del departamento de Nariño que se pueden observar en la Tabla 30. Las empresas que prestan el servicio de recolección de residuos y los disponen en los rellenos sanitarios (si existieran), reportan mensualmente los indicadores al Sistema Único de Información de Servicios Públicos de Colombia (SUI), y pueden ser consultados en línea por medio de su sitio web²⁷.

Los residuos sólidos urbanos se originan en la actividad doméstica y comercial. Los residuos producidos por los habitantes urbanos comprenden basuras, muebles y electrodomésticos viejos, embalajes y desperdicios de la actividad comercial, restos del cuidado de los jardines, la limpieza de las calles, etc. El grupo más voluminoso es el de las basuras domésticas que están compuestas por materia orgánica corresponden a los restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos y sobras de comida, en tanto que el material reciclable procede de papel y cartón, plásticos, vidrio y metales.

²⁶ GUERRERO, L. Que es el biogás?, Vida verde, 2013, disponible en: <http://vidaverde.about.com/od/Energias-renovables/a/Que-Es-El-Biogas.htm>

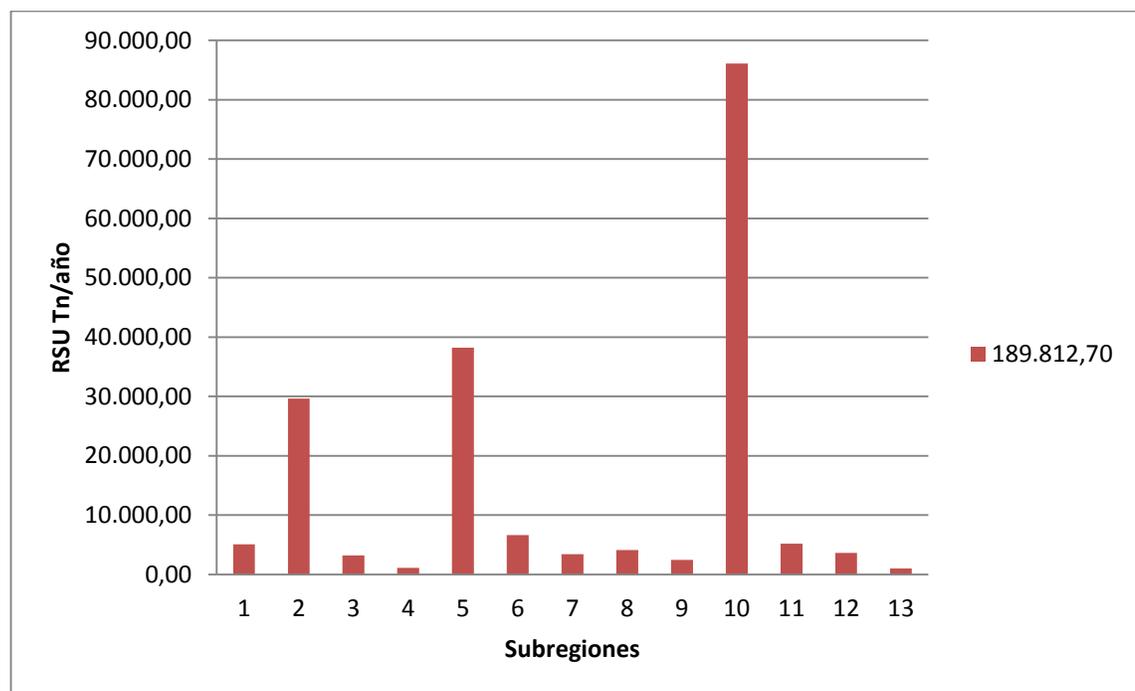
²⁷ Sistema Único de Información de Servicios Públicos. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2014. Disponible en: <http://www.sui.gov.co/SUIAuth/logon.jsp>

Tabla 30. Residuos sólidos urbanos en las 13 subregiones

No.	Subregión	Producción RSU (Tn/año)
1	Sanquianga	5.085,6
2	Pacífico Sur	29.613,7
3	Telembí	3.199,8
4	Pie de Monte Costero	1.119,3
5	Exprovincia de Obando	38.233,9
6	Sabana	6.618,7
7	Abades	3.406,6
8	Occidente	4.100,7
9	Cordillera	2.469,8
10	Centro	86.103,4
11	Juanambu	5.207,4
12	Rio Mayo	3.643,9
13	Guambuyaco	1.009,9
	TOTAL	189.812,7

Fuente: Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

Figura 26. RSU en las 13 subregiones



El total de producción de RSU es 189.812,7 toneladas anuales. La Figura 32 muestra las toneladas de RSU en un gráfico comparativo para cada subregión, obteniendo una media de 14.600,98 toneladas anuales para el departamento. Las subregiones que tienen un valor mayor a la media son:

Centro. Tiene una producción de 86.103,4 Tn/ año de RSU.

Exprovincia de Obando. Tiene una producción de 38.233,9 Tn/ año de RSU.

Pacífico Sur. Tiene una producción de 29.613,7 Tn/ año de RSU.

Las tres subregiones anteriores son las más destacadas en la producción de RSU del departamento de Nariño. En la Tabla 31 se muestra la densidad de toneladas anuales de RSU por habitante de las tres subregiones.

Tabla 31. Densidad de RSU

Subregión	Habitantes	RSU(Tn/año)	Densidad de RSU (Tn/hab)
Centro	466.331	86.103,40	0,185
Exprovincia de Obando	273.776	38.233,90	0,140
Pacífico Sur	196.316	29.613,70	0,151

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015.

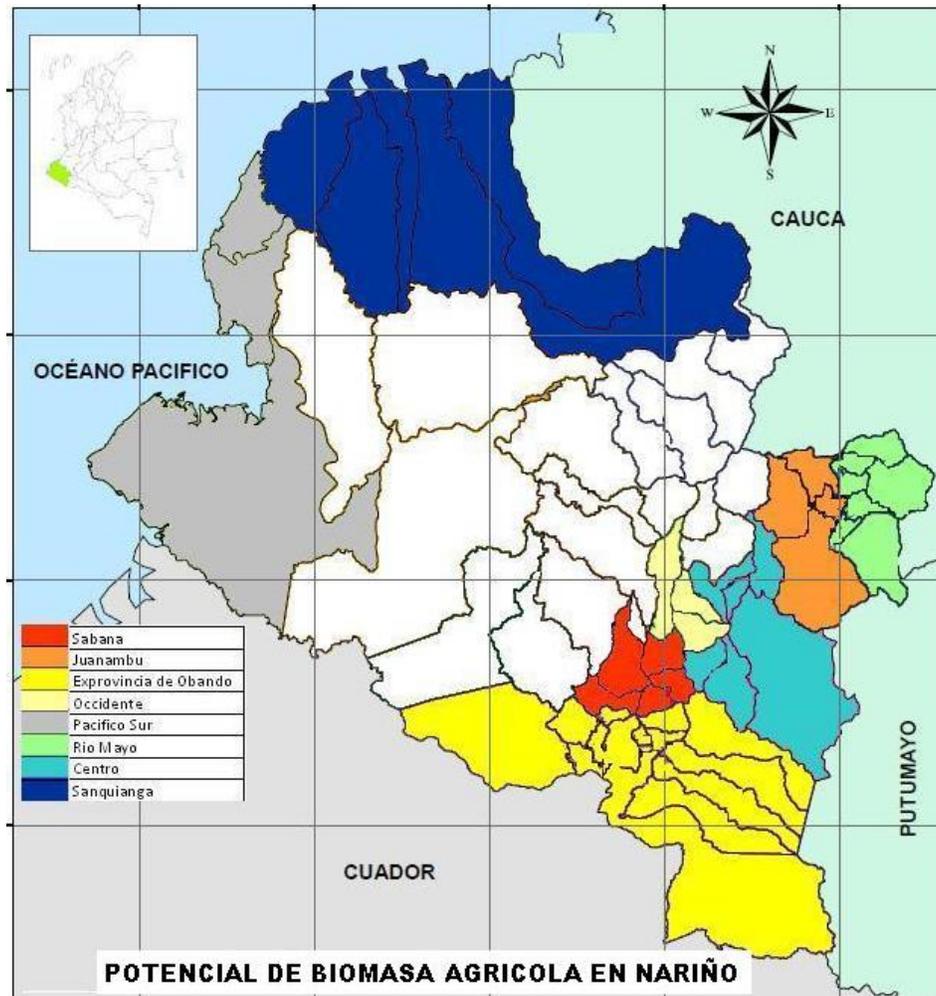
Los RSU se aprovechan en la incineración de algunos residuos clasificados (no se descomponen) y en la descomposición (biodigestor) del resto de residuos orgánicos en la producción de biogás.

5.4. Zonificación y Potencial Energético de Biomasa

Teniendo en cuenta la información anterior, la metodología para la determinación de posibles zonas de interés en proyectos de utilización de biomasa residual se puede resumir en los siguientes puntos.

- Búsqueda de datos de Biomasa en la base de datos de la UPME (disponible en www.si3ea.gov.co) en donde se encuentra el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.
- Identificar el nivel de Biomasa del departamento mediante el Mapa preliminar de Potencial de Biomasa que se encuentra en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.
- Exploración de los indicadores agropecuarios y de residuos sólidos urbanos del departamento (en este estudio se encontraron los indicadores en el plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 - 2015).
- Agrupar los indicadores en Agrícolas, Pecuarios y RSU.
- Identificar los productos y residuos de los indicadores agrícolas.
- Encontrar la media aritmética en cada indicador, para definir un umbral del potencial biomasa.
- Identificar las subregiones que superen el umbral del potencial de biomasa y obtener la densidad por número de habitante de las subregiones.
- Identificar los potenciales más destacados en base a la densidad.
- Reconocer el aprovechamiento de los productos y residuos de los potenciales a través de los métodos de transformación de la biomasa en energía.
- Establecer el potencial de biomasa en el departamento (en este estudio se indica el potencial mediante los mapas de las Figuras 27, 28 y 29). En estos mapas se observa el potencial por subregión por un código de colores de rojo a azul oscuro.

Figura 27. Mapa del Potencial de biomasa agrícola en el departamento de Nariño



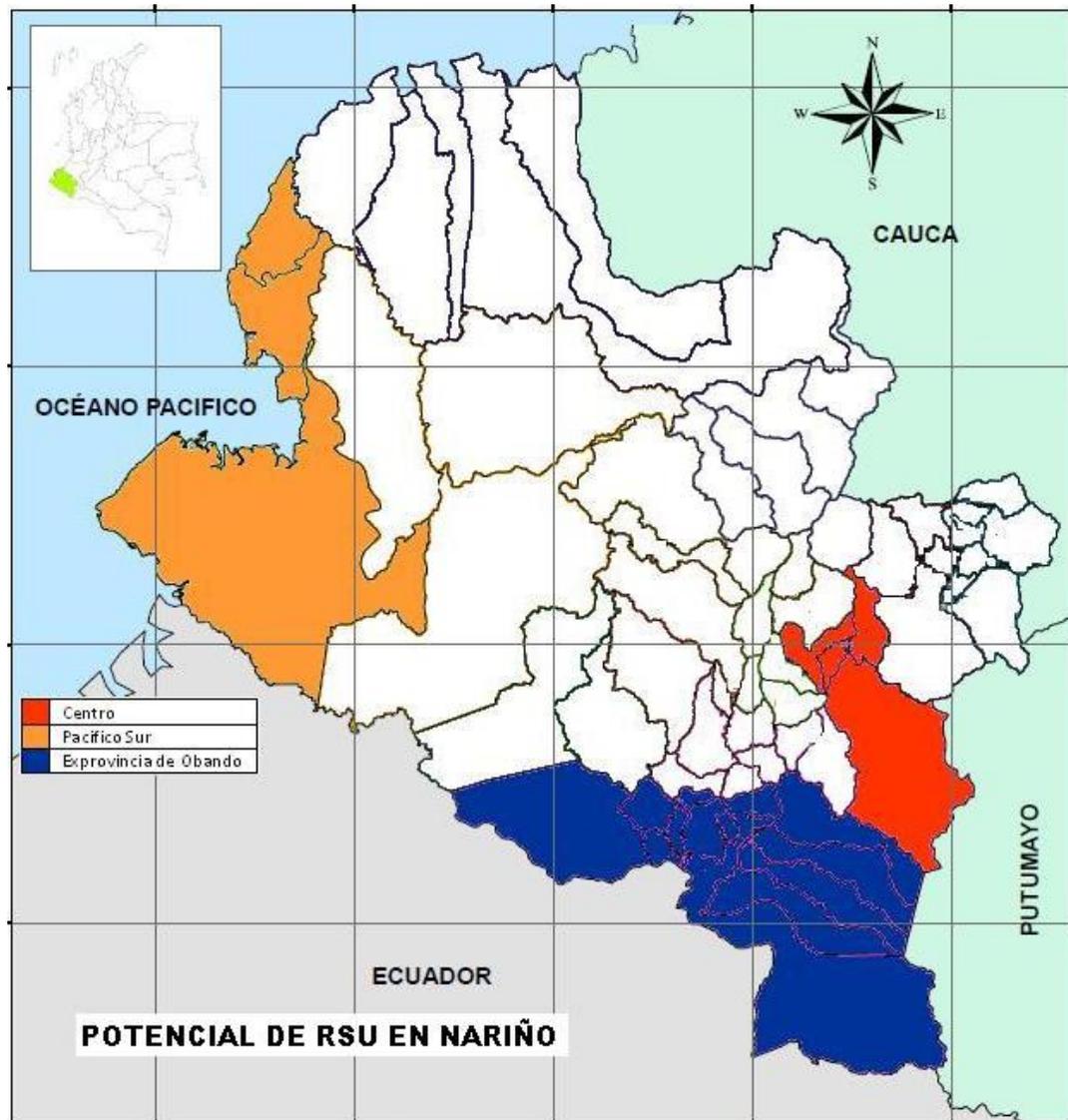
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015

Figura 28. Mapa del Potencial de biomasa pecuaria en el departamento de Nariño



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015

Figura 29. Mapa del Potencial de RSU en el departamento de Nariño



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Plan de desarrollo departamental 2012-2015

6. APLICACIONES EXITOSAS EN NARIÑO

Teniendo en cuenta la información de las secciones anteriores, se puede evidenciar la gran cantidad de recursos aprovechables en energías no convencionales que tiene el departamento de Nariño. Sin embargo, estas potencialidades no han sido aprovechadas y hasta el momento no se tiene conocimiento de grandes desarrollos al respecto.

Con la realización de una investigación exploratoria sobre el potencial energético renovable del departamento²⁸ se lograron identificar proyectos aislados y desarrollados esencialmente por propietarios interesados en estas temáticas. Cabe destacar que la mayoría de las experiencias proveen un punto de partida interesante y que se utilizaron dentro del planteamiento de proyectos en el PERS-Nariño.

En la Tabla 32 se presenta un resumen de las experiencias exitosas de las pocas aplicaciones de sistemas renovables no convencionales desarrolladas. Se observa que los sistemas fotovoltaicos aislados son una buena herramienta a la hora de generar energía para la iluminación de áreas y para la energización de bajas cargas de consumo cuando el recurso disponible es apropiado.

Cabe destacar que los biodigestores son sistemas aplicables en diferentes zonas, que aun siendo la temperatura un factor determinante en el proceso de generación de biogás, varias aplicaciones exitosas se han desarrollado en alturas consideradas inapropiadas para este tipo de soluciones. Por lo tanto el sistema es viable y de gran beneficio energético.

En cuanto a aplicaciones eólicas, solamente se tiene conocimiento de un molino de viento (con capacidad considerable), que resulta atractivo para estudiar el potencial real de este tipo de aplicaciones. Sin embargo, la mayor problemática radica en la escasez de mediciones para estimar una microzonificación.

Definitivamente, el gran potencial geotérmico del volcán Chiles sitúa al departamento de Nariño en una región prometedora en la generación de energía renovable no convencional a gran escala. Lastimosamente, la relación con las comunidades indígenas alrededor de los puntos de estudio no ha sido provechosa, por lo que se sugiere un proceso de capacitación y vinculación de entidades regionales y no gubernamentales para el acercamiento a los líderes comunitarios.

²⁸ ORBES, J., VALLEJO, W., Investigación exploratoria de sistemas de energía eléctrica renovable orientada a la búsqueda de soluciones energéticas en el departamento de Nariño. Trabajo de Grado, Departamento de Electrónica, Universidad de Nariño, 2013.

Tabla 32. Resumen de las experiencias exitosas en generación de energía en el departamento de Nariño

Tipo de energía	Sistema	Localización	Ubicación geográfica	Potencia producida	Uso de la fuente
Solar	Fotovoltaico aislado	Contadero	N 00°54,614' W 77°32,919'	150 W	Iluminación Led, televisor Led 32", radio, cargador de celular.
Solar	Fotovoltaico aislado	Ipiales	N 00°50'05,334" W 77°38'14,681"	269 W	Iluminación Led, televisor Led 32", radio, cargador de celular.
Solar	Fotovoltaico aislado	Ipiales	N 00°49'08,262" W 77°38'03,350"	55 W	Energización de Poste SOS – 02.
Solar	Fotovoltaico aislado	Ipiales	N 00°49'43,354" W 77°36'24,127"	55 W	Energización de Poste SOS – 03.
Geotérmica	Central geotérmica	Chiles - Cumbal	N 00°49' W 77°56'	Indeterminado	Proyecto Geotérmico - Etapa de prefactibilidad.
Eólica	Molino de Viento	Cualapud - Guachucal	N 00°55'48,981" W 77°43'34,733"	Indeterminado	Bomba de agua.
Biomasa	Biodigestor	Cuetial - Cumbal	N 00°53'09.207" W 77°51'08.002"	7m ³ de biogás por carga	Cocción de alimentos - Bioabono.
Biomasa	Biodigestor	Catambuco - Pasto	N 01°09'29,183" W 77°16'37,105"	7m ³ de biogás por carga	Calefacción.

Fuente: ORBES, J., VALLEJO, W., 2013.

7. BIBLIOGRAFIA

ALFARO, C., CARVAJAL, D., MOJICA, J., MOLANO MENDOZA, J., ROMERO, D. Contribución al Modelo Geotérmico del Volcán Azufral a partir de identificación de zonas de Alteración Hidrotermal. Geología Colombiana No. 33, pp. 99-108. Bogotá, Diciembre, 2008. Disponible en: <<http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/geociencias/revistageologia/gcolombiana33/8-Carvajal.pdf>>

ALFARO, C. Geoquímica del Volcán Azufral. Informe Preliminar Segunda Versión. INGEOMINAS Bogotá 24 pp. 2001.

ANGULO MESÍAS, Vilma; MARTÍNEZ SIERRA, Judith; PONCE, Germán. Plan de Ordenamiento y Manejo Sostenible del Ecosistema Páramo de Azufral y su área de Amortiguamiento en el Departamento de Nariño. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, 1996. p. 471.

BENAVIDES GONZALEZ, Jairo Alberto. Foro de Normalización y contexto nacional en Energía Solar y Eólica. IPSE, Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. Noviembre de 2008. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Eventos/Foro_Normalizacion/Aplicaciones%20IPSE.pdf>

BETANCUR T. & CORREA A. M. Estudio geológico de los depósitos piroclásticos proximales del volcán Azufral, Colombia. Tesis pregrado Facultad de Ciencias, Universidad Nacional. 171pp. Medellín. 1992.

CALVACHE, M., MONSALVE, M. & TORRE, P. Informe preliminar Proyecto: Evaluación de Amenazas y Riesgos Volcánicos Volcán Azufral. INGEOMINAS, informe interno (inédito), 31 pp. Pasto. 2000.

CCCP, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Boletín meteomarinero mensual del Pacífico Colombiano. Enero, 2012. Disponible en: <http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Enero/BoletinMeteomarineroMensualEnero_2012.pdf>

CCCP, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Boletín meteomarinero mensual del Pacífico Colombiano. Junio, 2012. Disponible en: <http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Junio/BoletinMeteomarineroMensualJunio_2012.pdf>

CORPOEMA, Corporación para la energía y el medio ambiente. Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Bogotá, D.C., Diciembre, 2010. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf>

GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de Abril, 2012.

GÓMEZ MARTÍNEZ, Diego Mauricio. Modelamiento de reservorios magmáticos del Volcán Azufral (Departamento de Nariño), Bogotá D.C., Colombia, 2012. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Disponible en: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/8513/1/diegomauriciogomezmartinez.2012.pdf>>

GONZALEZ, Fabio, RODRIGUEZ, Humberto. Manual de Radiación Solar en Colombia., Bogotá, D.C., Abril, 1992. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en:

<http://www.corpoema.com/CDenergia/H_Cap0_Prefacio.PDF>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Corponariño, Corporación Autónoma Regional del Cauca, Corpoamazonía e IDEAM. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental del complejo volcánico Doña Juana, Cerro Juanoy y su área de influencia. Tomo II. Bogotá, 2003. p. 276

MUNICIPIO DE IPIALES – SOCIEDAD COLOMBIANA DE ARQUITECTOS – CAPÍTULO IPIALES. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Diagnóstico Urbano. SCA. Ipiales, 2000.

OLADE, Organización Latinoamericana de Energía. Estudio de reconocimiento de los recursos geotérmicos de la República de Colombia, informe final. En: INGEOMINAS, 1985. Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. (CEGOC) XXI, 455 pp. 1982.

ORBES, J., VALLEJO, W., Investigación exploratoria de sistemas de energía eléctrica renovable orientada a la búsqueda de soluciones energéticas en el departamento de Nariño. Trabajo de Grado, Departamento de Electrónica, Universidad de Nariño, 2013.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO, CORPONARIÑO. Proyecto: Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. Tomo II: Características biofísicas de los páramos de Nariño. Grupo de investigación en biología de paramos y ecosistemas andinos, Equipo interdisciplinario proyecto páramos. San Juan de Pasto, Febrero de 2007. Disponible en: <<http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo02caracteristicasbiofisicas.pdf>>

UPME, IDEAM, Atlas de radiación solar de Colombia, 2005. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf>

UPME, IDEAM, Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, 2006. Disponible en: <<http://www.si3ea.gov.co/si3ea/Home/Energ%C3%ADaEolica/tabid/75/language/en-US/Default.aspx>>

UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, UIS., Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, 2010. Disponible en: <www1.upme.gov.co/index.php/servicios-de-informacion/publicaciones/category/1-energia.html?download=62%3AAtlas-de-biomasa&start=20>

UPME, Unidad de planeación minero energética. Plan Preliminar de Expansión de Referencia: Generación - Transmisión 2011-2025. Ministerio de Minas y Energía. Colombia. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2011/PLAN_EXPANSION_2011_2025_V1.pdf>

**Plan de Energización Rural Sostenible para
el Departamento de Nariño
(PERS-NARIÑO)**

Convenio Interinstitucional 110 de 2012

Universidad de Nariño

José Edmundo Calvache
RECTOR

Andrés Pantoja
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Darío Fajardo
COORDINADOR ADMINISTRATIVO PERS

**Unidad de Planeación Minero Energética
(UPME)**

Ángela Cadena
DIRECTORA GENERAL

Olga Leandra Rey
COORDINADORA TÉCNICA PERS

Brenda Roncancio
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**USAID, Programa de Energías Limpias para
Colombia (CCEP)**

José Eddy Torres
DIRECTOR GENERAL
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Catalina Álvarez
SUBDIRECTORA
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

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

Carlos Neira
DIRECTOR

Jairo Quintero
COORDINADOR TÉCNICO PERS