

**INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
RENOVABLE ORIENTADA A LA BÚSQUEDA DE SOLUCIONES
ENERGÉTICAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**JOSE ALONSO ORBES LASSO
WILSON ALEXANDER VALLEJO CORAL**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2013**

**INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
RENOVABLE ORIENTADA A LA BÚSQUEDA DE SOLUCIONES
ENERGÉTICAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

**JOSE ALONSO ORBES LASSO
WILSON ALEXANDER VALLEJO CORAL**

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar el título de Ingeniero
Electrónico**

**DIRECTOR
DARÍO FERNANDO FAJARDO FAJARDO
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2013**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966. Emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, 19 de Abril de 2013.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Nariño, al Departamento de Electrónica en donde realizamos nuestra formación académica y profesional, obteniendo los conocimientos necesarios para poder desarrollar nuestro Trabajo de Grado.

Al Ingeniero Darío Fernando Fajardo Fajardo quien fue el asesor de este proyecto, creyendo en nuestras capacidades y luego guiándonos para poder resolver los inconvenientes que se presentaron en el desarrollo.

Al Ingeniero Marco Valencia Delgado Director de Planificación de la Expansión en CELEC EP, a la Doctora María Luz Pérez López Gerente Proyectos de Generación en ISAGEN, Al Antropólogo Álvaro Bolaños López Director del Centro Ambiental Sur CORPONARIÑO y al personal de la finca Botana de la Universidad de Nariño, quienes nos brindaron soportes bibliográficos y la información guía para desarrollar esta investigación.

A las siguientes personas que voluntariamente nos suministraron información y nos dieron acceso a las aplicaciones implementadas.

*Fidel Chalparizan
José Santos Ortega
Ramiro Unigarro
Carlos Vallejo
Luis Carlos Martínez
Menandro Figueroa Castillo*

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a mis padres, Ramiro y Gloria, por su esfuerzo y entrega constante para formarme como profesional, a mi hermana Sofía por su apoyo y sus palabras de guía en mis procesos de vida.

A mi hija Victoria porque me enseñó el verdadero significado de una sonrisa y me motiva para alcanzar con más fuerza mis ideales.

A mi amigo y compañero Wilson con el que decidimos trabajar para alcanzar este logro. Jose.

Quiero dedicar éste logro al Sagrado Corazón de Jesús quien me ha guiado y ha sido quien me ha dado las fuerzas para seguir luchando por mis sueños.

A mis padres, Mary Elena y Jorge Elías ya que su esfuerzo y sacrificio se ven reflejados en este logro, gracias por su paciencia, su apoyo y por haberme criado con humildad en el ejemplo de constancia y fe que los caracteriza a ustedes dos, Dios los bendiga.

A mi hermano Jorge Luis que me ha brindado su apoyo de forma desinteresada y con pocas palabras ha tenido la palabra indicada en el momento preciso.

A mi hermana Mary Milena, a su esposo Wilmer y mis sobrinas María Fernanda e Isabela, que han sido una gran fortaleza y han logrado sacar una sonrisa en los momentos más difíciles, su apoyo constante fue una buena arma para continuar.

A Jose, por ser un buen amigo y por haber luchado conmigo para lograr alcanzar esta meta. Wilson.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	21
1 PROBLEMA.....	23
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA	23
1.3 JUSTIFICACIÓN	23
2 ALCANCES	24
3 OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
4 MARCO CONCEPTUAL.....	26
4.1 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA SOLAR	26
4.1.1 Aspectos generales.....	26
4.1.2 Tipos de Energía Solar.....	26
4.1.2.1 Energía Solar Térmica.....	26
4.1.2.1.1 Elementos de los Colectores.....	26
4.1.2.1.2 Clases de Colectores Solares Térmicos	27
4.1.2.1.3 Rendimiento de un Colector Solar.....	27
4.1.2.2 Energía Solar Eléctrica.....	28
4.1.2.2.1 Sistema Solar Fotovoltaico Aislado:.....	28
4.1.2.2.2 Sistema Solar Fotovoltaico Interconectado a la Red.....	31
4.2 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	31
4.2.1 Aspectos generales.....	31
4.2.2 Tipos de Energía Geotérmica.....	33
4.2.2.1 Energía Geotérmica Directa.....	33
4.2.2.2 Energía Geotérmica Eléctrica.....	33
4.2.2.2.1 Tipos de Plantas de Generación Eléctrica.....	33
4.2.3 Etapas de un Proyecto Geotérmico.....	34
4.2.3.1 Etapa de Reconocimiento.....	34
4.2.3.2 Etapa de Prefactibilidad.....	34
4.2.3.3 Etapa de Factibilidad.....	35
4.2.3.4 Etapa de Desarrollo.....	35
4.2.3.5 Etapa de Operación y Mantenimiento.....	35

4.3	ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA EÓLICA	36
4.3.1	Aspectos generales.	36
4.3.2	Transformación de la energía eólica en energía eléctrica.	36
4.3.3	Componentes principales de un aerogenerador.	38
4.3.4	Parámetros importantes de la energía eólica.	39
4.4	ESTADO DEL ARTE DE LA BIOMASA	40
4.4.1	Aspectos generales.	40
4.4.2	Clasificación de la Biomasa.	40
4.4.2.1	Biomasa Primaria.	40
4.4.2.2	Biomasa Residual	41
4.4.3	Transformación de la biomasa en energía eléctrica.	41
4.4.3.1	Procesos de Combustión Directa.	41
4.4.3.2	Co-combustión.	42
4.4.3.3	Gasificación.	42
4.4.3.4	Digestión Anaeróbica.	42
4.4.3.5	Combustibles alcohólicos.	43
4.4.3.6	Biodiesel.	43
4.4.3.7	Pirolisis.	43
4.4.3.8	Producción de carbón vegetal.	44
4.4.3.9	Licuefacción.	44
4.4.4	Hidrogeno.	44
4.5	APLICACIONES DESTACADAS EN ERNC	45
4.5.1	Eficiencia Energética	45
4.5.2	Iluminación de Edificios.	45
4.5.3	Alumbrado Público.	45
4.5.4	Vehículos Eléctricos.	46
4.5.5	Maquinaria Industrial.	46
4.5.6	Smart Grid.	46
4.6	ANÁLISIS EN COLOMBIA DE LAS APLICACIONES DESTACADAS DE FNCE	46
4.6.1	Eficiencia Energética en Colombia	46
4.6.2	Iluminación de Edificios Energéticamente Eficientes en Colombia.	47
4.6.3	Alumbrado Público Fotovoltaico en Colombia.	48
4.6.4	Smart Grids en Colombia	48
4.6.5	Vehículos Eléctricos en Colombia.	49

5	DESARROLLO	51
5.1	COMPARACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE CADA ALTERNATIVA DE GENERACION DE ENERGÍA ELECTRICA NO CONVENCIONAL	51
5.2	POTENCIAL DE LAS FNCE EN NARIÑO	56
5.2.1	Potencial de Energía Solar en Nariño.....	57
5.2.2	Potencial de Energía Geotérmica en Nariño.....	64
5.2.3	Potencial de Energía Eólica en Nariño.	65
5.2.4	Potencial de Energía Biomasa en Nariño.	73
5.2.4.1	Cultivos transitorios.	74
5.2.4.2	Cultivos anuales.	76
5.2.4.3	Cultivos permanentes.....	78
5.2.4.4	Análisis de los cultivos.....	80
5.2.4.5	Pastos.	81
5.2.4.6	Ganadería.	83
5.2.4.7	Especies menores.....	85
5.2.4.7.1	Gallinas.	85
5.2.4.7.2	Cuyes.	86
5.2.4.7.3	Porcinos.	87
5.2.4.7.4	Ovinos y caprinos.	89
5.2.4.8	Análisis de los residuos animales.....	91
5.2.4.9	Residuos sólidos urbanos (RSU).....	91
5.2.5	Potencial de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Nariño.	93
5.3	APLICACIONES DE SISTEMAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES DESARROLLADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.....	94
5.3.1	Energía Solar.	95
5.3.1.1	Paneles Solares en el municipio de El Contadero.	95
5.3.1.2	Paneles solares en el barrio Totoral de la ciudad de Ipiales..	97
5.3.1.3	Sistemas SOS en el corredor vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí – Aeropuerto Antonio Nariño.....	98
5.3.1.3.1	Los postes S.O.S.....	99
5.3.1.3.2	Mantenimiento.....	100
5.3.2	Energía Geotérmica.	100
5.3.2.1	Volcán Azufra.	101
5.3.2.1.1	Antecedentes.....	101
5.3.2.1.2	Marco Geológico.	102
5.3.2.1.3	Análisis.....	102

5.3.2.2 Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.....	103
5.3.2.2.1 Antecedentes.....	103
5.3.2.2.2 Traspaso a ISAGEN	103
5.3.2.2.3 Localización del proyecto.....	104
5.3.2.2.4 Estudios de Prefactibilidad.....	104
5.3.2.2.5 Etapas futuras.	105
5.3.3 Energía Eólica	105
5.3.3.1 Molino de viento Cualapud	105
5.3.4 Biomasa	107
5.3.4.1 Biodigestores en Nariño	107
5.3.4.1.1 Biodigestor en la vereda Cuetial	108
5.3.4.1.2 Biodigestor en la granja de Botana.	109
5.3.5 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH).....	111
5.3.5.1 PCH en el Santuario de Las Lajas.....	111
5.3.5.1.1 Elementos de la PCH Las Lajas	112
5.3.5.1.2 Consumo eléctrico en la red de la PCH.	113
5.3.5.1.3 Sucesos en la PCH Las Lajas	114
6 RESULTADOS	115
6.1 AVANCES TECNOLÓGICOS.....	115
6.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ZONIFICACIÓN	115
6.3 RESUMEN DE LAS APLICACIONES EXITOSAS	119
6.4 MAPAS DE POTENCIALES DE ENERGIAS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.....	121
7 CONCLUSIONES.....	127
8 RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFIA.....	131

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama del Sistema Fotovoltaico Aislado	30
Figura 2. Sistema Fotovoltaico interconectado a la red.....	31
Figura 3. Modelo de Campo Geotérmico	32
Figura 4. Áreas de radiación solar sobre la tierra.....	36
Figura 5. Sistema mecánico del Aerogenerador	37
Figura 6. Fuentes de Biomasa	40
Figura 7. Diagrama de bloques de la producción biológica de hidrogeno	45
Figura 8. Brillo Solar en la subregión río Mayo	58
Figura 9. Temperatura máxima en la subregión río Mayo	58
Figura 10. Brillo Solar en las subregiones Centro y Occidente.....	59
Figura 11. Temperatura máxima en las subregiones Centro y Occidente	60
Figura 12. Brillo Solar en la subregión Exprovincia de Obando.....	61
Figura 13. Temperatura máxima en la subregión Exprovincia de Obando	61
Figura 14. Brillo Solar en las subregiones Exprovincia de Obando y Sabana	62
Figura 15. Temperatura máxima en las subregiones Centro y Sabana.....	62
Figura 16. Mapa brillo solar en Nariño	64
Figura 17. Velocidad del viento en las tres estaciones.....	66
Figura 18. Rosa de vientos en la estación sinóptica del aeropuerto Antonio Nariño	67
Figura 19. Velocidad del viento en la estación Aeropuerto San Luis	68
Figura 20. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes de enero	70
Figura 21. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes de junio.....	71
Figura 22. Mapa de velocidad del viento en Nariño	73
Figura 23. Área sembrada de cultivos transitorios en las 13 subregiones.....	75
Figura 24. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones.....	77
Figura 25. Área sembrada de cultivos permanentes en las 13 subregiones.....	79

Figura 26. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones	82
Figura 27. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones.....	84
Figura 28. Número de gallinas en las 13 subregiones	85
Figura 29. Número de cuyes en las 13 subregiones	87
Figura 30. Número de cerdos en las 13 subregiones.....	88
Figura 31. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones	90
Figura 32. RSU en las 13 subregiones	92
Figura 33. Poste SOS Fotovoltaico	99
Figura 34. Dimensiones del molino de viento en la vereda Cualpud	107
Figura 35. Mapa del Potencial de energía solar en el departamento de Nariño	121
Figura 36. Mapa del Potencial de energía geotérmica en el departamento de Nariño ...	122
Figura 37. Mapa del Potencial de energía eólica en el departamento de Nariño.....	123
Figura 38. Mapa del Potencial de biomasa agrícola en el departamento de Nariño	124
Figura 39. Mapa del Potencial de biomasa pecuaria en el departamento de Nariño	125
Figura 40. Mapa del Potencial de RSU en el departamento de Nariño	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Eficiencia de los Módulos de Silicio.....	29
Tabla 2. Composición Química del Biogás.....	43
Tabla 3. Ventajas y Desventajas de las ERNC	51
Tabla 4. Impacto ambiental y aplicaciones de las ERNC	52
Tabla 5. Ventajas y desventajas de las diferentes formas de biomasa	54
Tabla 6. Impacto ambiental y aplicaciones de las diferentes formas de Biomasa	55
Tabla 7. Subregiones del departamento de Nariño	56
Tabla 8. Estaciones meteorológicas	57
Tabla 9. Promedio diario de brillo solar en las estaciones meteorológicas.....	63
Tabla 10. Estaciones meteorológicas para energía eólica	65
Tabla 11. Conversión de nudos a m/s.....	70
Tabla 12. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de enero	70
Tabla 13. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de junio.....	71
Tabla 14. Promedio anual de la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas ..	72
Tabla 15. Área sembrada de cultivos transitorios en las 13 subregiones	74
Tabla 16. Densidad de cultivos transitorios.....	76
Tabla 17. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones	76
Tabla 18. Densidad de cultivos anuales.....	78
Tabla 19. Área sembrada de cultivos permanentes en las 13 subregiones.....	78
Tabla 20. Densidad de cultivos permanentes	80
Tabla 21. Productos y sus residuos	80
Tabla 22. Productos agrícolas para la generación de biocombustible.....	80
Tabla 23. Residuos agrícolas para la generación de energía	81
Tabla 24. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones	81
Tabla 25. Densidad de cultivos de pasto	82
Tabla 26. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones.....	83

Tabla 27. Densidad de ganadería.....	84
Tabla 28. Número de gallinas en las 13 subregiones.....	85
Tabla 29. Densidad de gallinas.....	86
Tabla 30. Número de cuyes en las 13 subregiones	86
Tabla 31. Densidad de cuyes	87
Tabla 32. Número de cerdos en las 13 subregiones	88
Tabla 33. Densidad de porcinos	89
Tabla 34. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones	89
Tabla 35. Densidad de ovinos y caprinos	90
Tabla 36. Producción de biogás con estiércol.....	91
Tabla 37. Residuos sólidos urbanos en las 13 subregiones.....	92
Tabla 38. Densidad de RSU	93
Tabla 39. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Nariño	93
Tabla 40. Datos del Sistema en el Municipio de El Contadero.....	95
Tabla 41. Consumo Eléctrico diario del Sistema Aislado	96
Tabla 42. Datos del Sistema en la Ciudad de Ipiales	97
Tabla 43. Consumo Eléctrico diario del Sistema Aislado	98
Tabla 44. Datos del Poste SOS - 02	100
Tabla 45. Datos del Poste SOS - 03	100
Tabla 46. Datos del sistema en la vereda Cualapud	105
Tabla 47. Datos del biodigestor en la vereda Cuetial	108
Tabla 48. Datos del Biodigestor en la Granja de Botana.....	109
Tabla 49. Datos del nuevo Biodigestor	110
Tabla 50. Datos de la PCH Las Lajas	111
Tabla 51. Especificaciones Turbina Hidráulica.....	112
Tabla 52. Especificaciones Generador Eléctrico	113
Tabla 53. Especificaciones del excitador	113
Tabla 54. Mantenimiento PCH.....	114
Tabla 55. Avances tecnológicos más importantes	115
Tabla 56. Resumen de las experiencias exitosas en generación de energía en el departamento de Nariño	120

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Clases de Colectores Solares
- Anexo 2. Elementos para un Sistema Solar Fotovoltaico
- Anexo 3. Tipos de Plantas de Generación de Energía Eléctrica con Geotermia
- Anexo 4. Escala de Beaufort y relación tamaño aerogenerador - potencia
- Anexo 5. Componentes básicos de un aerogenerador
- Anexo 6. Transformación de la biomasa y funcionamiento de una central biomasa con quema directa
- Anexo 7. Proceso completo de gasificación y tabla de composición del gas combustible y su poder calorífico
- Anexo 8. Cadena de la biomasa cuando se utilizan biodigestores
- Anexo 9. Avances tecnológicos de los 4 sistemas generadores de energía eléctrica más importantes
- Anexo 10. Potencialidad en Colombia de las FNCE
- Anexo 11. Subregiones del departamento de Nariño
- Anexo 12. Promedio de Brillo solar diario en las estaciones meteorológicas
- Anexo 13. Promedio de la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas
- Anexo 14. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
- Anexo 15. Datasheet del panel solar BPSOLAR
- Anexo 16. Datasheet Regulador marca BP Solar modelo GCR 2000
- Anexo 17. Datasheet Batería marca mtek modelo MT121050
- Anexo 18. Registro fotográfico del Sistema Fotovoltaico en El Contadero
- Anexo 19. Registro fotográfico Sistema Fotovoltaico en Ipiales
- Anexo 20. Registro Fotográfico de los Postes SOS 02 y 03
- Anexo 21. Localización Geográfica del Volcán Azufral
- Anexo 22. Localización geográfica del Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro
- Anexo 23. Registro Fotográfico Molino de viento vereda Cualapud
- Anexo 24. Biodigestor
- Anexo 25. Base de Datos Usuarios Biodigestores Corponariño

Anexo 26. Registro Fotográfico Biodigestor Vereda Cuetial

Anexo 27. Registro Fotográfico Biodigestor instalado en Botana

Anexo 28. Registro Fotográfico de la PCH Las Lajas

GLOSARIO

ACS: Agua caliente sanitaria.

Aeroelasticidad: Ciencia que estudia la interacción entre las fuerzas inerciales, elásticas y aerodinámicas.

Álabe: Es la paleta curva de una turbomáquina o máquina de fluido rotodinámica.

Alisios: Vientos constantes que soplan desde las regiones tropicales, en dirección al ecuador. Se desplazan por la parte baja de la atmósfera.

Anemómetro: Aparato meteorológico que se usa para la predicción del clima y, específicamente, para medir la velocidad del viento.

BAS: (Brake Assist System) Servofreno de emergencia es un sistema de asistencia de frenada de emergencia.

Domótica: Integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado.

Edificio: Obras o actividades relacionadas con la edificación.

EFV: Energía solar fotovoltaica.

EGS: Sistemas Geotérmicos Estimulados.

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

Electrolizador: Aparato en que se lleva a cabo la descomposición de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica.

EMAS: Estación Meteorológica Automática Satelital.

Emisividad: Proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a una diferencia de temperatura con su entorno.

Entalpia: Es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que puede intercambiar con su entorno.

Exotérmico: Procesos que desprenden energía en forma de calor.

Extrusión: Proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija.

FNCE: Fuentes No Convencionales de Energía.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IEA: Agencia Internacional de Energía.

IEEE: Institute of Electronic and Electric Engineers.

IPSE: Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las zonas no interconectadas.

Magma: es el nombre que recibe la materia rocosa fundida, Es una masa ígnea en fusión que existe en el interior de la Tierra.

MPPT (*maximum power point tracking*): Seguimiento de punto de máxima potencia, es una técnica de conexión a red, cargadores de baterías solares y dispositivos similares utilizan para obtener la máxima potencia posible a partir de uno o más dispositivos fotovoltaicos, típicamente paneles solares.

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía.

Orografía: Parte de la geografía física que se dedica a la descripción de montañas.

PERS: Proyecto de Energía Renovable Sostenible.

Radiómetro: Instrumento para detectar y medir la intensidad de energía térmica radiante, en especial de rayos infrarrojos.

SMART GRIDS: Red de distribución de energía eléctrica "inteligente". Es un sistema que identifica y se conecta a la red eléctrica para optimizar la producción y la distribución de Electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores.

Transeterificación: Proceso de intercambiar el grupo alcoxi (grupo alcalino unido a un átomo de oxígeno) de un alcohol.

Tobera: Dispositivo que convierte la energía potencial de un fluido (en forma térmica y de presión) en energía cinética.

UPME: Unidad de Planeación Minera Energética.

RESUMEN

El presente trabajo es una investigación que se realizó con el fin de explorar en el departamento de Nariño soluciones energéticas para las diferentes zonas que lo conforman. En el departamento se busca identificar el potencial de energía solar, eólica, geotérmica y biomasa.

El escenario actual en generación de energía eléctrica mediante energía renovable no convencional en el departamento de Nariño es bastante limitado. La motivación de esta investigación es evidenciar que se puede dar un uso apropiado de las fuentes energéticas renovables, teniendo en cuenta que el departamento posee una gran variedad de ellas.

Con la investigación se consiguió una metodología para la zonificación e identificación del potencial energético que el departamento de Nariño posee. Además, se obtuvo una sección de resultados donde se expone una serie de ideas encaminadas al aprovechamiento del potencial identificado. La investigación se desarrolló en 4 etapas. En la primera se realizó una exploración de los sistemas de generación de energía eléctrica no convencionales, a través de la base de datos de IEEE, internet y bibliografía correspondiente. En la segunda etapa se realizó una comparación cualitativa de las especificaciones de los sistemas a partir de la exploración realizada en la etapa 1. En la tercera etapa se examinó la tendencia mundial en aplicaciones que actualmente están siendo implementadas con estos sistemas no convencionales. Finalmente, en la cuarta etapa se identificó las zonas del departamento de Nariño que presentan mayor potencial de recursos para los sistemas generadores de energía no convencionales. Esta etapa se desarrolló mediante un análisis con datos de estudios previos suministrados por entidades públicas y privadas, además del análisis de los lugares donde actualmente se encuentran desarrollos en energía renovable no convencional.

ABSTRACT

The present work is an investigation that was done in order to explore in the department of Nariño energy solutions for the different areas that comprise it. The research looks for in solar, wind, geothermal and biomass potentials in different zones of Nariño.

The current scenario in power electric generation by non-conventional renewable energy in the department of Nariño is quite limited. The motivation of this research is to show that appropriate use of renewable energy sources is possible, taking into account that the department has a wide variety of every potentials.

With research methodology was achieved for zoning and identification of potential energy that has Nariño department. In addition, we obtained a results section which expose a number of ideas aimed at harnessing the potential identified. The research was developing in four stages. The first was performed an examination systems power generation unconventional through IEEE database, internet and corresponding bibliography. In the second stage was performed a qualitative comparison of the system specifications is performed with the scan in stage one. In the third stage examined the global trend in applications that are currently being implemented with these non-conventional systems. Finally, in the fourth stage identified areas in Nariño department with the greatest resource potential for energy generation with unconventional systems. This stage was developed by analyzing data from previous studies provided by public and private entities, besides the analysis of the place where developments are currently being implemented with non-conventional renewable energy.

INTRODUCCION

El desarrollo de un departamento en el ámbito social, industrial y económico debe estar sujeto al avance de las energías renovables, por lo cual, la UPME y el IDEAM construyeron en el año 2005, el atlas de radiación solar y en el año 2006, el atlas de viento y energía eólica para todo el territorio Colombiano. Los atlas del potencial geotérmico y del potencial energético de biomasa residual actualmente se encuentran en desarrollo. Esto indica que, la información consignada en los atlas no se encuentra actualizada y no contiene información de la disponibilidad de los recursos que los departamentos poseen.

Por las características geográficas, el amplio sector agrícola y la biodiversidad, el departamento de Nariño se identifica como una región con altas probabilidades de potencial en fuentes de energías renovables. Los recursos renovables que el departamento posee no han sido dirigidos al estudio de su aprovechamiento en sistemas de generación de energía. Adicional a esto, la generación de energía eléctrica en el departamento de Nariño se realiza principalmente por hidroeléctricas, ubicadas en: río Mayo, río Bobo, río Sapuyes, río Julio Bravo y río Ingenio. Juntas generan un total de 27,1 MW, que representa el 18% del consumo total del departamento. La generación también se realiza en varios sectores de la costa pacífica y en zonas rurales aisladas mediante combustibles fósiles (Diesel y Gasolina). Por ende, es conveniente realizar una investigación, con el fin de identificar el potencial de las fuentes energéticas renovables que posee el departamento de Nariño y así aportar en su desarrollo.

En este documento está consignado el estado del arte de los sistemas de energía renovable no convencional, con el propósito de dar a conocer los conceptos básicos de las energías alternativas, como también los procesos para la transformación de la energía. El tener un conocimiento adecuado en energías renovables genera una concientización en cuanto al cuidado del planeta y a la preservación de sus recursos, siendo esto una motivación para iniciar estudios del potencial disponible en una región para aprovecharlo mediante sistemas de generación de energía renovable.

Es de vital importancia la búsqueda del potencial energético en las zonas del departamento de Nariño, para lo cual, en esta investigación se estableció una metodología de zonificación del potencial energético en el departamento. La metodología se concentra en la búsqueda de datos previos de los recursos energéticos regionales y de los datos de las pocas aplicaciones implementadas que arrojan un indicador de aprovechamiento en las zonas de ubicación. El siguiente paso de la metodología es la evaluación de los datos recolectados en la

exploración, para definir mediante mapas las zonas que presentan un potencial en una o varias fuentes renovables. De acuerdo al potencial identificado en las zonas del departamento, se obtienen resultados que arrojan ideas de posibles implementaciones para el aprovechamiento de la fuente renovable. Esta metodología de zonificación es un aporte que se documenta en la sección de resultados con el fin de que se aplique como una guía para la realización de nuevos estudios de zonificación en el país o en las subregiones del departamento de Nariño.

La principal contribución de este trabajo es la obtención de un documento con una recolección bibliográfica útil para los temas relacionados con esta investigación, información de estaciones meteorológicas e indicadores relevantes del departamento de Nariño. De esta manera, el presente documento servirá como insumo para posteriores estudios de energía renovable en la región (como el Proyecto de Energización Rural Sostenible que será ejecutado por la Universidad de Nariño en convenio con la UPME, el IPSE y TETRA TECH).

1 PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento de Nariño cuenta con recursos energéticos diversos pero no han sido dirigidos al estudio de las energías renovables no convencionales aplicables en el departamento.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

El departamento de Nariño posee regiones aprovechables en cuestión de energía renovable o sustentable pero no tiene un desarrollo de generadores de energía eléctrica no convencionales. Hasta el momento, cuenta con un proyecto geotérmico Binacional en su etapa de prefactibilidad en la zona de frontera entre Colombia y Ecuador donde se encuentra el volcán Chiles.

El mayor porcentaje de cobertura eléctrica en el departamento de Nariño se obtiene mediante la compra de energía eléctrica al sistema interconectado nacional. 27,1 MW son generados y suministrados al departamento de Nariño por pequeñas centrales hidroeléctricas ubicadas en: río Mayo, río Bobo, río Sapuyes, río Julio Bravo, mini central río Ingenio. Además, Nariño no cuenta con otros sistemas generadores. Por lo cual, se puede afirmar que no se han aprovechado los altiplanos, la variedad de climas y las zonas volcánicas que posee. También, existe baja cobertura energética en las Zonas No Interconectadas del departamento de Nariño.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Es conveniente realizar una metodología para la zonificación de los mapas solar, eólico, geotérmico y biomasa, con el fin de identificar el potencial energético en las diferentes zonas del departamento de Nariño, debido a que este posee una gran diversidad de recursos naturales que se pueden aprovechar para la realización de plantas no convencionales de generación de energía. Para ello, es necesario realizar una exploración de los datos previos de los recursos energéticos regionales y de los datos de las pocas aplicaciones implementadas en el departamento para tener una base de datos, la cual brindará una clara información de las zonas más apropiadas donde se puedan adaptar sistemas generadores de energía no convencionales.

2 ALCANCES

- Contribuir en el desarrollo investigativo del sector energético en el departamento de Nariño.
- Conseguir la zonificación en el departamento de Nariño para ampliar la visión en cuanto a la adecuada ubicación de los sistemas generadores de energía renovables no convencionales.
- Realizar recomendaciones de aplicación que sean viables después del estudio y análisis realizados.
- Obtener un documento guía para estudios posteriores en temas relacionados con energía renovable no convencional en el departamento de Nariño.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar investigación exploratoria del estado del arte de la generación de energía eléctrica no convencional y sus principales aplicaciones y desarrollos en el departamento de Nariño.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explorar las diferentes formas de generación de energía eléctrica sustentable o no convencional.
- Comparar las especificaciones eléctricas de cada alternativa de generación de energía eléctrica no convencional resultado de la exploración.
- Observar la tendencia mundial sobre las fuentes de generación de energía eléctrica en alumbrado público, vehículos eléctricos, maquinaria industrial, iluminación de edificios, eficiencia energética y redes eléctricas inteligentes.
- Establecer una metodología para la zonificación de los mapas solares, energía eólica, energía geotérmica y biomasa en el departamento de Nariño.

4 MARCO CONCEPTUAL

4.1 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA SOLAR

4.1.1 Aspectos generales. La energía solar llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, generada por un proceso de fusión nuclear en el interior del Sol. La energía solar se transfiere a la superficie de la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre llegando a la Tierra por dos vías diferentes: incidiendo en los objetos iluminados por el Sol (radiación directa) y por reflexión de la radiación solar absorbida en la atmósfera y en el polvo atmosférico (radiación difusa). La suma de la radiación solar directa y difusa es lo que se conoce con el nombre de Radiación Solar Global. La radiación solar que recibe la Tierra oscila entre los 1.300 y los 1.400 W/m² aproximadamente. Estos valores pueden variar dependiendo de las condiciones climatológicas, que a su vez dependen de la ubicación geográfica (latitud y longitud) y del periodo del año¹.

4.1.2 Tipos de Energía Solar.

4.1.2.1 Energía Solar Térmica. Es la energía proveniente de la radiación del sol, que se utiliza en forma de calor para el calentamiento de un fluido. Su aprovechamiento se lo hace mediante el uso de colectores o paneles solares térmicos que captan los rayos del sol, luego se hace pasar un fluido por este colector y el calor absorbido es transferido al fluido, para que luego se almacene en un depósito acumulador. Comúnmente la energía solar térmica se utiliza en el calentamiento de ACS (Agua Caliente Sanitaria), calentamiento de agua para piscinas, calefacción, sistemas de refrigeración, etc.

4.1.2.1.1 Elementos de los Colectores.

- **Cubierta:** Es transparente, puede estar presente o no y generalmente es de vidrio aunque también se utilizan de plástico. Su función es evitar que el aire exterior esté en contacto con la placa absorbente y provoque pérdidas por convección.
- **Canal de aire:** Espacio (vacío o no) que separa la cubierta de la placa absorbente.
- **Placa absorbente:** Absorbe la energía solar y la transmite al líquido que circula por las tuberías.
- **Tubos o conductos:** Los tubos tocan la placa absorbente para el intercambio

¹ISAGEN S.A E.S.P., Generación y Comercialización de Energía. Fuentes no convencionales de generación de electricidad, 2005.

de energía y en ellos circula el líquido que se calentará e irá hacia el tanque de acumulación.

- **Capa aislante:** Recubre el sistema para evitar y minimizar pérdidas².

4.1.2.1.2 Clases de Colectores Solares Térmicos. Principalmente existen 3 clases:

- **Colectores Planos:** Son los más utilizados actualmente para la producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria). Están formados por una cubierta normalmente de doble vidrio por arriba y aislante por detrás que protege la instalación, permite conservar el calor produciendo un efecto invernadero, lo cual mejora el rendimiento del captador y deja pasar los rayos del sol.
- **Colectores al Vacío:** Son utilizados para aplicaciones en sistemas de temperaturas intermedias como acondicionamiento de aire, procesos industriales, etc. En estos captadores se remplazan los tubos metálicos por tubos de vidrio conectados en paralelo a una tubería principal. El vacío no solo contribuye a la reducción de pérdidas, sino también a minimizar la influencia de las condiciones climáticas (condensación, humedad, etc.) sobre los materiales empleados, evitando su rápido deterioro y mejorando así la durabilidad y el rendimiento global del sistema.
- **Colectores de Piscina:** Son utilizados para calefacción de piscinas. Están hechos de materiales plásticos resistentes a los rayos UV del sol y se instalan sin cubierta. Básicamente consisten en placas de polipropileno flexible muy ligeras, resistentes y duraderas. Por dentro de ellas circula a través de unos pequeños conductos la misma agua de la piscina.

El [Anexo 1](#) contiene las imágenes descriptivas de las tres clases de colectores.

4.1.2.1.3 Rendimiento de un Colector Solar. Para calcular el rendimiento se debe utilizar una ecuación de segundo orden la cual se aproxima mucho al comportamiento real de un colector solar plano, también se la utiliza en los colectores de vacío. Por medio de la Ecuación 1 se determina el rendimiento del colector.

Ecuación 1. Determina el rendimiento del colector

$$\eta = \eta_0 - [k1 * (Tm - Ta) / I] - [k2 * ((Tm - Ta)^2 / I)]$$

Dónde, η : Rendimiento final del colector; η_0 : Rendimiento óptico del colector, dado por el fabricante; $k1$: Coeficiente de pérdidas de calor por conducción (perdida calórica simple) dado por el fabricante [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]; $k2$: Coeficiente de calor por irradiación y convección (factor de pérdida calórica cuadrática) dado por el

²IGS, Ingeosolar. Ahorro Energético. Disponible en: http://www.ingeosolar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=60

fabricante [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]; T_m : Temperatura media del fluido portado en el colector [$^\circ C$]; T_a : Temperatura ambiente [$^\circ C$]; I : Irradiación solar incidente [W/m^2].

4.1.2.2 Energía Solar Eléctrica. Conocida como “Energía Solar Fotovoltaica (EFV)”, ya que la producción de energía está basada en el fenómeno físico denominado “Efecto Fotoeléctrico”. La EFV convierte la luz solar en energía eléctrica por medio de dispositivos semiconductores denominados células solares. Estos dispositivos son de tipo diodo que al recibir radiación, solar se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de los fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. Comúnmente la EFV se utiliza en electrificación de viviendas, sistemas de bombeo y riego, repetidores de radio y televisión, alumbrado público exterior y señalización entre otras aplicaciones de baja potencia.

4.1.2.2.1 Sistema Solar Fotovoltaico Aislado: Garantiza un abastecimiento de electricidad autónomo (independiente de la red eléctrica pública) de consumidores o viviendas aisladas. Estas instalaciones no tienen ninguna limitación técnica en cuanto a la potencia eléctrica que puede producir; solamente motivos de economía y rentabilidad establecen una acotación al número de módulos y acumuladores a instalar³.

Los elementos para un Sistema Fotovoltaico Aislado son:

- **Modulo Fotovoltaico:** Las células fotovoltaicas están asociadas eléctricamente entre sí y encapsuladas en un bloque llamado panel o módulo fotovoltaico, que es un elemento básico para la producción de electricidad. Éste está formado por células solares conectadas entre sí en serie y paralelo hasta conseguir el voltaje adecuado para su utilización. La materia prima para la fabricación de las células fotovoltaicas más utilizada actualmente es el silicio⁴, que puede ser de tres diferentes formas:
 - **Silicio Monocristalino:** Se produce a partir de lingotes de un único cristal. El proceso de cristalización es complicado y costoso pero es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica.

³ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, José Emmanuel. Principales aplicaciones de la energía solar. Santiago de Querétaro, 14, Septiembre, 2010. Universidad tecnológica de Querétaro. Carrera de Ingeniería Mantenimiento Industrial. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/38005537/Energia-Solar-Fotovoltaica>>

⁴ RAQUEL, Clemente Alfonso. Diseño de una cubierta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica e integrada en un edificio industrial: Memoria técnica. España, abril, 2006. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería de la construcción. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/2925>>

- **Silicio Policristalino:** El proceso comienza con la fusión del material, seguido de la solidificación con una determinada orientación de la estructura cristalina, lo que da lugar a bloques multicristalinos. La cristalización no es tan cuidadosa y la red cristalina no es la misma en todo el material. Su rendimiento es ligeramente inferior por lo cual su eficiencia es menor.
- **Silicio Amorfo:** No existe una red cristalina, pero poseen la ventaja de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para captar la luz solar. Se obtiene un rendimiento inferior a los de composición cristalina, por lo tanto, tienen menor eficiencia que los 2 anteriores.

En la Tabla 1 se indica la eficiencia de los módulos de Silicio.

Tabla 1. Eficiencia de los Módulos de Silicio

Tipo de Modulo	Eficiencia
De Silicio Monocristalino	13-15%
De Silicio Policristalino	11%
De Silicio Amorfo	7%

Fuente: RAQUEL, Clemente Alfonso⁴.

Actualmente existen otras tecnologías o procesos de aceptable rendimiento no todas basadas en el silicio, que se encuentran en fase de desarrollo en laboratorio o iniciando su fabricación en pequeñas plantas. Este es el caso del telurio de cadmio, arseniuro de galio, células bifaciales, etc.

La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento del panel consiste en una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar. Se pueden añadir paneles fotovoltaicos según se incremente la necesidad de producción de energía eléctrica⁵.

- **Baterías:** Las baterías utilizadas para sistemas fotovoltaicos son un componente muy importante en el sistema porque realizan tres acciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:
 - Almacenan energía eléctrica a partir de la radiación solar.
 - Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar (normalmente en aplicaciones de electrificación rural).
 - Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuado para la utilización de aparatos eléctricos.

⁵ HULSHORST, Walter. Manual práctico de evaluación de una instalación de energía fotovoltaica a pequeña escala: Manual práctico. 23 de Septiembre, 2011. Disponible en: <http://grupos.emagister.com/documento/manual_practico_de_evaluacion_de_una_instalacion_de_energia_fotovoltaica_a_pequena_escal/30499-903240>

Internamente las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos. Mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

- **Regulador o Controlador de Carga:** Dispositivo electrónico que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia los aparatos que utilizan electricidad⁶.
- **El inversor:** Las células fotovoltaicas y módulos generan corriente continua (CC), mientras que la mayoría de los electrodomésticos usan corriente alterna (CA). El inversor se usa para convertir la corriente continua en alterna a través de dispositivos electrónicos, adecuando también la frecuencia y la tensión a la red local. Los inversores para aplicaciones fotovoltaicas incluyen funciones de control para optimizar la potencia de salida MPPT (*maximum power point tracking*)⁷.
- **Otros Elementos:** Un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada, como: lámparas, radios, televisores y cargador de celular.

En la Figura 1 se indica un diagrama de las diferentes partes de un sistema fotovoltaico aislado.

Figura 1. Diagrama del Sistema Fotovoltaico Aislado



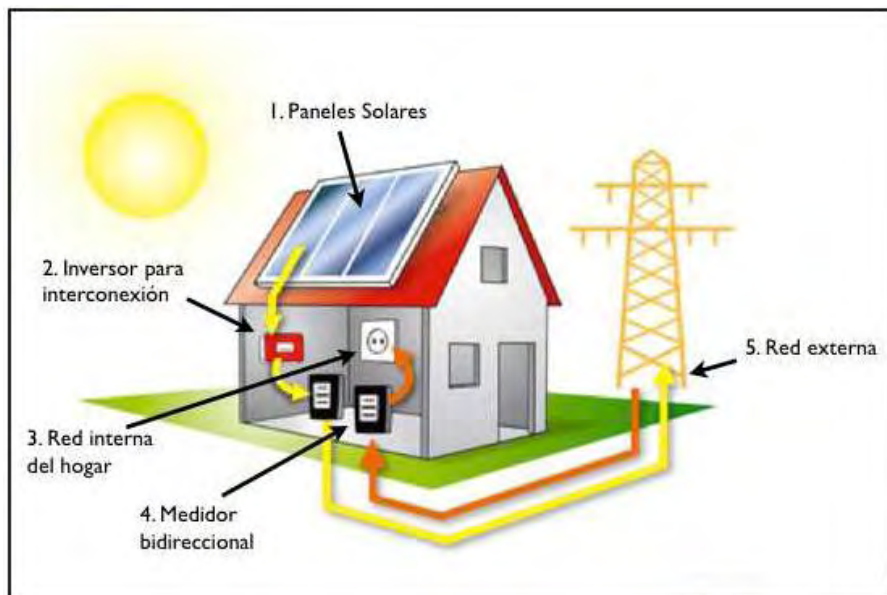
⁶HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, José Emmanuel. Principales aplicaciones de la energía solar, Op. Cit., p.14

⁷HULSHORST, Walter. Manual práctico de evaluación de una instalación de energía fotovoltaica a pequeña escala, Op. Cit., p.7

En el [Anexo 2](#) se muestran los elementos principales para una instalación fotovoltaica aislada.

4.1.2.2.2 Sistema Solar Fotovoltaico Interconectado a la Red. No necesita de subsistema de almacenamiento (baterías) ya que están conectados permanentemente al sistema de distribución (red externa). En las horas de irradiación escasa o nula, cuando el generador fotovoltaico no produce la energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red la que proporciona la energía necesaria y viceversa. Si durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica de la que se consume, el exceso se transfiere a la red. Para su instalación se necesita un inversor capaz de aceptar las variaciones de voltaje y potencia propias de los paneles solares, trabajar en el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico y enviar a la red energía. El medidor bidireccional registra el intercambio de electricidad. En la Figura 2 se observa el diagrama de conexión de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red.

Figura 2. Sistema Fotovoltaico interconectado a la red



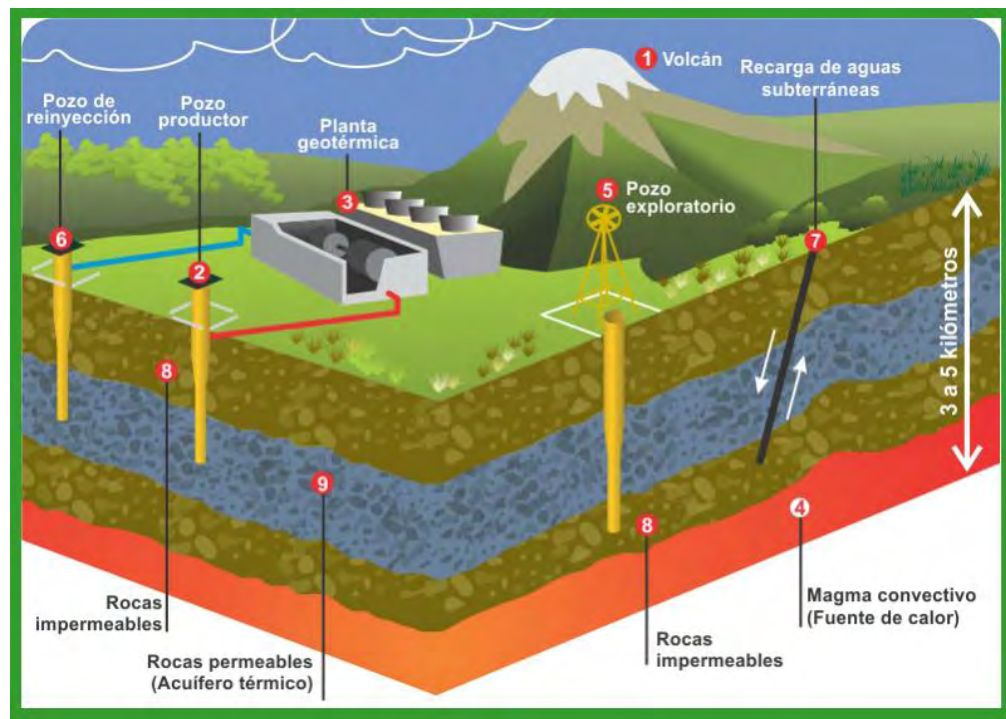
Fuente: Sensstech Soluciones SAS-Energía pura, Energía solar.

4.2 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

4.2.1 Aspectos generales. En el interior de la tierra se almacenan grandes cantidades de energía originada en la descomposición de elementos radioactivos

en el núcleo del planeta⁸. En zonas limitadas de la corteza terrestre existe un flujo anormal de calor que produce el calentamiento de las aguas contenidas en los estratos de las rocas permeables, que además están cubiertos por una capa rocosa impermeable que impide el escape de fluido caliente. El agua y/o vapor se extraen y son conducidos a través del pozo productor a una turbina de vapor que mueve el generador eléctrico de la planta geotérmica. El contenido sobrante es reinyectado al reservorio a través del pozo de reinyección. El proceso se puede observar en la Figura 3. De las reservas geotérmicas, la parte más valiosa que se puede extraer del subsuelo es aquella utilizable para la producción de energía eléctrica o térmica por medio de fluidos con características termodinámicas que permitan su explotación. El fluido geotérmico se extrae y aparece en la boca del pozo en una de las siguientes formas: vapor seco o mezcla de vapor y líquido salino a alta temperatura y alta presión⁹.

Figura 3. Modelo de Campo Geotérmico



Fuente: ISAGEN.

⁸ISAGEN S.A E.S.P., Generación y Comercialización de Energía. Fuentes no convencionales de generación de electricidad, 2005.

⁹UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. Costos Indicativos de Generación Eléctrica en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Colombia, Abril, 2005. Disponible en: <http://www.siel.gov.co/Siel/Documentos/documentacion/Generacion/Costos_Indicativos_Generacion_EE.pdf>

4.2.2 Tipos de Energía Geotérmica.

4.2.2.1 Energía Geotérmica Directa. La temperatura del recurso geotérmico puede variar en un rango entre 50 y 150°C. Comúnmente el agua caliente que proviene de los yacimientos se utiliza en piscinas termales con fines recreativos. Su uso a nivel industrial incluye calefacción, procesamiento de alimentos, lavado y secado de lana, fermentación, industria papelera, producción de ácido sulfúrico y manufactura de cemento.

4.2.2.2 Energía Geotérmica Eléctrica. Se requiere temperaturas superiores a los 150°C. Existen diferentes formas para poder convertir la energía contenida en el agua y vapor en energía eléctrica y la elección depende de las condiciones físico-químicas, de las características del campo y de la potencia eléctrica generable.

4.2.2.2.1 Tipos de Plantas de Generación Eléctrica¹⁰.

- **Planta tipo “Single Flash” (Flash Simple).** En este ciclo la mezcla de agua caliente y vapor es conducida de los pozos al separador de vapor y el vapor separado es conducido posteriormente a la turbina. El agua separada se considera de desecho y puede posteriormente ser inyectada en el subsuelo (reinyectada). La mezcla de agua-vapor normalmente tiene una temperatura que supera los 200°C y el vapor separado una presión entre 8 y 10 kg/cm². La fase líquida o salmuera rechazada se puede utilizar en otras aplicaciones como agricultura, acuicultura, y en otros procesos industriales que requieren un gran aporte de calor, haciendo uso en estos casos de la técnica de producción en cascada.
- **Planta tipo “Double Flash” (Flash Dual).** En el ciclo de doble flash el agua caliente restante (de desecho) en vez de reinyectarla, es conducida a un vaporizador de baja presión para separar el vapor secundario. Este vapor es conducido a una turbina de baja presión o a la misma turbina de media presión entrando por sus etapas intermedias. Se produce entre un 15 y 20% más de energía con el mismo suministro geotérmico que el ciclo de simple flash. El costo de inversión de la planta es alrededor de un 5% más alto que el de simple flash, pero el costo neto de la energía por kWh es alrededor de 10 a 15% más bajo. La presión óptima de entrada a la turbina es un 30% más alta que con el sistema de simple flash de forma que se pueden usar tuberías de vapor y válvulas más pequeñas.
- **Planta tipo “Binary Plants” (Binario).** Permiten extraer energía de forma más eficiente de yacimientos de media temperatura (>100°C) y de recursos geotérmicos con elevada salinidad. Se basan en evitar el uso directo del fluido termal y utilizar un fluido secundario con un comportamiento termodinámico

¹⁰UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. Costos Indicativos de Generación Eléctrica en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Colombia, Abril, 2005. Disponible en: <http://www.siel.gov.co/Siel/Documentos/documentacion/Generacion/Costos_Indicativos_Generacion_EE.pdf>

mejor que el fluido termal. El fluido geotermal entrega el calor al fluido secundario a través de un intercambiador de calor que se calienta, vaporiza y se expande a través de la turbina, pasa por un condensador de aire o agua y se bombea de nuevo al intercambiador de calor para ser re-vaporizado. Las turbinas binarias pueden ser de tipo Kalina o de tipo Orgánico Rankine.

- **Ciclo orgánico de Rankine:** Se basa en un procedimiento parecido a procesos con vapor de agua, pero en lugar de agua se utiliza un fluido de trabajo orgánico (hidrocarburos como isopentano, isooctano, tolueno y aceite de silicona). La energía se produce mediante "sistemas binarios" en los cuales el ciclo térmico (vapor o aceite térmico) transmite energía mediante un intercambiador de calor a otro ciclo que acciona la turbina con el generador. En este segundo ciclo no circula agua o vapor de agua sino un fluido de trabajo especial cuyo punto de ebullición está por debajo de los 100°C, por lo que la sustancia pasa del estado de agregación líquido al gaseoso. De esta manera se pueden utilizar incluso aguas termales con temperaturas por debajo de los 100°C para la generación de energía.
- **Ciclo de Kalina.** Utiliza una mezcla de amoniaco-agua como fluido de trabajo para mejorar la eficiencia del sistema y proporcionar una mayor flexibilidad en diferentes condiciones de operación. El ciclo de Kalina puede mejorar la eficiencia de plantas de energía en un 10 a 50%.

En el [Anexo 3](#) se indican los tipos de planta de generación de energía eléctrica con geotermia.

4.2.3 Etapas de un Proyecto Geotérmico¹¹.

4.2.3.1 Etapa de Reconocimiento. Identifica las áreas donde existen los mayores indicios del recurso geotérmico. Los estudios son a nivel regional y/o de áreas específicas, e incluyen: geología, hidrogeología y geoquímica y además la identificación de la demanda de energía que pudiese ser satisfecha con base en el posible recurso geotérmico.

4.2.3.2 Etapa de Prefactibilidad. Estudios geocientíficos de mayor detalle como geovulcanología, geoquímica, hidrogeología y además geofísica que normalmente incluye: gravimetría, magnetometría, geoeléctrica y magnetotelúrica. Su objetivo es estimar con mayor detalle la existencia de un yacimiento geotérmico, delimitar el área que podría cubrir, determinar tentativamente las características y posible potencial del recurso y finalmente, plantear el número y ubicación de las sucesivas perforaciones exploratorias profundas previstas para la etapa de factibilidad.

¹¹CORPOEMA, Corporación para la energía y el medio ambiente. Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE): Volumen 2 – Diagnostico de las FNCE en Colombia. Bogotá, D.C., 30 de Diciembre, 2010. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_2_Diagnostico_FNCE.pdf>

4.2.3.3 Etapa de Factibilidad. En esta etapa deberían ejecutarse de 3 a 6 pozos, para disponer de 3 o 4 pozos productores y por lo menos de un pozo de inyección que permita transferir al subsuelo el agua de desecho separada de la mezcla de agua-vapor. Esta etapa es definitiva en la exploración ya que los resultados obtenidos con la perforación deben aportar alguna certidumbre con respecto a la existencia del recurso y con base en esta enfocar el proyecto de explotación. Esta etapa se puede dividir en 3 partes:

- **Ingeniería de Campo:** Ejecución de perforaciones exploratorias profundas de las cuales se obtendrán datos que permitirán evaluar las condiciones del reservorio, planificar el desarrollo del campo y del manejo de los fluidos. Incluye la perforación y terminación de los pozos; estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos de superficie y de pozos; preparación del modelo matemático del reservorio y simulación de su estado natural.
- **Ingeniería de la Planta:** Se define el tipo de equipo electromecánico que se utilizará para la transformación de la energía geotérmica en energía eléctrica e incluye el estudio y optimización del proceso de transformación basada en la producción de los pozos ejecutados, en las características de los fluidos producidos, en la estrategia de producción/inyección y en las consideraciones ambientales del proyecto. Se definirá además la potencia a instalar que tiene que ser coherente con el potencial probado del campo.
- **Factibilidad Económica:** Justifica las inversiones que se efectuarán en la ejecución del proyecto frente a los beneficios de la generación eléctrica. La factibilidad económica solamente se examinará en caso de haberse demostrado su factibilidad técnica y elaborado con algún grado de aproximación el diseño básico el cual incluye: Individualizar el tipo de tecnología para el aprovechamiento del recurso, comprobar la capacidad del campo para alimentar la planta, realizar el diseño básico del sistema de extracción de fluido y de la planta de generación y demostrar la compatibilidad ambiental del proyecto.

4.2.3.4 Etapa de Desarrollo. En esta etapa se siguen las estrategias recomendadas en el estudio de factibilidad, realizando:

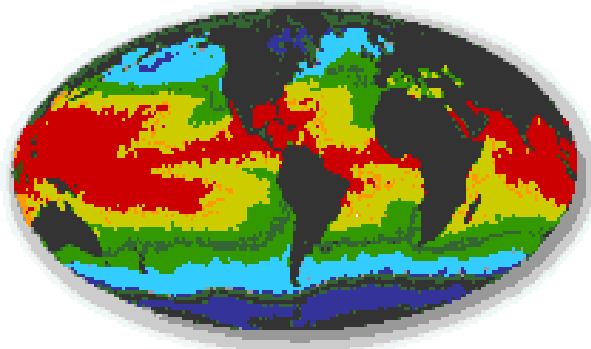
- La perforación de pozos de producción y de inyección, y la eventual instalación de unidades de boca de pozo a descarga libre (de 3 a 5 MW).
- El desarrollo del campo por etapas con grupos modulares de potencia media (de 15 a 30 MW) o unidades de gran potencia (55 MW).

4.2.3.5 Etapa de Operación y Mantenimiento. Estudio de la evolución del yacimiento y la producción de los pozos, los cuales constantemente tienen que ser monitoreados para detectar variaciones significativas y actualizar y calibrar el modelo matemático que ha sido propuesto.

4.3 ESTADO DEL ARTE DE LA ENERGÍA EÓLICA

4.3.1 Aspectos generales. El viento se origina de un calentamiento desigual de la superficie terrestre que junto a la rotación de la tierra crean los patrones globales de circulación. Existen tres componentes del viento que determinan su energía disponible: la velocidad, la dirección del viento y la densidad del aire. Las regiones alrededor del Ecuador a 0° de latitud, son en promedio calentadas por el sol en mayor proporción que las zonas del resto del globo. Estas áreas calientes están indicadas en la Figura 4 en colores cálidos: rojo, naranja y amarillo¹².

Figura 4. Áreas de radiación solar sobre la tierra



Fuente: ADIE¹².

Al considerar la explotación eólica no es suficiente con la percepción de “buenos vientos” en una determinada zona, sino que debe verificarse también que durante un tiempo significativo indique un buen potencial. Otros factores como la intensidad del viento deben ser cuidadosamente evaluados con el fin de que el potencial calculado se traduzca efectivamente en una óptima generación energética. La intensidad del viento es fundamental para determinar la potencia captable por un aerogenerador y depende de las características orográficas del terreno.

4.3.2 Transformación de la energía eólica en energía eléctrica. Los aerogeneradores son equipos utilizados para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica y luego en energía eléctrica. El proceso de transformación de energía, como se puede apreciar en la Figura 4, inicia cuando el viento mueve la hélice del aerogenerador o turbina y a través de un sistema mecánico de engranajes hace girar el rotor de un generador (normalmente una máquina asincrónica que produce la corriente eléctrica). La potencia eléctrica obtenida por un aerogenerador está representada por la Ecuación 2:

¹²ADIE, Asociación Danesa de la Industria Eólica. Disponible en: <www.windpower.org>

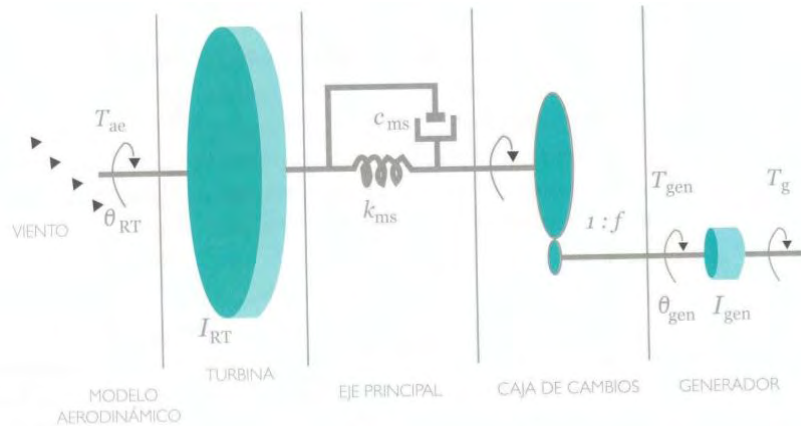
Ecuación 2. Potencia eléctrica del Aerogenerador

$$P = \frac{1}{2} \eta \pi \rho r^2 V^3$$

Donde, P: Potencia eléctrica [W]; η : Factor de rendimiento (siempre será menor a 1); ρ : Densidad del aire [kg/m^3]; r: Longitud de las aspas más el radio del rotor [m]; V: Velocidad del viento [m/s].

De la Ecuación 2 se puede observar que la velocidad del viento es fundamental para determinar la potencia captable por un aerogenerador ya que la potencia aumenta con el cubo de la velocidad. De esta manera, al aumentar la velocidad del viento, aumenta de forma proporcional la potencia teóricamente extraíble, pero aumentan de la misma manera los requerimientos de la máquina. En la Figura 5 se indica el sistema mecánico del aerogenerador.

Figura 5. Sistema mecánico del Aerogenerador



Fuente: Vindmolle Industrien. Disponible en: <www.windpower.org>

Donde, T_{ae} : Torque aerodinámico; θ_{RT} : Ángulo del rotor de la turbina; I_{RT} : Inercia del rotor; C_{ms} : Constante de amortiguamiento; K_{ms} : Características de la carga; $1:f$: Relación de engranaje; T_{gen} : Torque del generador; θ_{gen} : Ángulo del generador; I_{gen} : Inercia del generador.

Para la generación de electricidad con conexión a la red eléctrica se utilizan aerogeneradores dotados de un sistema de sincronización con el objeto de que la frecuencia de la corriente generada esté sincronizada con la de la red. Adicionalmente, para proteger el sistema de generación se requiere de un sistema de control de velocidad de rotación de las aspas, el cual actúa sobre las palas de la hélice cuando la velocidad del viento sobrepasa la velocidad de diseño o cuando se quiere controlar indirectamente la capacidad de generación.

La capacidad de una turbina eólica para extraer la energía del viento depende de la potencia eólica disponible, la curva de potencia de la máquina y su

comportamiento para responder a fluctuaciones en la velocidad del viento. No obstante, solo funcionan bien cuando soplan vientos de velocidad media o fuerte, en cuyo caso ofrecen un excelente rendimiento. Su principal problema es la fatiga mecánica de los elementos estructurales que ha desembocado en la rotura de palas de diversas turbinas eólicas experimentales.

Se distinguen dos grandes categorías de motores o turbinas eólicas, que difieren por la disposición de su eje: horizontal y vertical. Las pequeñas turbinas eólicas de eje horizontal (gama de potencia 0,5 a 50 kW), suelen estar equipadas con un gran número de palas, en cuyo caso pertenecen al tipo “americano” que es, de hecho, el tipo de numerosos molinos tradicionales, como el molino de las Baleares (de seis aspas) o el molino griego (de doce aspas). Este tipo de turbina eólica tiene la ventaja de que puede funcionar con vientos de baja intensidad. Actualmente las grandes turbinas eólicas equipadas con hélices de dos palas, han dado lugar a progresos técnicos considerables (palas de hasta 100 m de diámetro que pueden suministrar potencias de 100 kW hasta 5 MW). Las turbinas eólicas de eje vertical son las más antiguas y su funcionamiento no requiere ninguna orientación del eje, sin embargo prestan un rendimiento menor que las de eje horizontal. En el [Anexo 4](#) se muestra la escala de Beaufort para la intensidad del viento y se presenta la relación del tamaño del aerogenerador y la potencia.

Las maquinas eólicas o aerogeneradores están condicionadas a operar de acuerdo con tres rangos de velocidad: se activan con viento variable de 2 a 4 m/s (velocidad de *cut-in* o de entrada de operación), están equipados con un dispositivo de control de potencia cuando el viento alcanza una velocidad de 10-14 m/s (velocidad de corte o nominal) y se detienen cuando la velocidad del viento alcanza valores de aproximadamente 20-25 m/s (velocidad de *cut-off* o de salida de operación)¹³.

4.3.3 Componentes principales de un aerogenerador.

- **Palas:** Es donde el viento produce el empuje que causa el movimiento rotatorio del rotor.
- **Eje:** Encargado de transmitir el movimiento rotatorio.
- **Caja de engranajes o multiplicadores:** Cambian la frecuencia de giro del eje a otra menor o mayor según el caso, para entregarle al generador una frecuencia apropiada.
- **Generador:** Elemento mecánico donde la energía mecánica se transforma en energía eléctrica a través del movimiento del rotor.
- **Controlador electrónico:** Permite el control de la correcta orientación de las palas del rotor. En caso de cualquier contingencia (como el sobrecalentamiento del aerogenerador) detiene la máquina.
- **Unidad de refrigeración:** Mantiene al generador a una temperatura adecuada.

¹³CECU, Confederación de Consumidores y Usuarios. Disponible en: <<http://www.cecuc.es/>>

- **Anemómetro y la veleta:** Miden la velocidad y la dirección del viento, respectivamente.

En el [Anexo 5](#) se indican los componentes principales de un aerogenerador.

4.3.4 Parámetros importantes de la energía eólica¹⁴.

- **Factor de planta o de utilización:** Relación entre la energía suministrada por el equipo (E) en un periodo de tiempo (T) y lo que se puede generar operando el sistema a potencia nominal (P_n) durante el mismo periodo, como se puede observar en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Factor de Planta

$$F.P = \frac{E}{P_n \times T}$$

Depende básicamente de la velocidad del viento y el tiempo en que este se mantenga en niveles de velocidad que permitan el funcionamiento del generador.

- **Densidad del aire:** La energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen.
- **Área del barrido del rotor:** Determina cuanta energía del viento es capaz de capturar una turbina eólica.
- **Velocidad del viento:** Para alcanzar altas eficiencias es de vital importancia realizar correctamente tanto una valoración energética del viento existente, como una caracterización del comportamiento del viento en la zona de implantación.
- **Distribución de frecuencia de los vientos:** Define la variación de las velocidades del viento en el tiempo. Se utiliza para optimizar el diseño de los aerogeneradores, minimizar los costos de generación y estimar la producción media de un aerogenerador.
- **Rosa de los vientos:** Se basa en observaciones meteorológicas de las velocidades y direcciones del viento en el sitio de interés y describe la distribución de la velocidad del viento en las diferentes direcciones de donde proviene. Indica la distribución relativa de las direcciones del viento y no el nivel real de la velocidad media del viento.
- **Altura óptima:** La velocidad del viento varía con la altura sobre el nivel del suelo (perfil vertical de velocidades). Normalmente a mayor altura mayor es la velocidad del viento hasta un nivel en que las variaciones no son significativas.
- **Eficiencia:** Depende del diseño aerodinámico de las palas del rotor, de los demás elementos expuestos al flujo de viento y de los elementos mecánicos y eléctricos del sistema. Los primeros aerogeneradores de eje horizontal tenían

¹⁴ADIE, Op. Cit.

rendimientos del 10% pero los más modernos utilizan sistemas de control de manera que operan siempre con la máxima eficiencia aerodinámica técnicamente factible, alcanzando valores de rendimiento próximos al 50%.

- **Tiempos de construcción:** La energía eólica utiliza tecnología de pequeña escala con un tamaño máximo comercial que está alrededor de los 5 MW por unidad (módulo), por lo que ésta tecnología es ideal para instalaciones de cualquier tamaño.

4.4 ESTADO DEL ARTE DE LA BIOMASA

4.4.1 Aspectos generales. El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas, (energía química almacenada que se ha formado por la absorción de energía solar, CO_2 y otras sustancias a través de la fotosíntesis) y desechos de animales que se pueden convertir en energía. Las fuentes provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, caña de azúcar, podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica) son susceptibles a liberar su energía química almacenada tal como se aprecia en la Figura 6. Estos recursos se usan, generalmente, para procesos modernos de generación de energía, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Figura 6. Fuentes de Biomasa



Fuente: Disponible en: <www.construible.es>

4.4.2 Clasificación de la Biomasa.

4.4.2.1 Biomasa Primaria. Es aquella que existe y es aprovechada en su estado natural y está constituida por: cultivos, arboles, pastos, plantas acuáticas, etc.

4.4.2.2 Biomasa Residual. Proviene de residuos agropecuarios como pulpa de café, cascarilla de arroz, limpieza de bosques, desechos orgánicos de animales, residuos de sacrificio o de procedimiento, etc. La utilización de la biomasa es atractiva porque reduce la contaminación por este tipo de residuos y porque es susceptible a utilizarse para la producción de alcohol, metanol y metano. Los residuos sólidos urbanos también entran en esta categoría. El aprovechamiento de los residuos sólidos se realiza a través de un manejo integral de los mismos, en el cual los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos.

Existe una biomasa llamada biomasa natural, que se produce en los ecosistemas y no se debe utilizar para la obtención de energía porque el medio ambiente la necesita para su abastecimiento, protección de suelos y equilibrio ecológico; su uso degrada los ecosistemas naturales.

En este orden de ideas, para que la biomasa sea considerada una fuente de energía renovable es imprescindible que su uso esté acompañado de un programa de resiembra sostenible. Por tanto, se debe garantizar que la materia que se consumió para obtener energía vuelva a ser generada mediante plantación. Es así que las dos fuentes de biomasa como energía renovable son:

- **Cultivos energéticos:** Cultivos dedicados a producir biomasa con el único fin de aprovechar su energía. Estos cultivos tienen un programa de resiembra para asegurar su sostenibilidad.
- **Residuos:** Los cuales provienen de diferentes procesos de transformación de biomasa y se desperdiciarían si no se aprovecharan energéticamente.

4.4.3 Transformación de la biomasa en energía eléctrica. La biomasa se puede transformar por medio de varios procesos que conducen a productos finales diferentes. Para convertir la biomasa en electricidad existen diferentes procesos, entre los cuales los principales son: combustión directa, gasificación y digestión anaeróbica (biogás). A continuación se describen tanto los principales como los otros procesos.

4.4.3.1 Procesos de Combustión Directa. La producción de electricidad por combustión directa consiste en incinerar los residuos y con el calor emitido usado para producir vapor de agua, hacer girar una turbina para generar electricidad y calor a baja temperatura, que se puede utilizar para la calefacción de espacios y procesos térmicos. Las tecnologías de combustión directa parten desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta los que operan con tecnologías avanzadas, como combustión en lecho fluidizado para la recuperación de energía a partir de basura. En el [Anexo 6](#) se puede observar un resumen de las posibles transformaciones a las que puede ser sometida la biomasa, también se describe el

funcionamiento de una central biomasa con quema directa.

4.4.3.2 Co-combustión. Básicamente consiste en reemplazar parte del combustible convencional en las plantas existentes, por biomasa. Un ejemplo de esta alternativa y la más implementada, es reemplazar, en una pequeña proporción, carbón por residuos forestales en las calderas existentes.

4.4.3.3 Gasificación. La gasificación consiste en la oxidación de materia orgánica (por ejemplo leña) en presencia de una corriente de aire controlado con un agente gasificante como el agua (H_2O) o el dióxido de carbono (CO_2), que permite la formación de un gas que tiene un poder calorífico menor comparado con otros gases, comúnmente llamado “gas pobre”. El aire que se inyecta al equipo es menor al necesario para la combustión completa; de este modo puede alimentar una caldera o un motor de combustión interna para su transformación en energía mecánica y eléctrica. En el [Anexo 7](#) se muestra el proceso de gasificación y la tabla de composición del gas y su poder calórico.

4.4.3.4 Digestión Anaeróbica. Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismo microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos.

Biogás. La digestión de biomasa humedecida por bacterias en un ambiente sin oxígeno (anaeróbico) produce un gas combustible llamado biogás. En el proceso, se ubica la biomasa (generalmente desechos orgánicos) en un contenedor cerrado (el digestor) y allí se deja fermentar. Después de unos días, dependiendo de la temperatura del ambiente, se habrá producido un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Este proceso se lleva a cabo a bajas temperaturas (menores de $60^{\circ}C$) y requiere de unos contenidos de humedad de 80% o más. Las heces de animales tienen un contenido de humedad elevado superior al 85% y un poder calorífico de 3.540 Kcal/kg en base seca. El residuo final de la planta se puede utilizar como fertilizante o como componente de la dieta de animales, por ejemplo, peces. El biogás producido puede emplearse en el calentamiento de agua, calefacción de ambientes, secado y cocción; y como energía radiante en iluminación y como combustible en máquinas de combustión interna¹⁵.

- **Biogás de residuos sólidos.** Las mayores concentraciones de compuestos mayoritarios en el biogás procede de rellenos sanitarios, con aproximadamente un 40 a 50% de metano, 35 a 40% de dióxido de carbono, 3 a 5% de nitrógeno y 2 a 3% de oxígeno. Debido a su contenido de metano, el biogás de los rellenos sanitarios posee un potencial energético considerable, proporcional al porcentaje en volumen de dicho gas. En la fase aerobia se producen las rupturas moleculares de las cadenas orgánicas de diferente tipo contenidas en

¹⁵IEE. Instituto de Investigaciones Eléctricas. Digestores de Desechos Orgánicos. Boletín Energético No14. OLADE, Cuernavaca, México, 1980.

los residuos, originando compuestos intermedios. Es en la etapa anaerobia cuando estrictamente se producen las reacciones de metanogénesis (formación de metano) y de formación de dióxido de carbono y sulfuro de hidrogeno, principalmente. El proceso es fundamentalmente exotérmico y es favorecido por la humedad. En la Tabla 2 se indica la composición química del Biogás.

Tabla 2. Composición Química del Biogás

COMPONENTES	FORMULA QUIMICA	(%)
Metano	CH ₄	60 – 70
Gas Carbónico	CO ₂	30 – 40
Hidrogeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido Sulfúrico	H ₂ S	0.1

Fuente: IEE¹⁵.

En el [Anexo 8](#) se indica el esquema ilustrativo de la cadena de la Biomasa cuando se utilizan biodigestores.

4.4.3.5 Combustibles alcohólicos. De la biomasa se pueden producir combustibles líquidos como etanol y metanol. El primero se produce por medio de la fermentación de azúcares y el segundo por la destilación destructiva de madera. Estos combustibles se pueden utilizar en forma pura o mezclados con otros, como combustible para la propulsión de máquinas.

4.4.3.6 Biodiesel. El biodiesel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado “transesterificación”, los aceites derivados orgánicamente se combinan con alcohol (etanol o metanol) y se alteran químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metil éster. Estos pueden ser mezclados con diesel o usados directamente como combustibles en motores comunes. El biodiesel es utilizado, típicamente, como aditivo del diesel en proporción del 20%, aunque otras proporciones también son usadas, dependiendo del costo del combustible base y de los beneficios esperados.

4.4.3.7 Pirolisis. Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor energético, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte. Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos, fácilmente degradables. Este proceso se conoce como pirolisis o termólisis. La pirolisis utiliza el calor indirecto para convertir los materiales sólidos orgánicos en gases y sólidos con alto contenido de carbón. La conversión se lleva a cabo en una cámara de reacción donde el aire (oxígeno) está totalmente excluido.

4.4.3.8 Producción de carbón vegetal. La biomasa se oxida con una disponibilidad restringida de aire, lo cual impide que la combustión sea completa. El residuo sólido resultante (carbón) no produce humo y es ideal para uso doméstico. Usualmente, este carbón es obtenido de la madera, pero también se usan otras fuentes como cascara de coco y algunos residuos agrícolas de plátano, café, maíz, entre otros.

4.4.3.9 Licuefacción. En estos procesos la biomasa utilizable es principalmente madera, la cual reacciona con vapor o hidrogeno y monóxido de carbón, produciendo sustancias químicas en su fase líquida. Las reacciones químicas en este proceso, son semejantes a las de la gasificación pero a menores temperaturas, y a presiones más altas. La licuefacción puede ser directa, dando origen a líquidos orgánicos oxigenados llamados también aceites pirolíticos (pesados) los cuales requieren ser refinados antes de usarse como combustibles (diesel, gasolina o metanol).

4.4.4 Hidrogeno. Es reconocido como uno de los más prometedores recursos energéticos del futuro para la generación eficiente de electricidad, debido fundamentalmente a su nulo impacto ambiental, desde el punto de vista de generación de gases de efecto invernadero y a la capacidad de ser empleado en celdas de combustible.

El hidrógeno puede generarse a partir de fuentes de energía primarias (actualmente la mayor parte del hidrógeno se obtiene a partir del reformado con vapor de hidrocarburos), fuentes de energía secundaria o intermediarios generados industrialmente (como productos de refinería, amoniaco o metanol) y fuentes de energía renovables (biomasa, biogás y residuos).

El interés creciente en la generación de hidrógeno a partir de fuentes renovables de energía, como la biomasa, ha llevado al desarrollo de sistemas de generación de hidrógeno a partir de residuos por procesos térmicos, tales como la gasificación, la pirolisis o el reformado del biogás generado en los procesos de digestión anaerobia¹⁶.

Una alternativa a la generación de hidrógeno a partir de residuos o biomasa por procesos térmicos es la generación por procesos biotecnológicos, entre estos procesos se destacan la generación fotobiológica¹⁷ y la generación fermentativa¹⁸. Aunque la mayor parte de los sistemas biológicos de generación de hidrógeno se encuentran aún en fase de desarrollo, su aplicación en el futuro es prometedora.

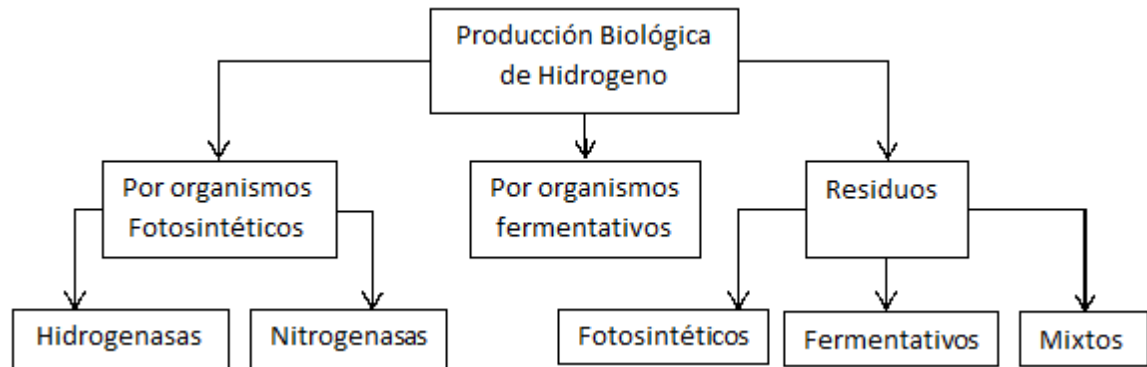
¹⁶ MILNE, T.A., ELAN, C.C., EVANS y R.J. "Hydrogen from Biomass: State of the Art and Research Challenges". IEA Report. IEA/H2/TR- 02/001 (2001).

¹⁷ GHIRARDI, M., ZHANG, L., LEE, J., FLYNN, T., SEIBERT, M., GREENBAUM, E. y MELIS, A. "Microalgae: a green source of renewable energy". Trends in Biotechnology 18, 506-511 (2000b).

¹⁸ ROYCHOWDHURY, S., COX, D. Y LEVANDOWSKY, M. "Production of hydrogen by microbial fermentation". Int. J. Hydrogen Energy, 13, 407 (1988).

En la Figura 7 se indican las principales alternativas biotecnológicas de generación de hidrógeno.

Figura 7. Diagrama de bloques de la producción biológica de hidrogeno



En el [Anexo 9](#) se indican los avances tecnológicos de los 4 sistemas generadores de energía eléctrica más importantes: Solar, Geotermia, Eólico y Biomasa.

4.5 APLICACIONES DESTACADAS EN ERNC

4.5.1 Eficiencia Energética. Es el correcto uso de la energía. Es considerada como la medida más efectiva a corto y mediano plazo en el logro de la reducción de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero. Mejoras en la eficiencia energética ofrece otros beneficios como son la reducción en los costos de operación, incrementos en la productividad, mejor calidad en los productos, mayor seguridad laboral, reducción de residuos y prevención de la contaminación.

4.5.2 Iluminación de Edificios. Un edificio energéticamente eficiente es aquel que minimiza el uso de las energías convencionales (en particular la energía no renovable), a fin de ahorrar y hacer un uso racional de la energía. Un edificio energéticamente eficiente se puede clasificar desde un consumo bajo de energía hasta un generador de energía, así: edificio de baja energía, ultra baja energía, energía cero y energía plus.

4.5.3 Alumbrado Público. El sistema de implementación más eficiente y utilizado es el de la Energía Solar Fotovoltaica. Una luminaria solar contiene básicamente tres elementos: el panel solar que transforma los rayos solares en electricidad, el sistema de almacenamiento y control que almacena la energía y regula su uso y el sistema de iluminación que dependiendo de los requerimientos se opta por tecnología LED. Los sistemas pueden ser autónomos o interconectados a la red eléctrica.

4.5.4 Vehículos Eléctricos. Utilizan la energía eléctrica para mover el motor del vehículo. La energía es almacenada en baterías que son recargadas mediante conexión a la red eléctrica a 110V o 240V o incluso a 480V. Las baterías también se pueden cargar usando energía solar mediante celdas solares que conviertan la energía solar en energía eléctrica. Las celdas forman paneles que pueden estar acoplados al vehículo o bien, si el vehículo permanece estacionado durante el día, podrían ubicarse en el techo del estacionamiento y así tener una mayor superficie de captación de energía solar.

4.5.5 Maquinaria Industrial. Las energías renovables en el campo industrial se ven aplicadas en la generación de energía térmica mediante sistemas solares implementados por colectores, los cuales convierten la energía solar en calor y de esta manera se realiza la calefacción de agua, para luego generar vapor. En los sectores de la industria química, de la fabricación de materiales o piezas metálicas, de la industria alimentaria y bebidas y de las plantas industriales de lavado y limpieza, se utiliza la energía térmica para cumplir requerimientos de sus procesos siendo la energía renovable un beneficio técnico y económico.

4.5.6 Smart Grid. Es un sistema que identifica y se conecta a la red eléctrica para optimizar la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda entre productores y consumidores. Las redes eléctricas inteligentes proveen amplios beneficios sociales, permitiendo una adecuada gestión energética y reduciendo los costos de operación de las empresas. La visión más general de una Smart Grid y de la cual se puede presentar un concepto es: “Smart Grid es una red inteligente que incluye un sistema plenamente conectado a la red e identifica todos los elementos de la red eléctrica, comunica su estado y el impacto de las decisiones de consumo a los sistemas automatizados de toma de decisiones en dicha red¹⁹.”

4.6 ANÁLISIS EN COLOMBIA DE LAS APLICACIONES DESTACADAS DE FNCE

4.6.1 Eficiencia Energética en Colombia. La eficiencia energética debe ser considerada como el recurso más importante del que dispone un país para asegurar su abastecimiento energético, por lo cual, en Colombia se lanzó una norma internacional que promueve la eficiencia energética²⁰.

¹⁹ FARHANGI, Hassan. “The Path Of Smart Grid”, IEEE Power Energy Mag, January 2010.

²⁰Disponible en: <<http://www.colciencias.gov.co>>

En Septiembre 30 de 2011 el Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia publicó en su página oficial de internet información acerca de la Aplicación de la Norma ISO 50001: “Sistema de gestión de la energía”²¹.

El 19 de Enero de 2012, ICONTEC Internacional en su página oficial de internet hace un comunicado de prensa, en el que informa del lanzamiento de la norma técnica colombiana ISO 50001²².

El 24 de Enero de 2012 se realiza el lanzamiento de la norma técnica colombiana ISO 50001 “Sistemas de Gestión de la Energía”²³. El lanzamiento se llevó a cabo a través de un foro sin costo, dirigido a directores, gerentes, jefes, líderes, coordinadores, profesionales de las áreas de producción, operaciones, ingeniería, confiabilidad, mantenimiento, finanzas, compras y otras, relacionadas con el proceso de implementación y sostenimiento de un sistema de gestión de la energía en la organización sin importar el sector, tamaño y tipo de servicio o producto. El lanzamiento de la norma técnica Colombiana NTC-ISO 50001 para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía, contó con la participación de expertos de 60 países, en donde Colombia contribuyó de gran manera en la definición de nuevos enfoques dirigidos a la eficiencia energética. En Colombia se han venido construyendo nuevas orientaciones en relación a la Gestión de la energía desde la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, donde COLCIENCIAS, La UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), importantes universidades del país y expertos nacionales propusieron un modelo y una metodología que se viene aplicando en el país desde el año 2007 y que ha servido como base para la definición de la norma. De igual forma esta norma pretende facilitar a las organizaciones establecer sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta norma internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero y de otros impactos relacionados. Ésta norma es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Además esta iniciativa especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía a partir de la cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción.

4.6.2 Iluminación de Edificios Energéticamente Eficientes en Colombia. En Colombia la IPSE implementó un sistema eólico para la iluminación de edificaciones en zonas urbanas (San Andrés) en el año 2009. El proyecto además de la implementación incluía la evaluación del comportamiento en edificaciones para garantizar autonomía. Para esto utilizaron un aerogenerador de eje vertical TURBY, de 2.5 KW. También se instalaron paneles solares en edificaciones

²¹ Disponible en: <<http://www.minminas.gov.co>>

²² Disponible en: <<http://www.icontec.org>>

²³ Disponible en: <<http://www.upme.gov.co>>

residenciales y comerciales en la localidad de San Andrés²⁴.

4.6.3 Alumbrado Público Fotovoltaico en Colombia. La UPME conjunto con la Universidad Nacional de Colombia construyeron una guía didáctica en la cual se explica los conceptos y elementos básicos del sistema de alumbrado público, especificaciones eléctricas, componentes, el uso racional de energía (URE), unas recomendaciones prácticas URE para el alumbrado público y su mantenimiento²⁵.

En Colombia la IPSE ha realizado implementaciones en algunos lugares del territorio, entre ellos el sistema de iluminación fotovoltaico con leds en la planta de gasificación de madera en lecho fijo descendente en Necoclí en el año 2009²⁶. Otros desarrollos importantes han sido en la iluminación RGB (Red, Green, blue) híbrida solar y eólica de la estación de servicio Biomax, la iluminación solar del puente helicoidal vía dos quebradas-Risaralda²⁷.

4.6.4 Smart Grids en Colombia. CIDET (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico), COCIER (Comité Colombiano de la Comisión de Integración Energética Regional), CNO (Consejo Nacional de Operación), CAC (Comité Asesor de Comercialización) y CINTEL (Centro de Investigación de las Comunicaciones) vienen estructurando una propuesta de proyecto cuyo objetivo es establecer concertadamente con las principales empresas del sector eléctrico y demás actores relacionados, un marco de lineamientos, políticas y estrategias para el desarrollo óptimo de las redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano pero orientado a los retos del país considerando los beneficios y costos esperados. Adicionalmente estos organismos consientes de la necesidad de integrar esfuerzos entre las partes interesadas propenden por fomentar el desarrollo de un proyecto nacional conjunto en este tema.

Colombia Inteligente es una iniciativa de desarrollo hacia las nuevas tecnologías y tendencias mundiales, es una evolución de muchos de los sistemas actuales, trabajando de manera intersectorial. En este marco se trabaja en los siguientes sectores: Energía con el sector eléctrico y el consumidor, construcción y transporte; su objetivo general es hacer que Colombia cuente con las mejores

²⁴BENAVIDES 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>

²⁵UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Guía didáctica para el buen uso de la energía: Alumbrado público exterior. UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. 2007 Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado_Publico.pdf>

²⁶IPSE, Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. II Encuentro técnico del observatorio de energías renovables para América Latina y el Caribe. Ministerio de Minas y Energía. Marzo, 2011. Disponible en: <http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/presentation_jairo_benavides_3.PDF>

²⁷ Disponible en: <<http://www.altaingenieriaxxi.com>>

prácticas relacionadas con eficiencia energética y tecnológica en las actividades relacionadas de los sectores propuestos, es una visión de futuro de largo aliento con iniciativas que se espera generen beneficios para el país. La Colombia Inteligente es el marco estratégico intersectorial que define los lineamientos y la métrica de seguimiento de una ruta hacia un sector eléctrico eficiente y sostenible con una operación confiable y segura de la red eléctrica. El Proyecto Nacional de Redes Inteligentes es el desarrollo de la primera fase de las actividades dentro del marco definido por Colombia Inteligente. Este proyecto tiene una estructura independiente pero reúne sus esfuerzos hacia objetivos concretos de corto plazo pero alineados con las metas de largo plazo del marco estratégico. Los dos focos que componen el proyecto tienen una estructura similar. Se compone de actores, objetivos, plan de acción, etc. Tienen una motivación muy parecida, lo que hace que a lo largo del tiempo se realimenten uno al otro, asegurando el éxito de ambos²⁸.

4.6.5 Vehículos Eléctricos en Colombia. El uso de fuentes alternativas en el sector vehicular en Colombia es muy poco. Aparte de la gasolina, los vehículos usan diesel y gas natural. Vehículos que usen Etanol E85 no hay, aunque el gobierno con el decreto 1135 quiere presionar el uso del mismo obligando a que el 60% de los vehículos nuevos en 2012 de hasta 2.000 cc funcionen con una mezcla de etanol del 85%, sin embargo, esto ha generado gran polémica que aún permanece, por una parte por ser una medida obligatoria, por otra parte porque la producción de etanol podría no cumplir con la demanda y podría aumentar los costos de los alimentos, además para los fabricantes el mercado colombiano no es representativo para hacer esfuerzos en este sentido. El gobierno nacional facilita el ingreso de los vehículos eléctricos al país, pues autorizó el 18 febrero de 2009 la importación de 100 vehículos eléctricos con cero arancel²⁹, ya desde octubre de 2008 se había anunciado que se permitía la importación de 100 vehículos, 10 de los cuales podían ser importados en 2008 y el resto en 2009.

También empezarán a utilizarse vehículos cero kilómetros de gas natural con la garantía de la fábrica, como dijo Juan Guillermo Londoño en abril de 2009: “El toque secreto de esta nueva ola de los cero kilómetros radica en que los motores de los vehículos a gas están siendo fabricados bajo las especificaciones de la geografía colombiana, e incluso el tipo de gas vehicular que se consume internamente y obviamente las condiciones propias del modelo que se va a comercializar”³⁰. Con esto se abren mayores perspectivas para estos vehículos en el país.

²⁸ Disponible en: <<http://www.colombiainteligente.com.co>>

²⁹ CIRCULAR DE Secretaria de Prensa. Gobierno autorizó importación de 100 vehículos eléctricos, con cero arancel. Presidencia de la República, Colombia. 18 de febrero, 2009. Disponible en: <<http://web.presidencia.gov.co/sp/2009/febrero/18/06182009.html>>

³⁰ LONDOÑO, Juan Guillermo. Presidente de la Compañía Colombiana de Inversiones S.A (Colinversiones) desde el 2006.

Las emisiones de CO₂ en Colombia son de 59.39 Mt, lo que representa un 0.2% de las emisiones mundiales. Aunque parezcan pocas, el problema del calentamiento global y del cambio climático, también nos corresponde, además que Colombia no es ajena a los altos costos del petróleo y la gasolina, pues como dijo Juan Guillermo Londoño, es uno de los países donde se vende la gasolina más cara del continente.

En 2012, el gobierno Colombiano por medio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, publica que existe una “reducción del arancel de 15% a 5% a buses y camiones híbridos, eléctricos y dedicados a gas natural de forma permanente y la aprobación de 161 cupos para la importación con 0% de arancel vehículos livianos híbridos, eléctricos y dedicados a gas natural, con el fin de impulsar la utilización de tecnologías más limpias”³¹. Lo que significa que el gobierno contribuye al desarrollo en el país en cuanto a la utilización de Vehículos Eléctricos.

Colombia dispone de aproximaciones de carácter nacional de la potencialidad de la energía eólica, solar, de los residuos de la biomasa, áreas de interés para la geotermia y posee mapas referentes a los intereses de cada fuente. Actualmente, la UPME, PROURE, COLCIENCIAS, IDEAM, INGEOMINAS, empresas de generación, grupos de investigación y universidades continúan con la elaboración de inventarios de proyectos que aprovechen estas fuentes. En el [Anexo 10](#) se describe de forma detallada la potencialidad de las FNCE en Colombia.

³¹MINAMBIENTE, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 20 años siguiendo la agenda 21. República de Colombia, Bogotá D.C., 2012. Disponible en: <www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosInstitucional/rio_20/040512_balance_agenda_21.pdf>

5 DESARROLLO

5.1 COMPARACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE CADA ALTERNATIVA DE GENERACION DE ENERGÍA ELECTRICA NO CONVENCIONAL

Para tener una descripción clara de cada sistema generador de energía renovable no convencional, se hace necesario realizar comparaciones mediante tablas y mapas. Primero se realiza un análisis comparativo de la energía solar, eólica y geotérmica.

Tabla 3. Ventajas y Desventajas de las ERNC

ENERGÍA	SOLAR	EOLICA	GEOTERMICA
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gratuita. 2. Inagotable. 3. Limpia. 4. Tiene una elevada eficiencia energética. 5. Bajos o casi nulos costos de operación y mantenimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gratuita. 2. Inagotable. 3. Limpia 4. La instalación de centrales eólicas requiere poco tiempo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gratuita 2. Supone un ahorro de las energías fósiles, allí donde se pueda usar. 3. Inagotable. 4. Limpia.
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Llega a la tierra de manera dispersa y semialeatoria (depende de algunos factores no previsibles como el estado atmosférico y la contaminación). 2. No puede ser almacenada o utilizada directamente, se debe realizar una transformación energética. 3. Altos costos en la obtención de los materiales para la obtención de la energía. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La energía eólica no está concentrada en una zona. 2. Aleatoria (cuando las condiciones climáticas lo permiten). 3. Difícil de almacenar. 4. Necesita maquinas grandes y costosas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es de aplicación local (sólo donde es posible). 2. De manera directa no puede transmitirse a grandes distancias (el agua caliente se enfría y el vapor condensa). 3. La elevada humedad origina una fuerte corrosión en las instalaciones.

En la Tabla 3 se muestra una comparación de las ERNC en cuanto a las ventajas y desventajas. Se puede decir que las ERNC poseen ventajas muy similares, ya que todas son inagotables y sobretodo limpias. La desventaja que tienen en común es que para cada sistema se necesita una inversión inicial costosa, bien sea para adquisición de materiales o para maquinaria.

Tabla 4. Impacto ambiental y aplicaciones de las ERNC

CARACTERISTICA	SOLAR	EOLICA	GEOTERMICA
IMPACTO AMBIENTAL	<p>1. Uso Térmico: Solo el uso de media y alta temperatura puede originar algún impacto ambiental, en el suelo y en el paisaje, ya que requieren grandes extensiones de terreno.</p> <p>2. Uso Fotovoltaico: El efecto paisajístico y el uso de grandes extensiones de terreno, en las grandes centrales solares. En las pequeñas instalaciones el único problema es el efecto visual.</p>	<p>1. Ruido del giro del rotor.</p> <p>2. No produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.</p> <p>3. Impacto visual, poco estético.</p> <p>4. Produce interferencias en las transmisiones de televisión y radio.</p>	<p>1. Requiere grandes extensiones de terreno.</p> <p>2. Provoca erosión en el suelo, hundimiento del terreno e inducción a la actividad sísmica.</p> <p>3. Ruido.</p> <p>4. Modificación de las fuentes de agua.</p> <p>5. Alteración de los ecosistemas.</p> <p>6. Su impacto ambiental es mucho menor que el de las energías fósiles.</p>

APLICACIONES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para producción de calor. 2. Para producción de electricidad. 3. Para producir biomasa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producir electricidad, para la red. 2. Aerogeneradores para faros, bombeo y electrificación de viviendas. 3. Bombeo de agua. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Producción de energía eléctrica, en yacimientos de alta temperatura. 2. Para usos directos del calor y/o vapor de agua (procesos industriales, calefacción viviendas, invernaderos, granjas), en yacimientos de baja temperatura.
---------------------	--	---	---

La Tabla 4 indica el impacto ambiental de las ERNC, de lo cual se puede decir que todas poseen un impacto ambiental bajo ya que no son contaminantes. También esta tabla muestra las aplicaciones de cada ERNC, evidenciando que los tres sistemas se pueden utilizar de manera amplia en producción de energía eléctrica.

El estudio de la energía de la biomasa se realiza de manera individual debido a sus características especiales. A continuación se muestran comparaciones en las distintas formas de biomasa.

La Tabla 5 indica una comparación de las formas de biomasa en cuanto a sus ventajas y desventajas, concluyendo que la biomasa reduce significativamente los problemas actuales de manejo de los desechos. También se puede afirmar que la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía, por lo que se requieren grandes volúmenes para producir niveles de potencia comparables con los producidos por combustibles fósiles.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de las diferentes formas de biomasa

BIOMASA	RESIDUOS FORESTALES Y AGRICOLAS	RESIDUOS BIODEGRADABLES	CULTIVOS ENERGÉTICOS
VENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Favorece la regeneración natural del bosque. 2. Facilita la reforestación artificial. 3. Posibilita el crecimiento del arbolado. 4. Mejora la calidad del arbolado. 5. Disminuye el peligro de plagas. 6. Incrementa el hábitat de cierta fauna silvestre. 7. Dificulta los incendios forestales. 8. Crea puestos de trabajo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sirve para depuración de residuos orgánicos e industriales al transformar sustancias muy contaminantes en productos libres de microorganismos patógenos. 2. La utilización del biogás evita el impacto ambiental que supone obtener esta energía por otros métodos más contaminantes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se busca cantidad y no calidad, por lo que no requieren cuidados especiales. 2. Pueden cultivarse en tierras marginales.
DESVENTAJAS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las astillas tienen una densidad energética menor. 2. Estacionalidad (no disponible a lo largo de todo el año). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muy disperso el excremento, por lo tanto es de difícil control. 2. Generación de olores. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización. 2. Producción estacional.

Tabla 6. Impacto ambiental y aplicaciones de las diferentes formas de Biomasa

CARACTERISTICA	RESIDUOS FORESTALES Y AGRICOLAS	RESIDUOS BIODEGRADABLES	CULTIVOS ENERGÉTICOS
IMPACTO AMBIENTAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. La contaminación producida en la combustión de estos materiales es menos contaminante que las energías fósiles. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para producir o ahorrar energía. 2. Reducir la carga orgánica de un residuo, al convertir ciertos compuestos orgánicos (como azúcares) en inorgánicos (CO₂) u orgánicos pero más sencillos (CH₄) y con menor impacto medioambiental. 3. Eliminar microorganismos patógenos. 4. Aumentar el valor de un residuo como fertilizante orgánico. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contaminan mucho menos que los combustibles fósiles.
APLICACIONES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtención de varios tipos de combustibles comercializables. 2. Utilización energética de los mismos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calefacción, granjas, invernaderos, etc. 2. Obtención de combustible. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener combustibles, especialmente alcohol etílico, que pueda sustituir total o parcialmente a la gasolina. 2. Sustituir al plomo de las gasolinas.

La Tabla 6 indica el impacto ambiental de las diferentes formas de biomasa, concluyendo que presenta una contaminación menor que la de combustibles fósiles. El potencial calórico de la biomasa depende de las variaciones en el contenido de humedad, clima y densidad de la materia prima. En cuanto al uso de los tipos de biomasa los sobresalientes son la producción de combustible y el biogás.

5.2 POTENCIAL DE LAS FNCE EN NARIÑO

La Gobernación de Nariño realizó el 30 de Abril del 2012 el proyecto: Plan de Desarrollo Departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015³². El plan se formula desde un enfoque territorial, lo que implica una mirada del desarrollo del departamento desde los recursos, problemas y proyectos estratégicos de cada una de las trece subregiones, en que se agruparon los 64 municipios que lo conforman. Desde este enfoque el desarrollo de Nariño, solo será posible si se potencian e integran dichas subregiones y además si se avanza particularmente en la integración entre la Costa y la Sierra nariñenses y se aprovecha positivamente su carácter de región de frontera con El Ecuador. La interrelación ambiental y cultural ha configurado a Nariño como un departamento de costa, sierra y pie de monte costero, integrado por 13 subregiones que se muestran en la Tabla 7. En el [Anexo 11](#) se encuentra el mapa del departamento de Nariño que indica las 13 subregiones.

Tabla 7. Subregiones del departamento de Nariño

No.	SUBREGION	MUNICIPIOS
1	SANQUIANGA	Charco, Santa Barbara, Olaya Herrera, La Tola, Mosquera.
2	PACIFICO SUR	Francisco Pizarro, Tumaco.
3	TELEMBI	Barbacoas, Magüi Payan, Roberto Payan.
4	PIE DE MONTE COSTERO	Mallama, Ricaurte.
5	EXPROVINCIA DE OBANDO	Ipiales, Aldana, Pupiales, Cuaspud, Potosí, Córdoba, Puerres, El Contadero, Iles, Gualmatán, Funes, Guachucal, Cumbal.
6	SABANA	Túquerres, Imués, Guaitarilla, Ospina, Sapuyes.
7	ABADES	Samaniego, Santacruz, Providencia.
8	OCCIDENTE	Sandoná, Linares, Consacá, Ancuya.
9	CORDILLERA	Taminango, Policarpa, Cumbitara, Leiva, El Rosario.
10	CENTRO	Pasto, Nariño, La Florida, Yacuanquer, Tangua, Chachagüí.
11	JUANAMBU	Buesaco, La Unión, San Pedro de Cartago, Arboleda, San Lorenzo.
12	RIO MAYO	Belén, La Cruz, El Tablón, Albán, San Bernardo, San Pablo, Colón.
13	GUAMBUYACO	Los Andes, La Llanada, El Tambo, El Peñol.

³² GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Para identificar el potencial de las FNCE en el departamento de Nariño, se efectuó una investigación exploratoria de los datos que más se relacionen con este tema. Los datos se clasificaron según el tema de estudio (energía solar, geotérmica, eólica y biomasa). Los datos obtenidos se analizan a continuación.

5.2.1 Potencial de Energía Solar en Nariño. La Universidad de Nariño y Corponariño realizaron un estudio en el año 2007 que se titula “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”. En el tomo II se presenta una descripción de las características biofísicas de los páramos de Nariño³³, donde se obtiene información de las estaciones meteorológicas implementadas en el departamento que indican las horas de brillo solar mensual en el año 2006.

En esta investigación se tiene en cuenta la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas en el departamento que se muestran en la Tabla 8, para identificar el potencial de brillo solar en las actuales subregiones donde aplica la información encontrada.

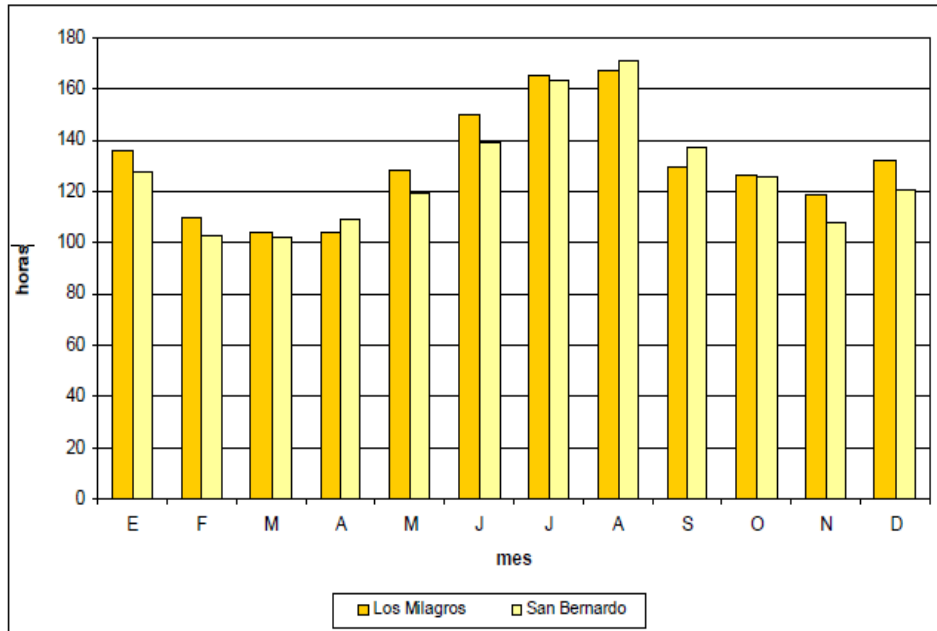
Tabla 8. Estaciones meteorológicas

No.	Estación Meteorológica	Ubicación Geográfica
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

- **Subregión río Mayo.** Se ubican en esta subregión las estaciones meteorológicas 1 y 2. En la Figura 8 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.

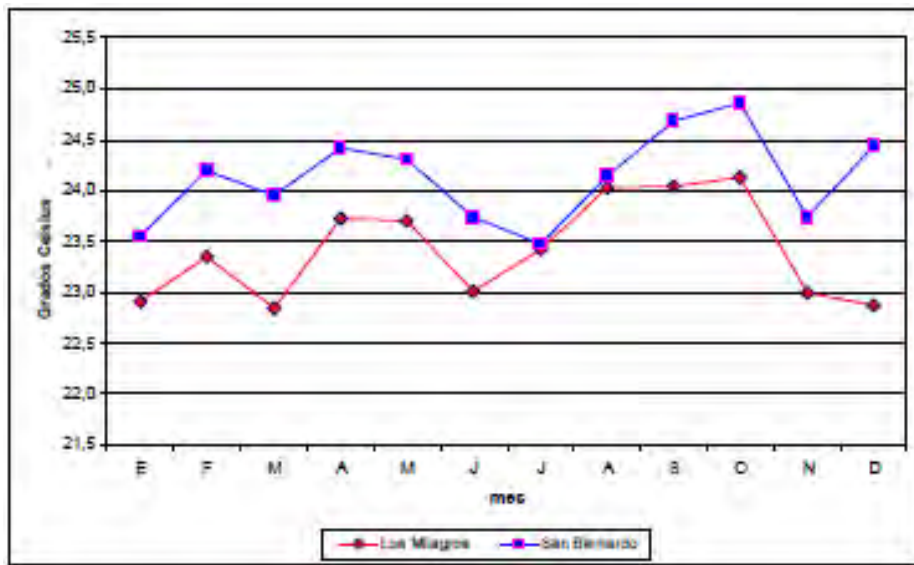
³³ Universidad de Nariño y Corponariño. Proyecto: Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. Tomo II: Características biofísicas de los páramos de Nariño. Grupo de investigación en biología de paramos y ecosistemas andinos, Equipo interdisciplinario proyecto páramos. San Juan de Pasto, Febrero de 2007. Disponible en: <<http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo02caracteristicasbiofisicas.pdf>>

Figura 8. Brillo Solar en la subregión río Mayo



Fuente: IDEAM, 2006.

Figura 9. Temperatura máxima en la subregión río Mayo



Fuente: IDEAM, 2006.

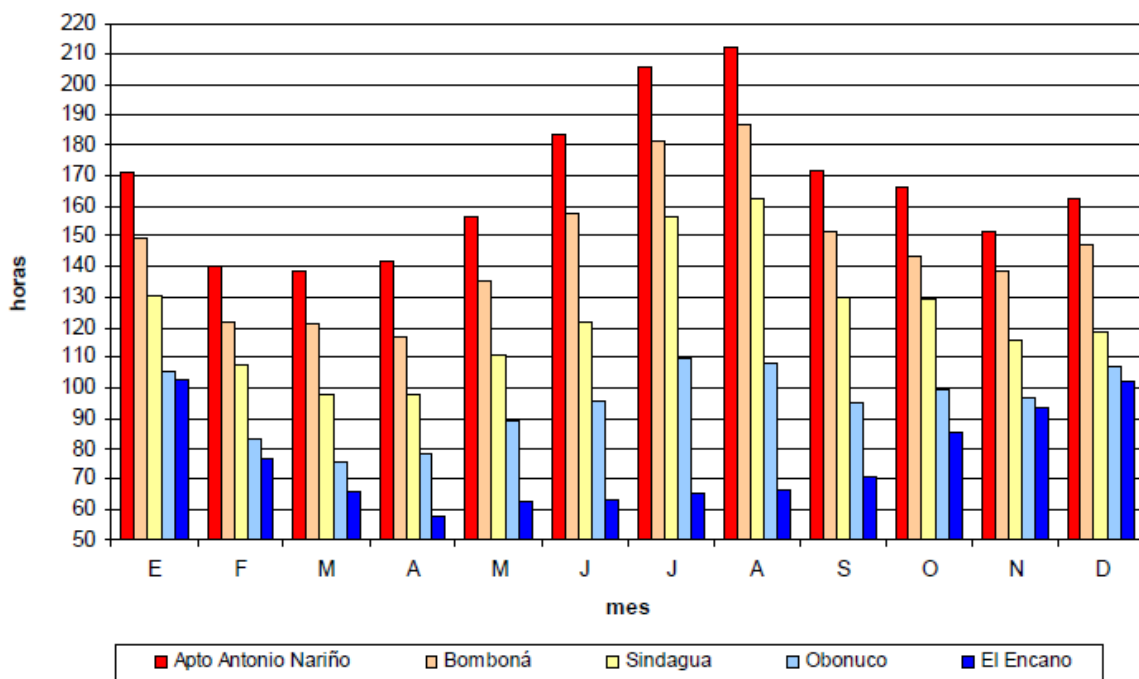
Extrañamente no existe correspondencia entre el comportamiento del brillo solar y las temperaturas máximas que se indican en la Figura 9, lo cual puede deberse quizás a que en los meses de mayor insolación se presentan fuertes vientos durante el día que generan un efecto de refrigeración en el aire.

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 cordillera³⁴.

- **Subregión Centro y Occidente.** En estas subregiones se ubican las estaciones del 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 10. 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.

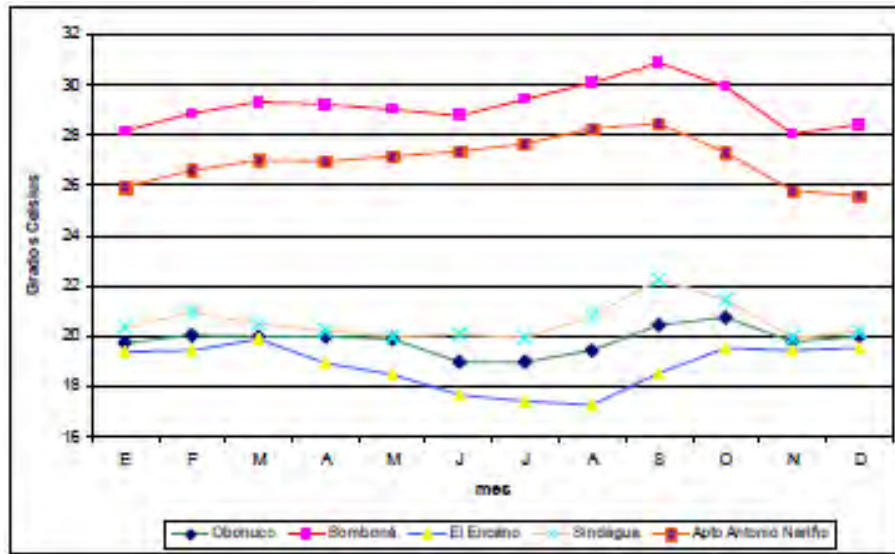
Figura 10. Brillo Solar en las subregiones Centro y Occidente



Fuente: IDEAM, 2006.

³⁴Ministerio 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 11. Temperatura máxima en las subregiones Centro y Occidente



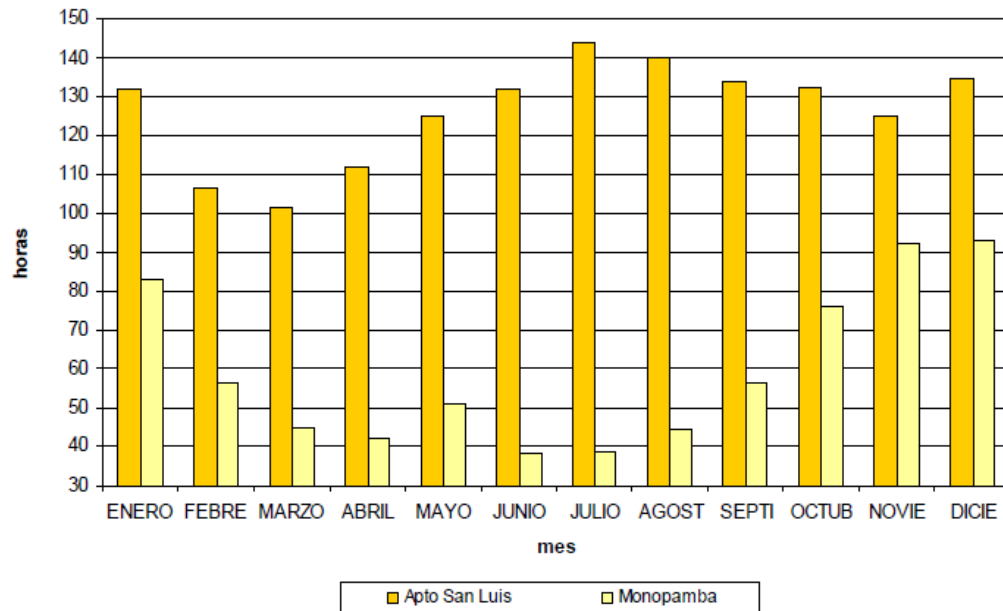
Fuente: IDEAM, 2006.

En relación con la temperatura máxima que indica la Figura 11, 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.

- **Subregión 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.
 - En la Figura 12, 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 cual 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, es decir que en estos días no se presenta más de una hora de sol despejado.

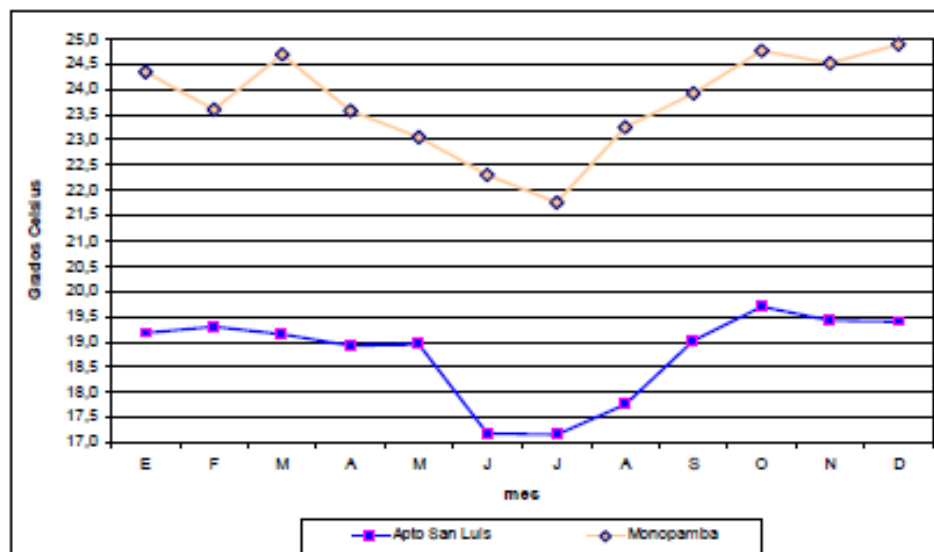
Se pudo analizar en la estación del aeropuerto de San Luis que cuando la temperatura máxima presenta su menor valor en los meses de junio, julio y agosto como indica la Figura 13, el promedio de horas diarias de brillo solar (4,5) es el máximo valor que presenta la estación. En la estación de Monopamba la relación de brillo solar con temperatura máxima es proporcional excepto en el mes de marzo que la relación es inversa.

Figura 12. Brillo Solar en la subregión Exprovincia de Obando



Fuente: IDEAM, 2006.

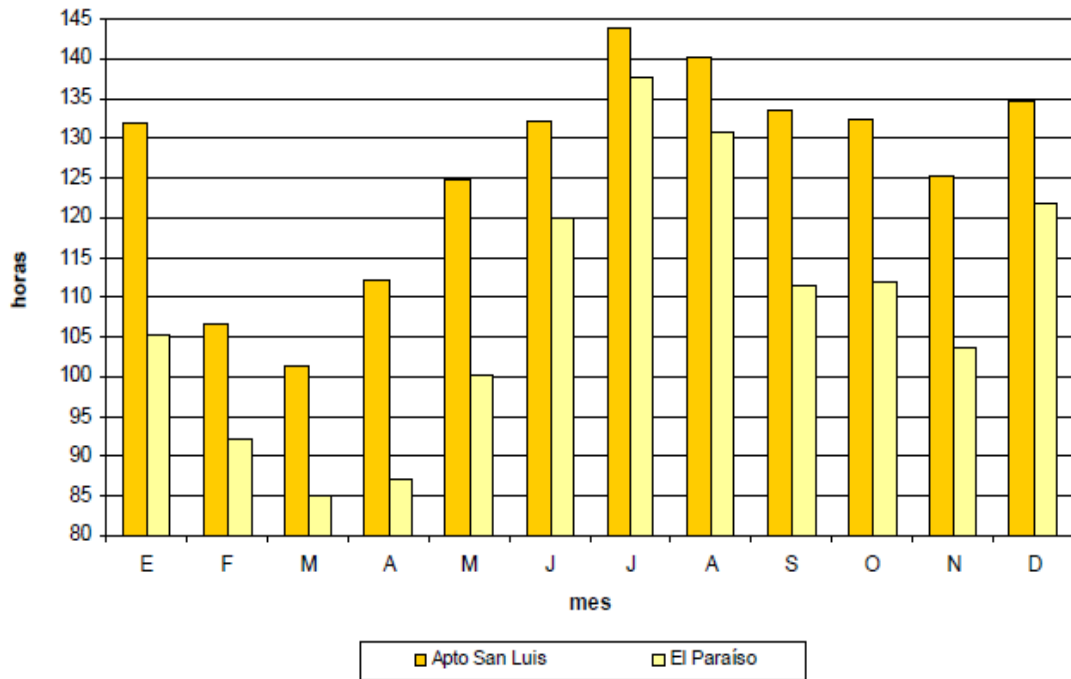
Figura 13. Temperatura máxima en la subregión Exprovincia de Obando



Fuente: IDEAM, 2006.

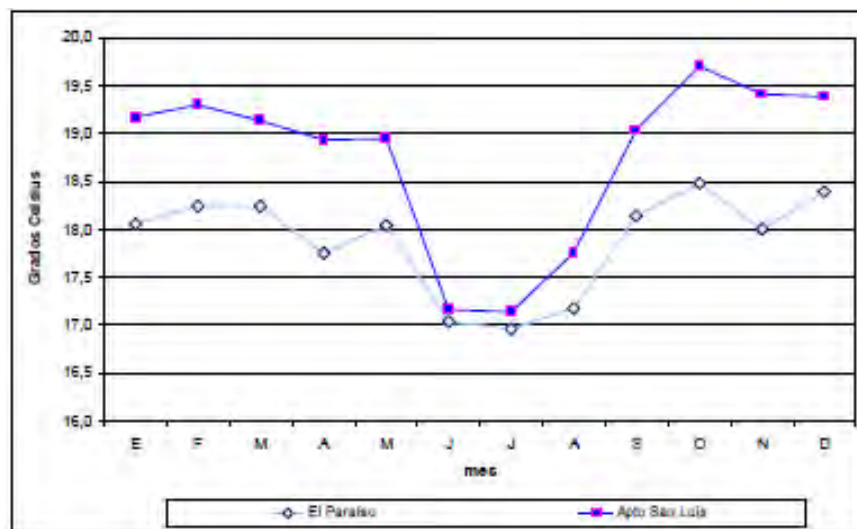
- En la Figura 14, la estación de San Luis en Aldana y El Paraíso en Túquerres presentan dos períodos de mayor insolación directa que se presentan entre los meses de junio a octubre y diciembre a enero; el menor brillo solar se presenta en el periodo comprendido entre los meses de febrero y abril.

Figura 14. Brillo Solar en las subregiones Exprovincia de Obando y Sabana



Fuente: IDEAM, 2006.

Figura 15. Temperatura máxima en las subregiones Centro y Sabana



Fuente: IDEAM, 2006.

En relación con la temperatura máxima indicada en la Figura 15, cuando presenta los menores valores en los meses de junio, julio y agosto, el brillo solar obtiene su mayor valor.

El [Anexo 12](#) contiene una tabla donde se obtiene el promedio de horas diarias de brillo solar en las estaciones meteorológicas. En la Tabla 9 se indica el resultado.

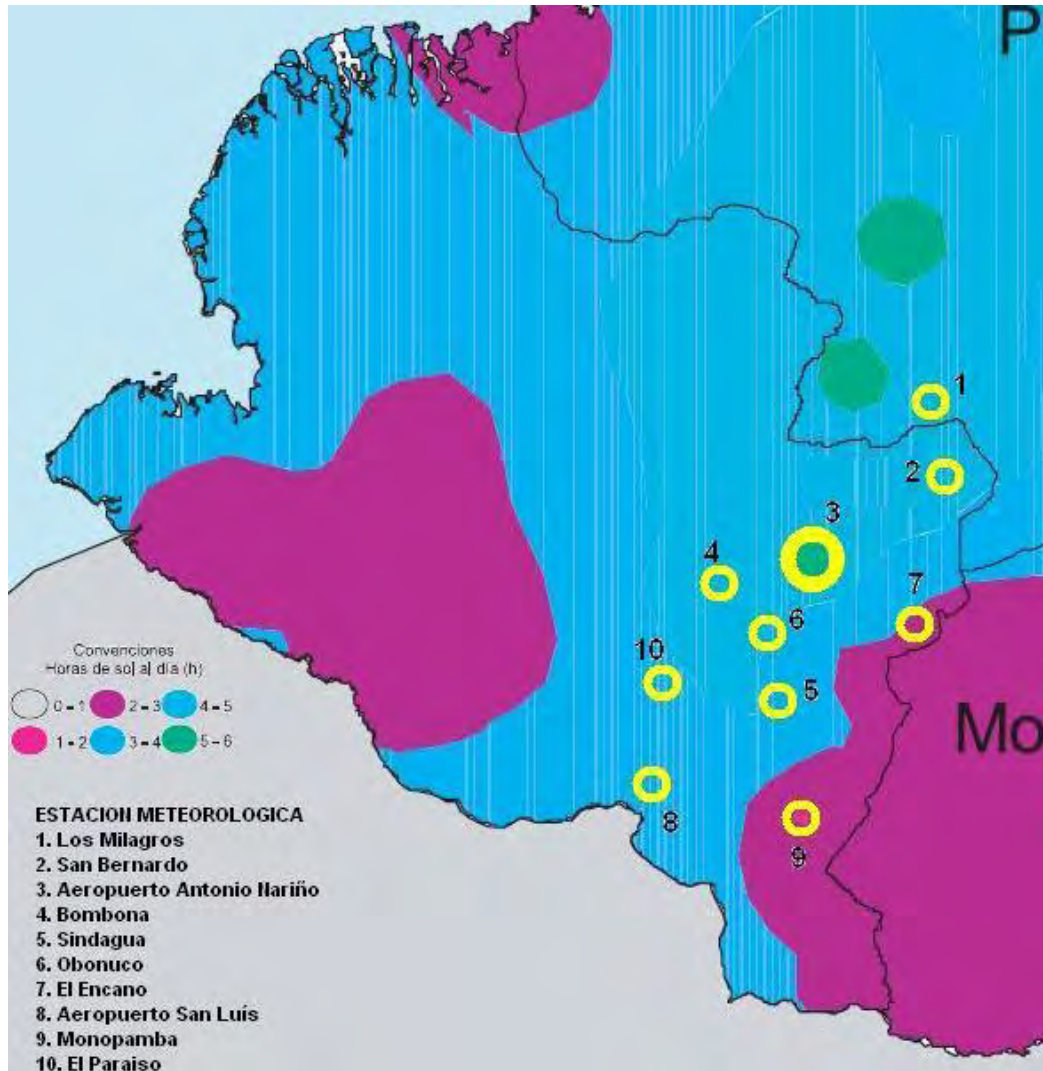
Tabla 9. Promedio diario de brillo solar en las estaciones meteorológicas

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

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) lo que indica que posee menor potencial aprovechable en energía fotovoltaica. La estación del Aeropuerto Antonio Nariño ubicada en Chachagüí presenta el mayor promedio (5,48 horas), lo que indica que posee el mayor potencial aprovechable. En la Figura 16, se indica el mapa de brillo solar del departamento de Nariño tomado del atlas solar de la UPME, en el cual se localiza las estaciones meteorológicas.

En la investigación no se encontró información de brillo solar para las demás subregiones del departamento.

Figura 16. Mapa brillo solar en Nariño



Fuente: UPME.

5.2.2 Potencial de Energía Geotérmica en Nariño. Las áreas que tienen mayor presencia de los elementos constitutivos de un sistema geotérmico de alta entalpia en el departamento son³⁵:

- **Subregión Exprovincia de Obando.** En esta subregión se localizan:
 - El volcán Chiles - Cerro Negro presenta 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.

³⁵ UPME, Unidad de planeación minero energética. Plan Preliminar de Expansión de Referencia: Generación - Transmisión 2011-2025, Op. Cit., p.86

- 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, fuentes termales superficiales y fragmentos rocosos hidrotermalizados de tipo vulcano-sedimentario que indican la existencia de un reservorio geotérmico de alta temperatura probablemente cubierto por rocas volcánicas terciarias que actuarían como cobertura impermeable.
- **Subregión Centro.** Se ubica en esta subregión el volcán Galeras que presenta manifestaciones de termalidad media–baja y la limitada evolución en sus términos volcánicos hacen surgir 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, pero la presencia de un espeso basamento metamórfico por debajo de las vulcanitas sugiere que podría haber problema con la existencia de un reservorio geotérmico.

5.2.3 Potencial de Energía Eólica en Nariño. En el departamento de Nariño están implementadas algunas estaciones meteorológicas que se muestran en la Tabla 10 y suministran información acerca de la dirección y velocidad del viento, por consiguiente se puede analizar el potencial de la energía eólica en Nariño.

Tabla 10. 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

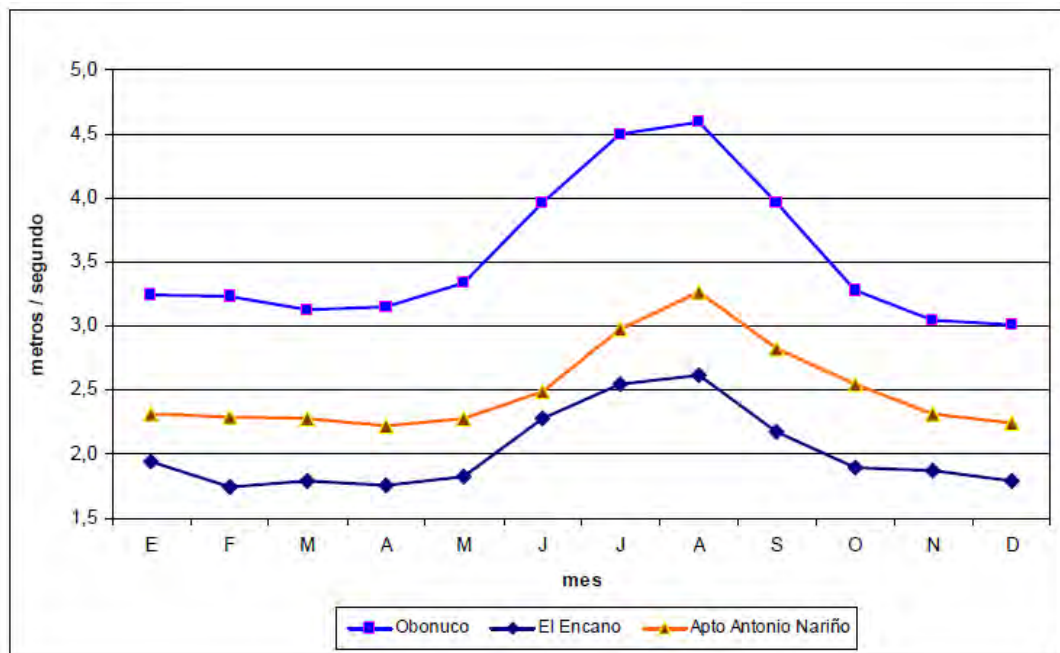
Retomando el proyecto “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”³⁶, tomo II, se extraen los datos de

³⁶ 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 páramos 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>>

dirección y velocidad del viento en las estaciones implementadas en el departamento:

- **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.

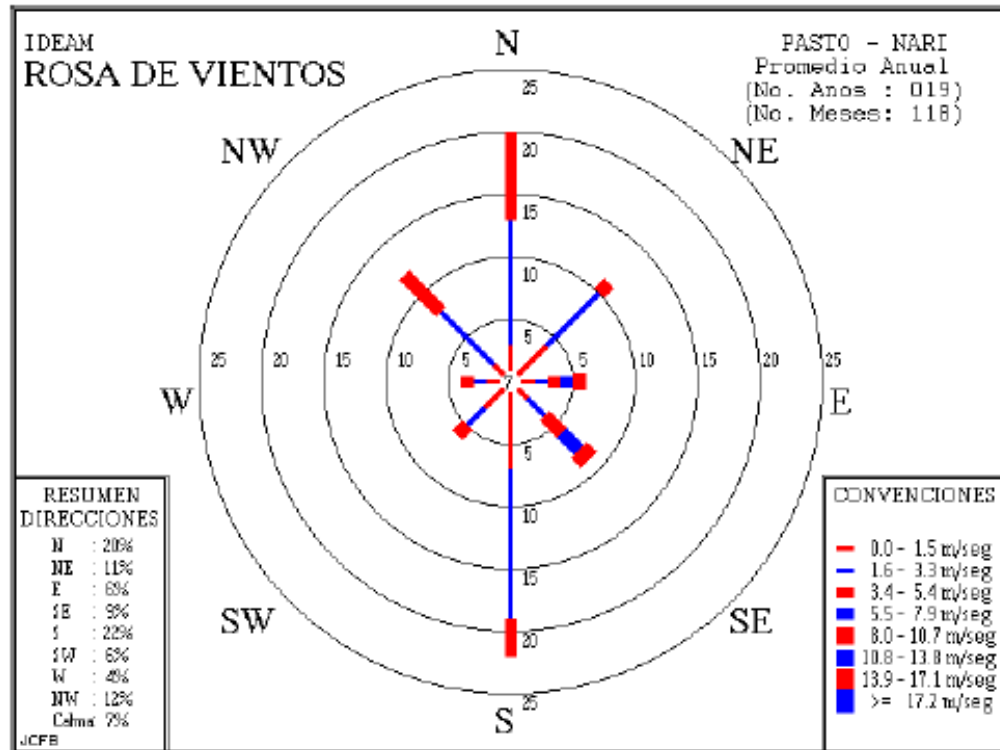
Figura 17. Velocidad del viento en las tres estaciones



Fuente: IDEAM, 2006

En la Figura 17, 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 18. Rosa de vientos en la estación sinóptica del aeropuerto Antonio Nariño



Fuente: IDEAM, 2006

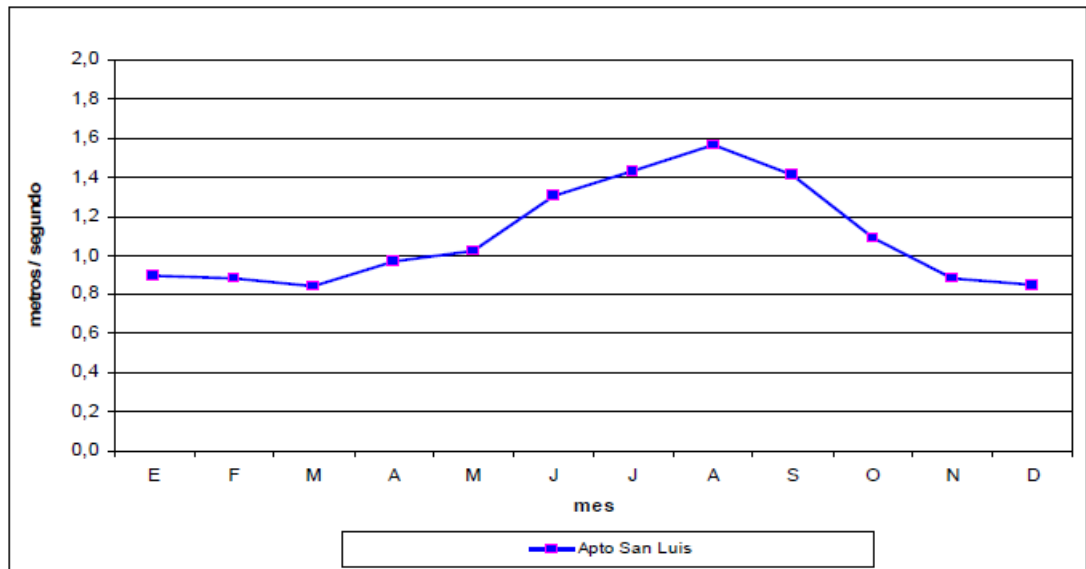
En la Figura 18, se indica la dirección del viento en la estación sinóptica ubicada en el aeropuerto Antonio Nariño, la cual muestra que los vientos predominantes son los alisios del sureste, que cobran mayor fuerza entre los meses de julio y septiembre con valores máximos de velocidad de 13.9 a 17.1 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, 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 descendan por los cañones desde el sur hacia el norte.

En los datos encontrados de la estación de Obonuco, se obtiene la rosa de vientos que tiene una baja calidad gráfica en medio digital, pero existe el análisis de ella: “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 suroeste³⁷.

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

Figura 19. Velocidad del viento en la estación Aeropuerto San Luis



Fuente: IDEAM 2006

En la Figura 19 se indican 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

³⁷ SI3EA, Sistema de Información de Eficiencia Energética y Energías Alternativas. Energía Eólica. Atlas de viento y energía eólica de Colombia. Capítulo IV: Distribución horaria de velocidad del viento en zonas con mayor aprovechamiento de potencial eólico. Disponible en: <<http://www.si3ea.gov.co/si3ea/Home/Energ%C3%ADaEolica/tabid/75/language/en-US/Default.aspx>>

penetran a la cordillera centro oriental”³⁸. De forma complementaria, los mismos autores concluyen que el cañón del río Guátara hace que las corrientes superficiales del viento asciendan a través de este corredor natural condicionando de cierta manera la circulación local del aire.

En la zona del volcán Azufral y en relación con el condicionamiento topográfico, Angulo et al aseguran que “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”³⁹. Así mismo, la forma explanada y amplia del volcán tiende a generar precipitaciones espontáneas o continuas y de intensidad variable.

- **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 así: 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 encontró dos boletines correspondientes al mes de enero⁴⁰ y junio⁴¹ del año 2012, en donde evidencian graficas de velocidad y dirección del viento.

Para analizar los datos de las Figuras 20 y 21 se utiliza la conversión de unidades que se presenta en la Tabla 11.

³⁸ MUNICIPIO DE IPIALES – SOCIEDAD COLOMBIANA DE ARQUITECTOS – CAPÍTULO IPIALES. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Diagnóstico Urbano. SCA. Ipiales, 2000.

³⁹ 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.

⁴⁰ CCCP, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Boletín meteorológico mensual del Pacífico Colombiano. Enero, 2012. Disponible en: <http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Enero/BoletinMeteomarinoMensualEnero_2012.pdf>

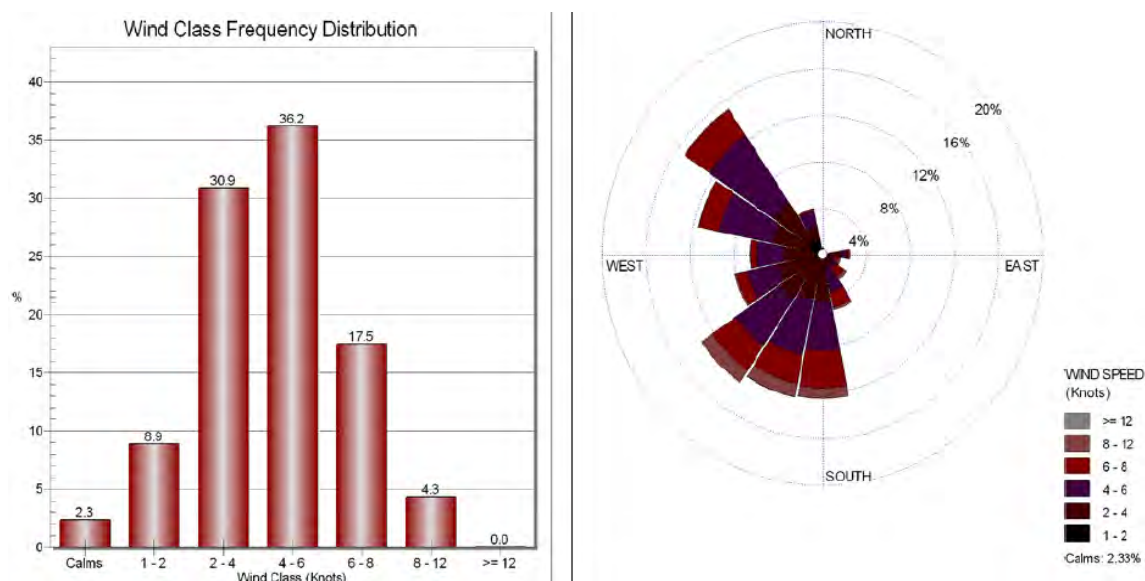
⁴¹ CCCP, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Boletín meteorológico mensual del Pacífico Colombiano. Junio, 2012. Disponible en: <http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Junio/BoletinMeteomarinoMensualJunio_2012.pdf>

Tabla 11. Conversión de nudos a m/s

Nudos	m/s	Nudos	m/s
1	0,514444	7	3,601108
2	1,028888	8	4,115552
3	1,028888	9	4,629996
4	2,057776	10	5,14444
5	2,57222	11	5,61
6	3,086664	12	6,12

– La Información del boletín del mes de enero de 2012, se observa en la Figura 20 y en la Tabla 12.

Figura 20. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes de enero



Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Enero, 2012⁴⁰.

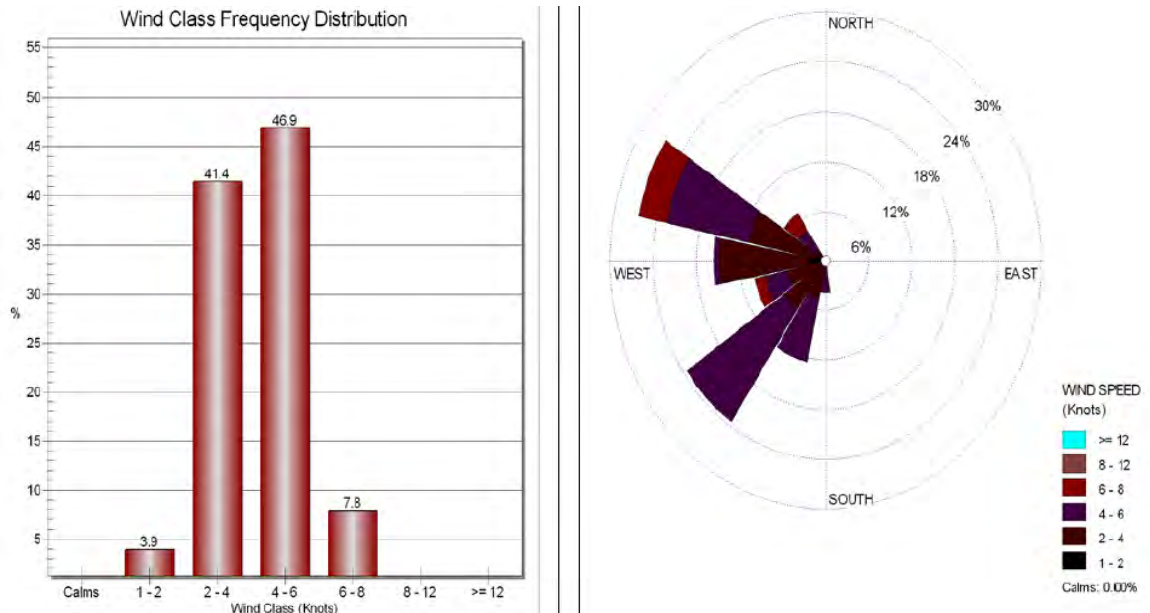
Tabla 12. Resumen estadístico dirección y velocidad del viento mes de enero

Velocidad del Viento		Dirección del Viento	
Intensidad (m/s)	Frecuencia Relativa (%)	Dirección Predominante	Frecuencia Relativa (%)
Calma	2.3	Noroeste	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-noroeste	11.8
4,11 – 6,12	4.3	Oeste - suroeste	9

Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Enero, 2012⁴⁰.

– La Información del boletín del mes de junio de 2012, se observa en la Figura 21 y en la Tabla 13.

Figura 21. Distribución de frecuencia de la velocidad del viento y rosa de vientos del mes de junio



Fuente: CCCP. Boletín meteomarinero mensual. Junio, 2012⁴¹.

Tabla 13. 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, 2012⁴¹.

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 2006⁴².

El [Anexo 13](#) contiene una tabla donde se obtiene el promedio anual de la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas que se indica en la Tabla 14.

Tabla 14. Promedio anual de la velocidad del viento en las estaciones meteorológicas

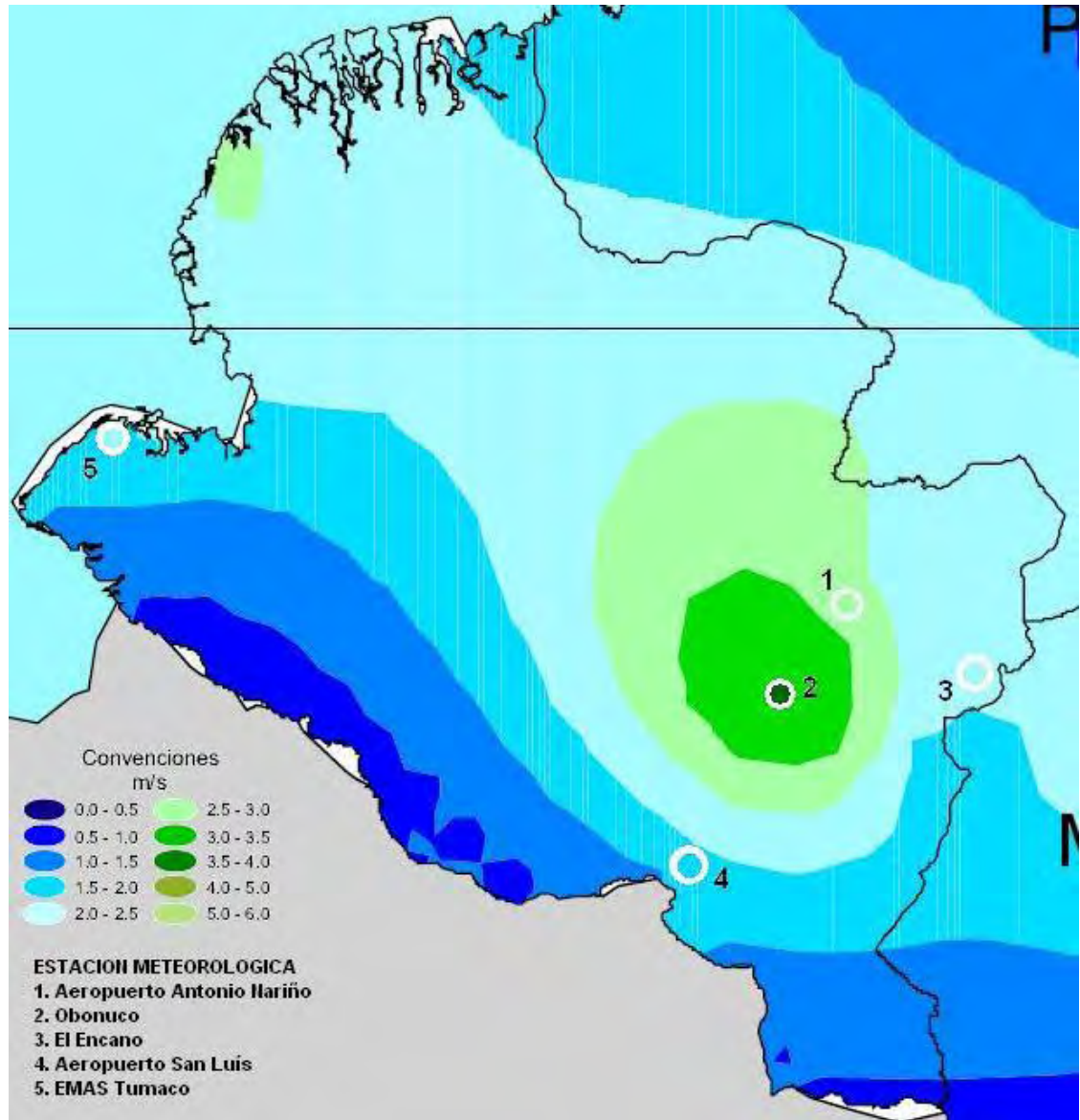
Estación Meteorológica	Promedio anual (m/s)
Aeropuerto Antonio Nariño	2,50
Obonuco	3,54
El Encano	2,00
Aeropuerto San Luis	1,11

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. En la estación meteorológica del Aeropuerto San Luis se presenta el menor promedio (1,11 m/s) lo que indica que no posee un buen potencial para el aprovechamiento de la energía eólica. En la Figura 22 se indica el mapa de la velocidad del viento en el departamento de Nariño, tomado del Atlas de Viento de la UPME, en el cual se localiza las estaciones meteorológicas.

De las subregiones faltantes no existe información acerca de la dirección y velocidad del viento.

⁴² CADENA, Ángela. Acciones y retos para energización de las ZNI en el País. UPME. Octubre 29, 2012.

Figura 22. Mapa de velocidad del viento en Nariño



Fuente: UPME.

5.2.4 Potencial de Energía Biomasa en Nariño. Los datos que suministra el plan de desarrollo departamental³² fueron tomados en el año 2010 y entre ellos se encuentran los indicadores agropecuarios que siguen siendo la actividad económica que más contribuye al PIB (Producto Interno Bruto) departamental y sirven como indicador para analizar el potencial de biomasa de las 13 subregiones del departamento. El indicador contiene información agrícola y pecuaria. 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).

Para el análisis del potencial de energía biomasa en el departamento, se opta por encontrar la media aritmética en cada indicador siguiendo la Ecuación 4 que será el valor mínimo para realizar el análisis de los residuos utilizados para determinar el potencial. También se analiza la densidad en las subregiones que indican un potencial de biomasa.

Ecuación 4. Media aritmética

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

Donde,

\bar{a} : Media aritmética.

a_i : Área sembrada o número de animales en cada subregión.

n : Número de subregiones del departamento.

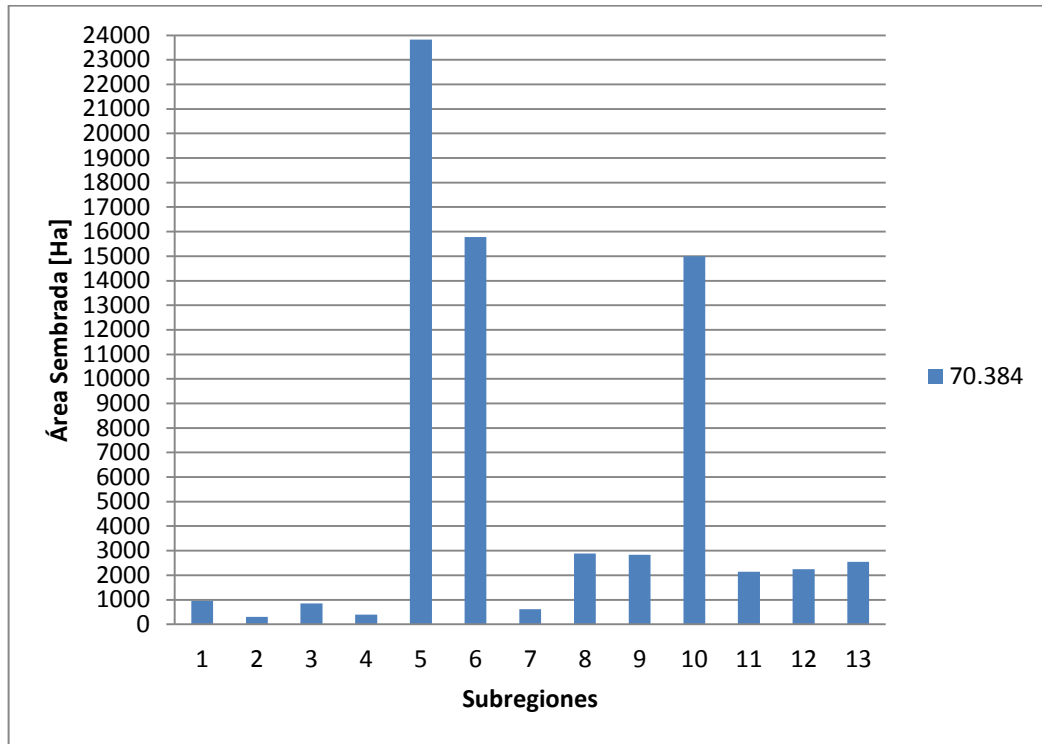
5.2.4.1 Cultivos transitorios. En el departamento se destacan los productos: arroz, maíz, frijol, papa y hortalizas. En la Tabla 15 se registran los valores de las áreas sembradas de cultivos transitorios en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 15. 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
12	Rio Mayo	2.242	3,19
13	Guambuyaco	2.549	3,62
	AREA TOTAL	70.384	100

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

Figura 23. 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 23 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 16 se muestra la densidad de cultivos transitorios de las tres subregiones:

Tabla 16. Densidad de cultivos transitorios

Subregión	Habitantes	Área sembrada de cultivos transitorios (Ha)	Densidad de 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

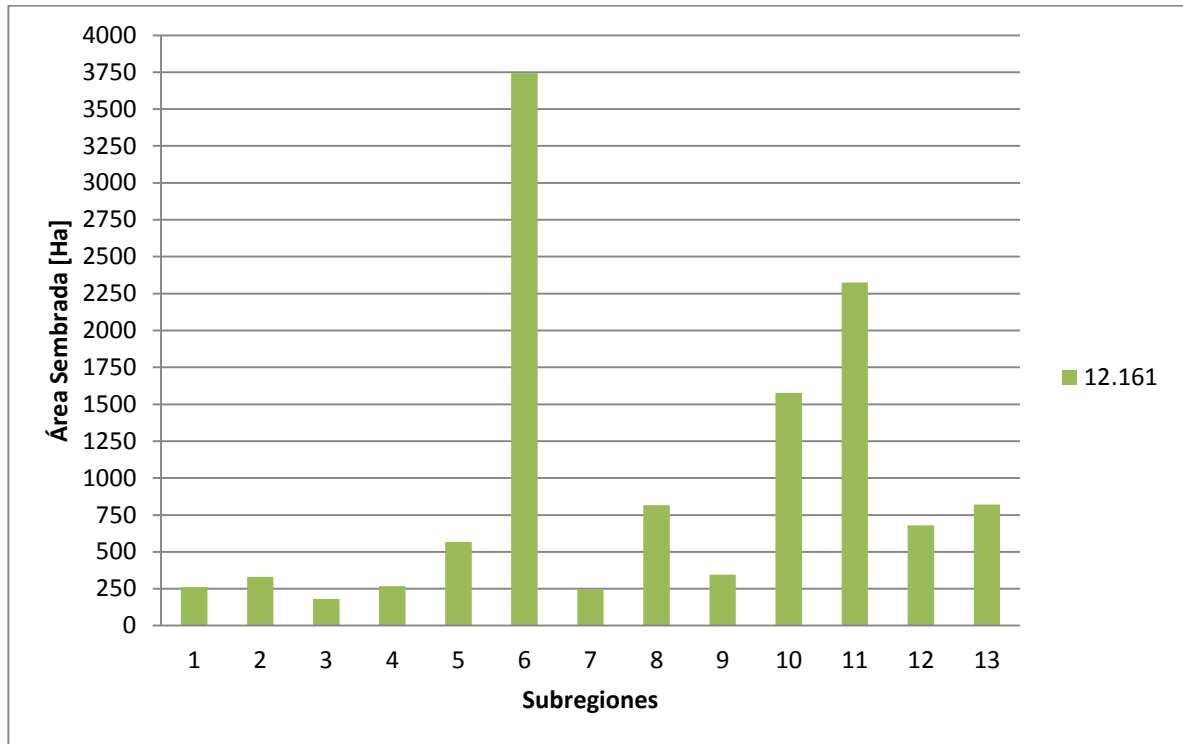
5.2.4.2 Cultivos anuales. En el departamento se destacan los productos: yuca, maíz y frijol. En la Tabla 17 se registra los valores de las áreas sembradas de cultivos anuales en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 17. Área sembrada de cultivos anuales en las 13 subregiones

No.	Subregión	Área sembrada de cultivos anuales [Ha]	%
1	Sanquianga	261	2,15
2	Pacifico 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 24. 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 24 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 18 se muestra la densidad de cultivos anuales de las tres subregiones:

Tabla 18. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

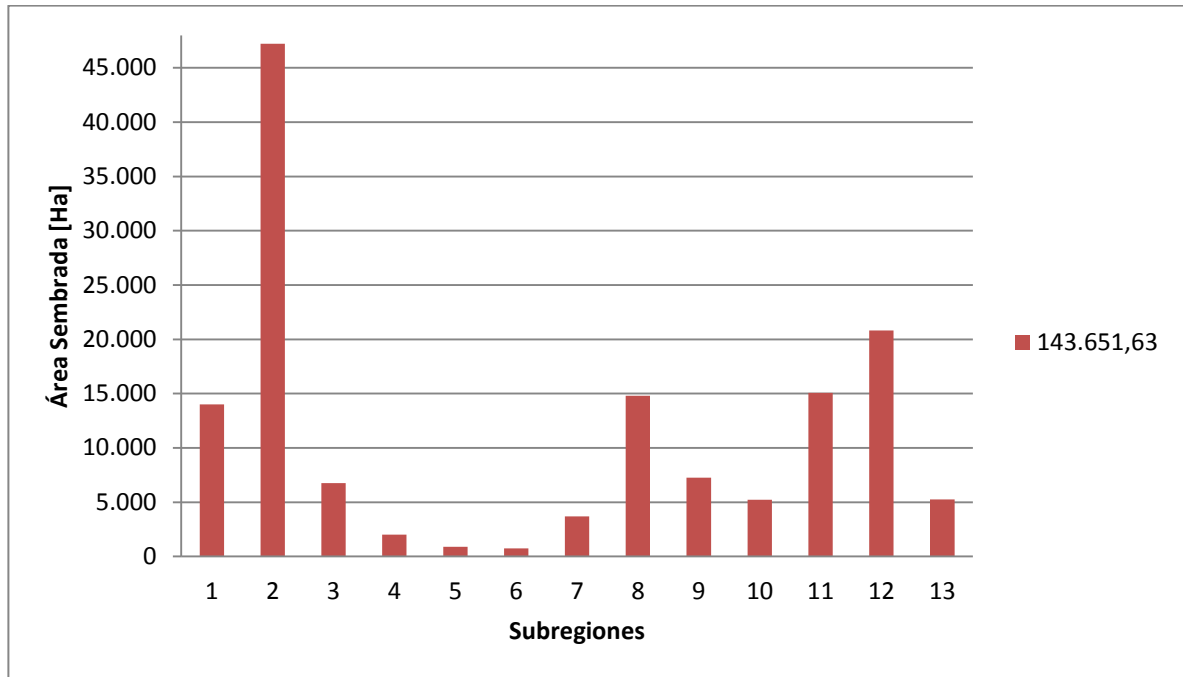
5.2.4.3 Cultivos permanentes. En el departamento se destacan los productos: plátano, café, caña, palma africana y coco. En la Tabla 19 se registra el valor de las áreas sembradas de cultivos permanentes en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

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

No.	Subregión	Área sembrada en cultivos permanentes [Ha]	%
1	Sanquianga	13.993	11,77
2	Pacifico 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 25. 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 25 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.
- **Rio 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 20 se muestra la densidad de cultivos permanentes de las cinco subregiones:

Tabla 20. 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
Rio 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

5.2.4.4 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 21 se indican los productos y residuos.

Tabla 21. 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

En la Tabla 22 se indican los productos con los cuales se puede generar biocombustibles tales como bioetanol y biodiesel.

Tabla 22. 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

En la Tabla 23 se indican los residuos de los productos que se pueden aprovechar para la generación de biocombustibles, biogás - bioabono y especies leñosas.

Tabla 23. 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

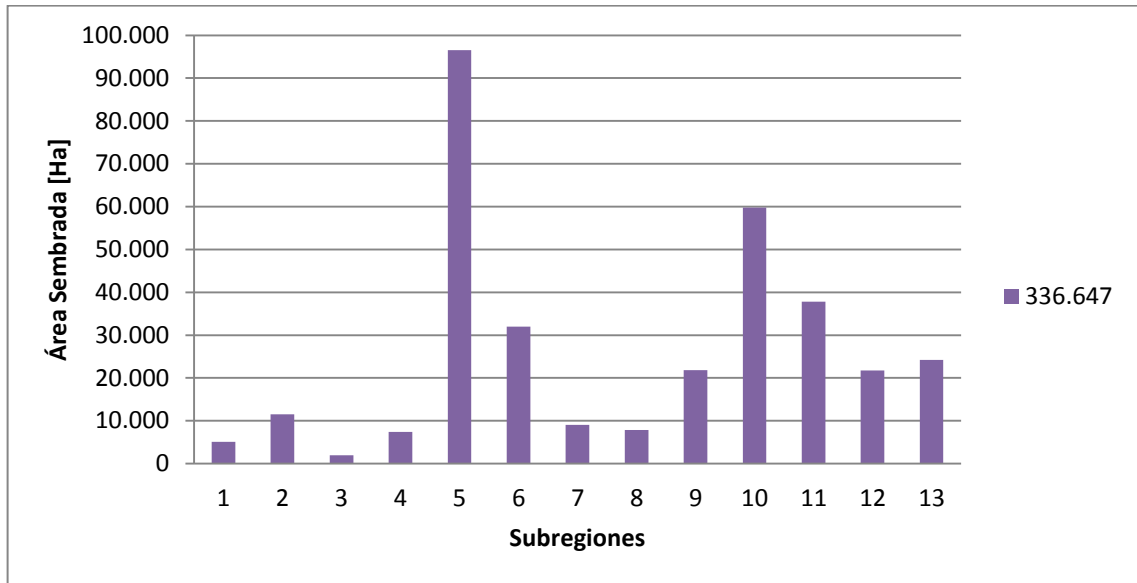
5.2.4.5 Pastos. En la Tabla 24 se registra el valor de las áreas sembradas de pasto en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 24. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones

No.	Subregión	Área en pastos [Ha]	%
1	Sanquianga	5.084	1,51
2	Pacifico 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 26. Área sembrada de pasto en las 13 subregiones



El área total de pasto en el departamento es de 336.647 Ha. La Figura 26 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 25 se muestra la densidad de cultivos de pasto de las cuatro subregiones:

Tabla 25. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

El equipo de investigación de la Universidad Nacional de Palmira, integrado por la docente Luz Stella Cadavid y la estudiante Vanessa Bolaños, 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, además, los cálculos determinaron que con las toneladas de residuos generados al mes, se podría producir 4.026 kW/h⁴³. Este estudio se convierte en un estímulo para el aprovechamiento de los residuos de la poda de los pastos en el departamento de Nariño.

5.2.4.6 Ganadería. En la Tabla 26 se registra el número de cabezas de ganado existente en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

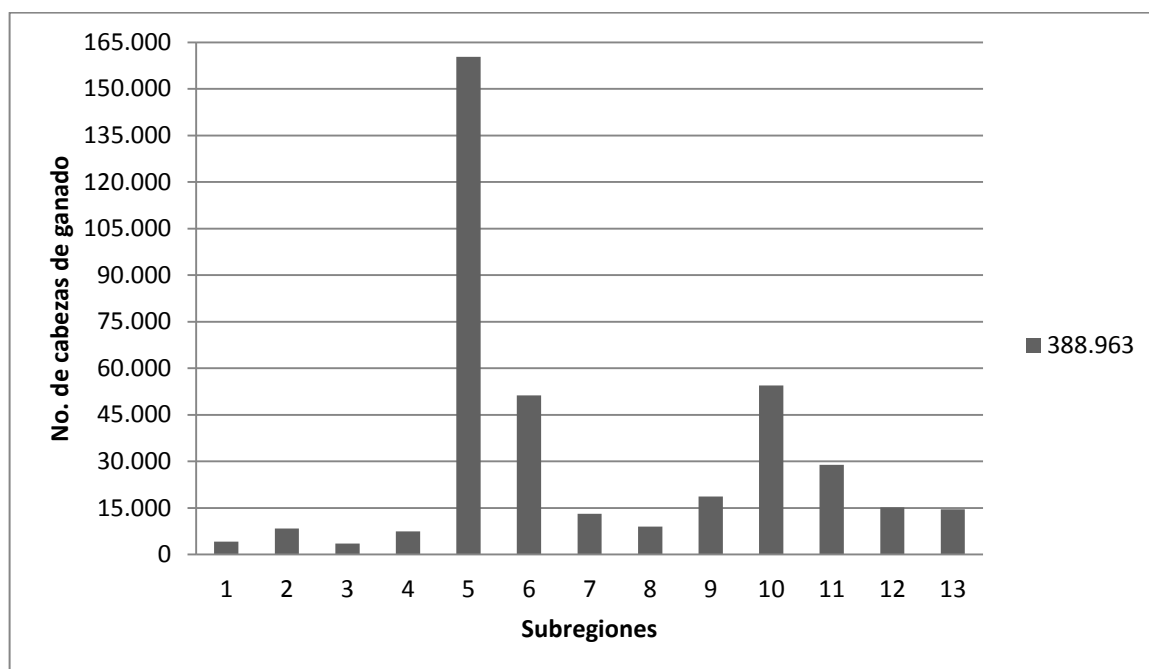
Tabla 26. Número de cabezas de ganado en las 13 subregiones

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	Río Mayo	15.154	3,9
13	Guambuyaco	14.539	3,74
	TOTAL	388.963	100

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

⁴³ 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 27. 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 27 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 27 se muestra la densidad del sector ganadero de las tres subregiones:

Tabla 27. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

5.2.4.7 Especies menores.

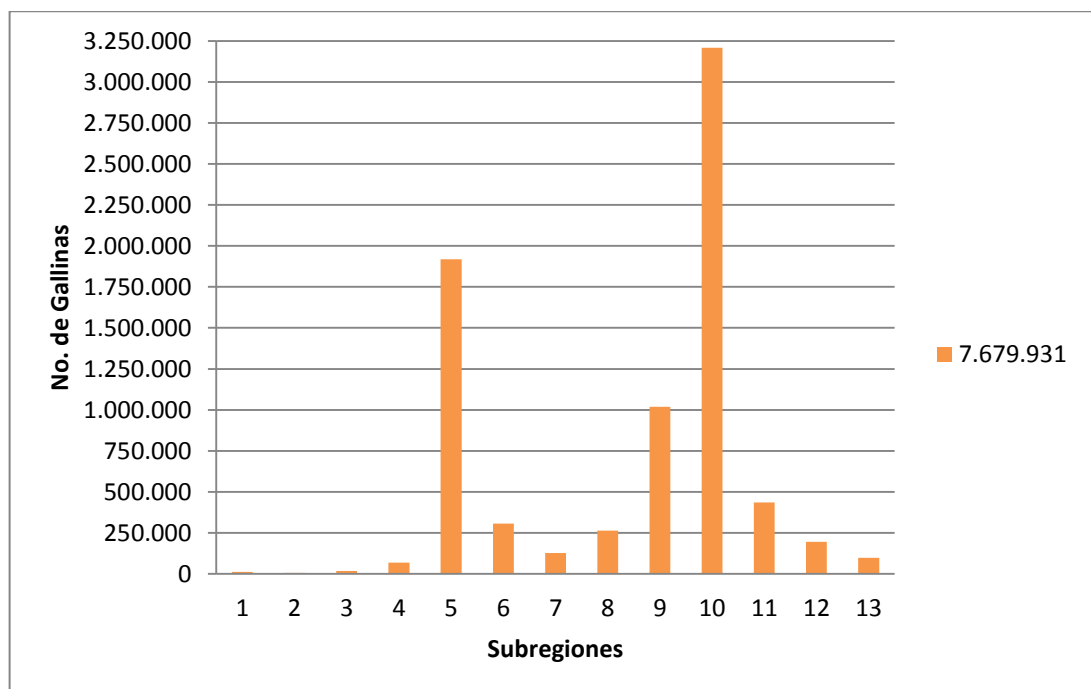
5.2.4.7.1 Gallinas. En la Tabla 28 se registra el número de gallinas en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 28. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 28. Número de gallinas en las 13 subregiones



El número total de gallinas en el departamento es de 7.679.931. La Figura 28 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 29 se muestra la densidad de gallinas de las tres subregiones.

Tabla 29. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

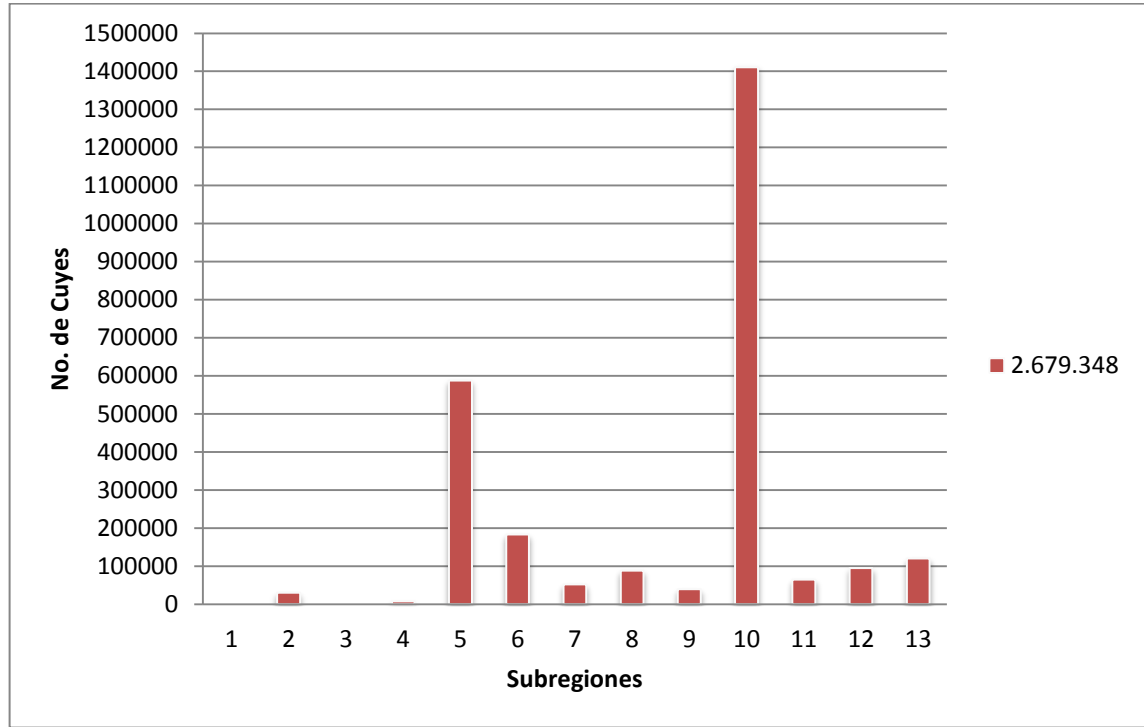
5.2.4.7.2 Cuyes. En la Tabla 30 se registra el número de cuyes en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 30. Número de cuyes en las 13 subregiones

No.	Subregión	Cuyes	%
1	Sanquianga	0	0
2	Pacifico Sur	30.200	1,13
3	Telebí	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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 29. Número de cuyes en las 13 subregiones



El número total de cuyes en el departamento es 2.679.348. La Figura 29 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 31 se muestra la densidad de cuyes de las dos subregiones.

Tabla 31. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

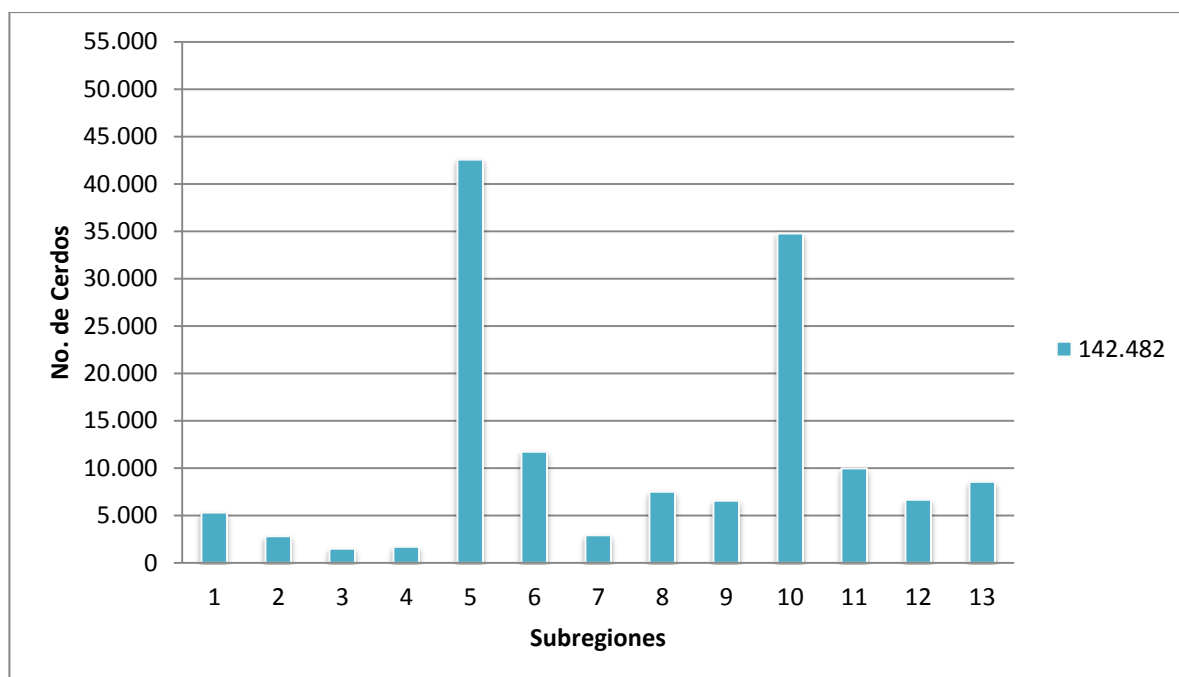
5.2.4.7.3 Porcinos. En la Tabla 32 se registra el número de cerdos en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 32. Número de cerdos en las 13 subregiones

No.	Subregión	Cerdos	%
1	Sanquianga	53.909	3,78
2	Pacifico Sur	2.800	1,96
3	Telembí	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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 30. Número de cerdos en las 13 subregiones



El número total de cerdos en el departamento es 142.482. La Figura 30 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 33 se muestra la densidad de porcinos de las cuatro subregiones.

Tabla 33. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

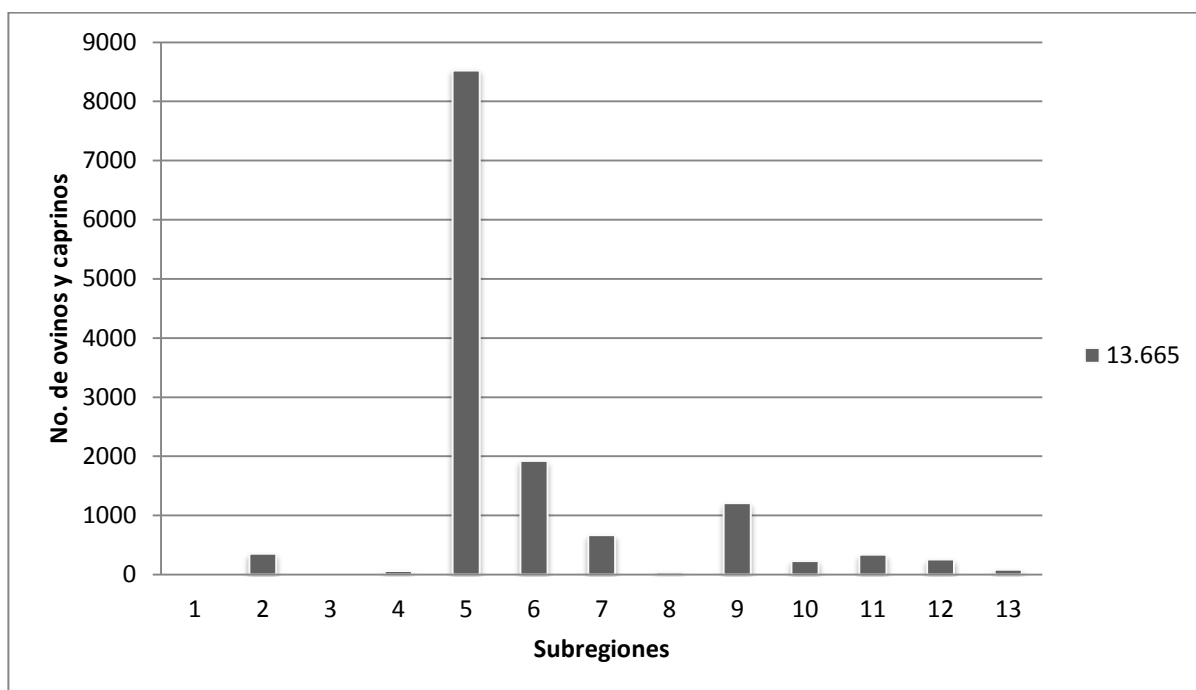
5.2.4.7.4 Ovinos y caprinos. En la Tabla 34 se registra el número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 34. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 31. Número de ovinos y caprinos en las 13 subregiones



El número total de ovinos y caprinos en el departamento es 13.665. La Figura 31 muestra el número de ovinos y caprinos en cada subregión, obteniendo una media de 1.051. 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 de Nariño. En la Tabla 35 se muestra la densidad de ovinos y caprinos de las tres subregiones:

Tabla 35. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

5.2.4.8 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: 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 36 se indica la producción diaria de biogás a partir del estiércol de algunos animales.

Tabla 36. 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: GUERRERO, Luz. Que es el biogás? En: Vida verde.

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. En estas subregiones se analizan 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).

5.2.4.9 Residuos sólidos urbanos (RSU). En los indicadores de servicios públicos contiene datos de los residuos sólidos de las 13 subregiones del departamento de Nariño que se pueden observar en la Tabla 36. Los residuos sólidos urbanos en el departamento de Nariño 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 (restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos y la comida que sobra), papel y cartón, plásticos, vidrio y metales.

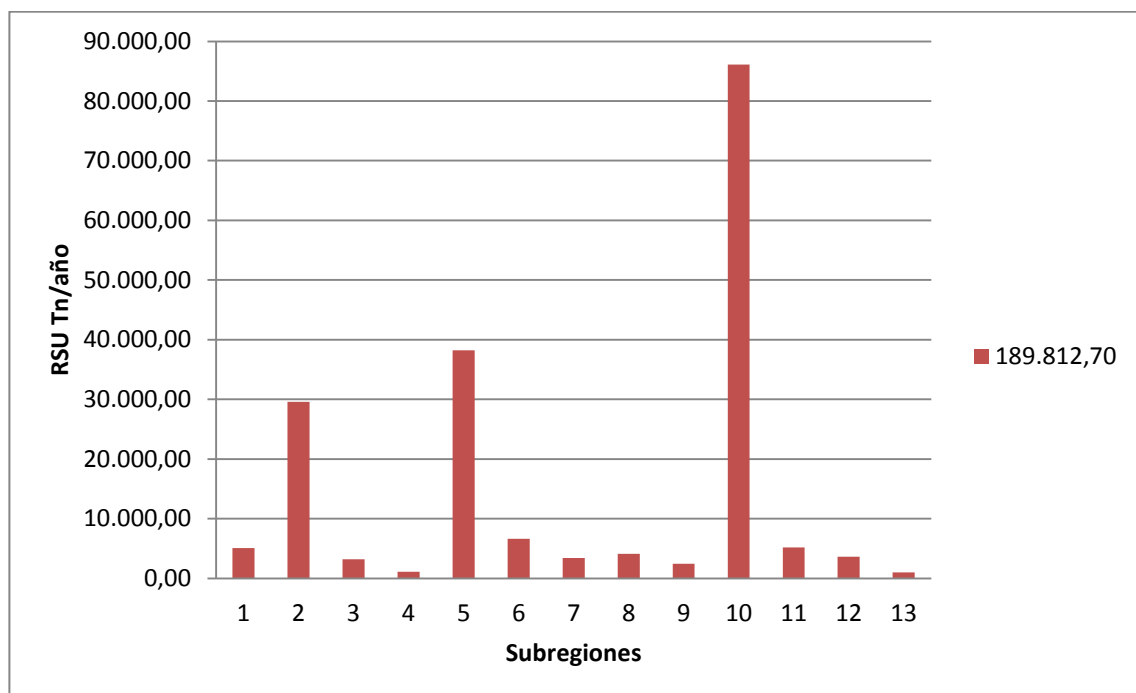
En la Tabla 37 se registran los RSU en las 13 subregiones del departamento de Nariño.

Tabla 37. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Figura 32. RSU en las 13 subregiones



El total de producción de RSU es 189.812,7. La Figura 32 muestra las toneladas de RSU en cada subregión, obteniendo una media de 14.600,98. 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 38 se muestra la densidad de RSU de las tres subregiones:

Tabla 38. 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: GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

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

5.2.5 Potencial de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Nariño. Las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Colombia son consideradas energías renovables, por lo cual en el [Anexo 14](#) se suministra información acerca de los aspectos generales de las PCH.

El departamento de Nariño por su riqueza en la fuente hídrica posee una generación de energía eléctrica a través de 5 hidroeléctricas que se indican en la Tabla 39.

Tabla 39. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Nariño

Planta	Capacidad (MW)	Zona
Central río Mayo	19.8	Norte
Río Bobo	3.8	Centro
Río Sapuyes	1.8	Sur
Río Julio Bravo	1.5	Centro
Mini central río Ingenio	0.2	Occidente

Fuente: CHAVES ACOSTA, Lised Katherine, CHAVES ROSERO, Camilo José, VILLOTA REVELO³².

La pequeña central hidroeléctrica es considerada como una fuente renovable de energía es por eso que se tiene en cuenta las últimas 4 de la Tabla 39.

- PCH de río Bobo ubicada en la vereda Chachatoy, del corregimiento de Santa Bárbara, municipio de Pasto, departamento de Nariño. Fue construida en el año 1960, la mayoría de los equipos instalados y en operación son de esa fecha. Actualmente las turbinas en operación han perdido su eficiencia hidráulica, el grupo uno cuenta con un generador marca Marely de 1.400 kW y la turbina actual solo entrega 800 kW es decir que hay una pérdida efectiva de 600 kW, solo en este grupo. El grupo 2 cuenta con un generador Westinghouse de 1.500 kW, sin embargo la turbina Pelton de este grupo se cambió en el año 1995, razón por la cual su vida útil todavía está vigente. El grupo tres cuenta con un generador marca Oerlikon con capacidad de 1.500 kW. Sin embargo, la turbina solo abastece un máximo de 800 kW, es decir, presenta una pérdida de potencia de 700 kW equivalente.
- PCH de Julio Bravo ubicada en el municipio de Pasto, departamento de Nariño. Inició su operación en el año de 1942. Tiene una capacidad de 1,5 MW y produce 6,45 GW hora año. Funciona con tres turbinas marca Pelton cuyo generador es de 500 kW cada uno.
- PCH de río Sapuyes ubicada en el municipio de Túquerres, departamento de Nariño. En 1952, se inicia la obra ubicada en la vereda La Flor a 3 km del municipio de Túquerres. La planta de río Sapuyes posee una capacidad de 1,8 MW produce 9,76 GW hora año.
- PCH del río Ingenio ubicada en el municipio de Sandoná, departamento de Nariño. La planta del río Ingenio tiene una capacidad de 0,2 MW, produce 0,71 GW hora año⁴⁴.

5.3 APLICACIONES DE SISTEMAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES DESARROLLADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO.

En el departamento de Nariño actualmente se encuentran desarrollos que están asociados a las fuentes de energía renovables. Con el fin de encontrar e identificar el potencial adecuado y aprovechable para cada subregión del departamento, es necesario conocer las aplicaciones existentes y la fuente aprovechada en distintas zonas. Para todos los lugares se tendrá en cuenta las coordenadas para su ubicación geográfica.

⁴⁴CHAVES ACOSTA, Lised Katherine, CHAVES ROSERO, Camilo José, VILLOTA REVELO, Jonathan. Generación Distribuida y Redes Inteligentes “Administración y Control efectivo de la red eléctrica mediante Smart Grid, beneficios sociales y económicos en la Ciudad de Pasto”, San Juan de Pasto, Colombia, 2011. Trabajo de Grado, Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Electrónica. Disponible en la base de datos en línea de la Biblioteca de la Universidad de Nariño:<<http://biblioteca.udenar.edu.co>>

A continuación se describen las aplicaciones implementadas en distintas zonas del departamento de Nariño, resultado de la investigación realizada en la región por los autores de éste trabajo. Las aplicaciones son las más demostrativas en cada una de las áreas de ERNC, representando un indicador de aprovechamiento y utilización.

5.3.1 Energía Solar.

5.3.1.1 Paneles Solares en el municipio de El Contadero. En la Tabla 40 se registran los datos del sistema fotovoltaico aislado en el municipio de El Contadero.

Tabla 40. Datos del Sistema en el Municipio de El Contadero

Área de sistema	Solar
Tipo de sistema	Solar fotovoltaico aislado
Año de instalación	2011
Ubicación geográfica	Contadero
Coordenadas	
Latitud	N 00°54,614'
Longitud	W 77°32,919
Altura	2.617 m.s.n.m
Temperatura ambiente	11.6 °C
Hora	4:30 p.m.

El sistema implementado en el municipio de El Contadero en la vivienda del Señor Ramiro Unigarro⁴⁵, es un sistema fotovoltaico aislado que cuenta con 2 paneles solares, 1 regulador, 3 baterías, 1 inversor y diferentes cargas eléctricas. La instalación se realizó en el año 2011 con el objetivo de minimizar los costos de la energía eléctrica distribuida convencionalmente y contar con energía eléctrica cuando el suministro de la red pública no esté presente.

La instalación es de tipo domestica ya que el sistema se lo utiliza para iluminación en el interior de la casa y para el funcionamiento de electrodomésticos específicos como: Televisor, Radio, Cargador de celulares. Además la vivienda cuenta con derivados en diferentes lugares para conexiones eventuales.

El sistema cuenta con 2 paneles solares conectados en paralelo, de marca BP Solar con un Módulo tipo BP275F, ubicados fijamente en la parte superior de la vivienda, expuestos a la radiación solar de manera directa. Cada panel está formado por la unión en serie de 36 células de tipo monocristalino que generan una potencia nominal máxima de 75 W y mínima de 70 W. Por lo tanto el bloque de paneles brinda a la vivienda una potencia máxima de 150 W aproximadamente. En el [Anexo 15](#) se puede observar el datasheet de los paneles.

⁴⁵UNIGARRO, Ramiro. Habitante del municipio de El Contadero.

El regulador está conectado en serie con los paneles y las baterías Este equipo es el encargado de controlar la carga y descarga de las baterías y evita cargas o descargas excesivas. La marca del regulador es BP Solar modelo GCR 2000 con una corriente máxima de 20 A, tiene alarma sonora y lumínica de prevención de carga y descarga para que el usuario pueda realizar las acciones debidas. En el [Anexo 16](#) se puede observar el datasheet del regulador.

El sistema cuenta con un bloque de tres baterías conectadas en paralelo, se encarga de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles solares durante las horas del día en que existe radiación solar, para luego utilizarlas en los momentos de nula o baja radiación. Éste bloque contiene una batería de mayor importancia porque es la que acumula la mayor cantidad de energía eléctrica generada por los paneles solares. La batería es de gel, tiene un voltaje nominal de 12 V y una capacidad de 105 Ah. Las dos baterías restantes son de 7 Ah y se utilizan de manera portátil para suplir una necesidad en cualquier lugar de la vivienda. El bloque de baterías tiene una potencia en la carga máxima de 1.428 Wh, debido a que la batería principal puede entregar 1.260 Wh y las dos restantes 84 Wh cada una. En el [Anexo 17](#) se puede observar el datasheet de la batería principal. El inversor es el encargado de transformar la corriente continua que llega de la batería en corriente alterna para así poder alimentar las cargas AC.

El consumo total de las cargas eléctricas conectadas al sistema durante un día es 1,44 kW en promedio. Entonces, durante un mes las cargas consumen en promedio 43,2 kW. Sabiendo que el costo comercial promedio de 1 kWh es de 466,11 pesos, el ahorro mensual que brinda el sistema es aproximadamente de 20.136 pesos. En la Tabla 41 se indica el consumo promedio diario de las cargas eléctricas del sistema.

Tabla 41. Consumo Eléctrico diario del Sistema Aislado

Unidad	Cargas eléctricas del sistema	Potencia Unitaria (Watt)	Horas de funcionamiento promedio al día	Total Energía consumida (Wh)
10	Bombillos Led (DC)	10	4	400
1	Televisor Led (AC)	100	4	400
1	Radio (DC)	60	8	480
1	Cargador de celular (AC)	80	2	160
TOTAL				1440 Wh/día

El señor Ramiro Unigarro expresa que la inversión que realizó para implementar el sistema fotovoltaico aislado en su vivienda en el año 2011 fue de aproximadamente 1'500.000 pesos.

En el [Anexo 18](#) se indica el registro fotográfico del sistema implementado en el municipio de El Contadero.

5.3.1.2 Paneles solares en el barrio Totoral de la ciudad de Ipiales. En la Tabla 42 se registran los datos del sistema fotovoltaico aislado en la ciudad de Ipiales.

Tabla 42. Datos del Sistema en la Ciudad de Ipiales

Área de sistema	Solar
Tipo de sistema	Solar fotovoltaico aislado
Año de instalación	2009
Ubicación geográfica	Ipiales
Coordenadas	
Latitud	N 00°50'05,334''
Longitud	W 77°38'14,681''
Altura	2.899 m.s.n.m
Temperatura ambiente	11°C
Hora	4:00 p.m.

El sistema implementado en la ciudad de Ipiales en la vivienda del Señor Carlos Vallejo⁴⁶ es un sistema fotovoltaico aislado que cuenta con 5 paneles solares, 1 regulador, 1 batería, 1 inversor y diferentes cargas eléctricas. La instalación inició en el año 2009 con el objetivo de buscar una solución a los altos costos de la energía eléctrica distribuida convencionalmente y también como una necesidad cuando no existe el suministro de energía eléctrica.

La instalación es de tipo domestica ya que el sistema se utiliza para la iluminación en el interior de la vivienda y para el funcionamiento de electrodomésticos específicos como: televisor, radio, cargador de celulares. El sistema cuenta con 5 paneles solares conectados en paralelo. El primer panel se adquirió en el año 2009, fabricado por ARCO en 1980, modelo ASI 16-2000, consta de 33 celdas tipo C-SI monocristalinas y genera una potencia nominal máxima de 35 W y mínima de 30 W. Cuatro paneles fueron construidos por el señor Carlos Vallejo ya que en el año 2010 importó de Estados Unidos celdas policristalinas; construyó tres paneles de 36 celdas y uno de 12 celdas. A partir de mediciones de voltaje y corriente realizadas a los paneles, se determina que cada panel de 36 celdas genera una potencia máxima de 70 W y una mínima de 65 W y que el panel de 12 celdas genera una potencia máxima de 24 W y una mínima de 20 W, éste se encuentra dedicado para la carga de dos celulares. El bloque de paneles que está ubicado en la parte superior de la vivienda suministra una potencia máxima de 269 W aproximadamente.

El regulador implementado es un CMP 12/24 con corriente máxima de 30 A, tiene alarma lumínica de 5 leds para *charge, load, battery* (3 leds) que indica el nivel de carga de la batería, esta es de plomo-acido, tiene un voltaje nominal de 12 V, capacidad de almacenamiento de energía de 150 Ah, potencia en la carga máxima de 1.800 Wh. El inversor se encuentra conectado a un televisor LED de 32".

⁴⁶VALLEJO, Carlos. Habitante del barrio Totoral, Ipiales.

El promedio del consumo de las cargas eléctricas del sistema aislado durante un día común es de 1,74 kW, teniendo en cuenta que el costo comercial de 1 kWh corresponde a 466,11 pesos, el ahorro mensual que brinda el sistema es aproximadamente de 24.330 pesos.

En la Tabla 43 se indica el consumo promedio diario de las cargas eléctricas del sistema.

Tabla 43. Consumo Eléctrico diario del Sistema Aislado

Unidad	Cargas eléctricas del sistema	Potencia Unitaria (Watt)	Horas de funcionamiento promedio al día	Total Energía consumida (Wh)
10	Bombillos Led (DC)	10	6	600
1	Televisor Led (AC)	100	5	500
1	Radio (DC)	60	8	480
2	Cargador de celular (AC)	80	1	160
TOTAL				1.740 Wh/día

En el [Anexo 19](#) se encuentra el registro fotográfico del sistema implementado en el barrio Totoral de la ciudad de Ipiales.

5.3.1.3 Sistemas SOS en el corredor vial Rumichaca – Pasto – Chachagüí – Aeropuerto Antonio Nariño. SOS es una señal de socorro utilizada en casos de emergencias. Actualmente se utiliza el sistema de radiodifusión para obtener un servicio de ayuda. La comunicación se establece a través de un sistema de radio de dos vías (*two way radio*), mediante radio bases y/o repetidores propios o de empresas prestadoras de servicios de repetidores comunitarios o troncalizados (*Trunking*). La operación es en modo simple o semiduplex, pudiendo simplificarse la operación con un sistema de vox-control. El sistema cuenta con identificación automática del poste en emergencia.

En el departamento de Nariño se implementaron 41 postes SOS en la vía panamericana en la concesión del corredor vial Rumichaca-Pasto-Chachagüí-Aeropuerto Antonio Nariño. Los postes SOS están ubicados cada tres kilómetros, el sistema de comunicaciones de emergencia SOS fue desarrollado por DEVINAR, subcontratando a la empresa Radiocom de la ciudad de Pasto.

El sistema SOS tiene una operatividad del 100% del tiempo, garantizada por fuente solar mediante paneles solares. La comunicación se realiza mediante radiodifusión modo digital utilizando radios digitales profesionales de dos vías. La comunicación se enlaza con la central de repetidoras ubicada a 7 km de la ciudad de Pasto, vía al aeropuerto Antonio Nariño. Dependiendo de la ubicación de cada poste SOS se instala en la parte superior del poste una antena: omnidireccional

para lugares de buena transmisión y direccional para lugares críticos donde es necesario enlazar con las repetidoras.

5.3.1.3.1 Los postes S.O.S. La Figura 33 indica las partes de un Poste SOS.

Figura 33. Poste SOS Fotovoltaico



Fuente: Servicom, Servicios y Comunicaciones S.A.S. Disponible en: <http://www.servicom.com.co/sistemas-sos.html>

El Poste SOS contiene las siguientes partes:

- Comunicación: Equipo de radiodifusión modo digital.
- Antena: Omnidireccional o direccional según la ubicación.
- Generador fotovoltaico: Panel solar de 55 W de potencia.
- Regulador solar de 12 V y 4 A.
- Batería seca de ciclo profundo de 75 A.
- Baliza destellante.
- Lógica de control.
- Cabezal de control: Único elemento al que accede el usuario.
- Base piso: loza de concreto de 1 metro de ancho, 1,5 metros de largo.
- Base del caño: Loza de concreto de 0,35 X 0,35 X 0,10 metros.
- Estructura: caño rectangular de acero laminado de 5,8 metros de altura, 0,15 metros de ancho y 0,10 metros de largo.

5.3.1.3.2 Mantenimiento. La empresa Radiocom realiza mantenimiento preventivo dos veces al mes, que incluye actividades de: supervisión del sistema fotovoltaico, correcto funcionamiento de los equipos, pruebas de enlace de radiodifusión y revisión del estado del cabezal de control.

La información del sistema SOS implementado en el departamento de Nariño fue suministrada por Luis Carlos Martínez⁴⁷.

Se registró el Poste SOS-02 y 03 ubicados en la vía perimetral Ipiales – Rumichaca, datos que se muestran en la Tabla 44 y 45 respectivamente.

Tabla 44. Datos del Poste SOS - 02

Área de sistema	Solar
Tipo de sistema	Solar fotovoltaico
Año de instalación	2008
Ubicación geográfica	Ipiales
Kilometro	3
Coordenadas	
Latitud	N 00°49'08,262''
Longitud	W 77°38'03,350''
Altura	2.843 m.s.n.m
Temperatura ambiente	15.6°C
Hora	2:00 p.m.

Tabla 45. Datos del Poste SOS - 03

Área de sistema	Solar
Tipo de sistema	Solar fotovoltaico
Año de instalación	2008
Ubicación geográfica	Ipiales
Kilometro	0
Coordenadas	
Latitud	N 00°49'43,354''
Longitud	W 77°36'24,127''
Altura	2.900 m.s.n.m
Temperatura ambiente	15.6°C
Hora	3:10 p.m.

En el [Anexo 20](#) se encuentra el registro fotográfico de los Postes SOS 02 y 03, ubicados en la vía Ipiales-Rumichaca.

5.3.2 Energía Geotérmica. Las aplicaciones de la energía geotérmica en el departamento de Nariño se inician con estudios geotérmicos en el volcán Azufral y

⁴⁷ MARTINEZ, Luis Carlos. Administrador de la Empresa Radiocom, Pasto.

con el proyecto binacional Chiles – Cerro Negro – Tufiño.

5.3.2.1 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. La ocurrencia de esas características tectónicas de convergencia podría proporcionar una significativa permeabilidad secundaria en el interior de la reserva geotérmica. Las coordenadas geográficas del volcán Azufral y su campo 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 Mallama⁴⁸. En el [Anexo 21](#) se muestra la localización geográfica del volcán Azufral.

5.3.2.1.1 Antecedentes. El Azufral ha sido objeto de estudio en cuanto a reconocimiento y caracterización de los diferentes depósitos asociados al volcán⁴⁹. De igual manera la cartografía detallada de vulcanitas ha sido definida para generar el “Mapa de amenaza volcánica del volcán Azufral”⁵⁰.

En relación con el sistema geotérmico del volcán Azufral, la OLADE⁵¹ 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.

⁴⁸ 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>>

⁴⁹ 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.

⁵⁰ 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.

⁵¹ 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.

A partir de la caracterización físico-química de las fuentes termales y fumarolas del volcán Azufral y de su distribución espacial, ALFARO⁵² 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.

5.3.2.1.2 Marco Geológico. El Azufral de Túquerres está compuesto por un volcán central con un cráter o caldera en su cima. En el interior de la caldera, hay varios depósitos piroplásticos. Corrientes piroplásticas del Azufral se extienden a varios kilómetros de distancia desde el cráter, conteniendo fragmentos angulares de andesita y piedra pomes, también como fragmentos de rocas metamórficas básicas. Esos rasgos en composición indican una actividad explosiva previa. También hay evidencia de explosiones preatomagéticas seguidas del colapso de la caldera acompañadas por extensivas alteraciones hidrotermales. Hay también amplias evidencias de significantes expulsiones horizontales desde el volcán.

Varios domos post-caldericos son encontrados dentro de la caldera los cuales están acompañados por depósitos de sulfuros y por un gran lago de agua ácida (PH = 2.2) de color verde y una elevación de 3.680 m.s.n.m.

La geología del Azufral y la geoquímica de las rocas del volcán son evidencias de una completa evolución magnética prolongada desde las andesitas a riodacitas en una estructura de caldera. Las indicaciones son que el Azufral es un volcán maduro con unas generaciones de domos de composición riodactiva. 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 hidrotérmicas⁵³.

5.3.2.1.3 Análisis. El volcán Azufral se convierte sobre todo en un objetivo ideal para llevar a cabo estudios más detallados para así poder determinar el verdadero potencial geotérmico y poder 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. Sobre todo sugiere la presencia de un activo sistema geotérmico en alguna parte dentro del Azufral.

⁵² ALFARO, C. Geoquímica del Volcán Azufral. Informe Preliminar Segunda Versión. INGEOMINAS Bogotá 24 pp. 2001.

⁵³ 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>>

Con el estudio⁵⁴ de acuerdo con la alteración hidrotermal superficial identificada y su distribución espacial, se propone un sistema geotérmico localizado hacia el sector este del volcán Azufral. Un flujo ascendente que corta la superficie hacia el noreste del cráter, en donde se registra un proceso de ebullición, evidente en por la existencia de la alteración argílica avanzada, formada por fluidos calentados por vapor (“*steam-heated*”), que se desarrollan en un ambiente superficial caracterizado por la oxidación de H₂S. El proceso identificado es coincidente con el definido a partir de la caracterización geoquímica de las fuentes termales. Las asociaciones minerales restantes relacionadas con zonas de alteración argílica, fílica y propilítica, localizadas de mayor a menor elevación, ponen en evidencia la zonación vertical característica de sistemas geotérmicos maduros desarrollados en estratovolcanes andesíticos. Esta zonación es consistente con la propuesta a partir de líticos de un depósito piroclástico (El Espino).

5.3.2.2 Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro.

5.3.2.2.1 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.

5.3.2.2.2 Traspaso a ISAGEN. El 19 de enero de 2011, se suscribió una declaración presidencial conjunta entre Ecuador y Colombia en la que se acuerda

⁵⁴ Ibid., p. 106

conferir un mandato a ISAGEN para que sea la entidad que adelante los estudios y el desarrollo del proyecto.

El 31 de enero de 2012, en Bogotá se reunieron el Ministro de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador y el Ministro de Minas y Energía de Colombia en donde acordaron finalizar anticipadamente el convenio suscrito con la SG CAN y destinar a ISAGEN como administrador del convenio específico firmado por las partes.

El 29 de febrero de 2012, se suscribió Adenda Modificatoria No. 1 al convenio específico entre ISAGEN y CELEC EP, la cual modifica el convenio para que ISAGEN asuma el rol de administrador de los aportes de las partes y lleve adelante los procesos de contratación respectivos.

El 11 de abril de 2012, se finaliza el convenio SG CAN – ISAGEN – CELEC EP y el 30 de abril de 2012 se realiza la transferencia de los recursos por parte de SG CAN a ISAGEN, por lo que ISAGEN asume el rol de administrador el 2 de mayo de 2012.

Para llevar adelante los trabajos se cuenta con un fondo común en el que participan por partes iguales Colombia y Ecuador.

En la reunión de los presidentes de Ecuador y Colombia celebrada en diciembre del año 2012, los dos países ratificaron su voluntad de continuar con el impulso de este proyecto.

5.3.2.2.3 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.

En el [Anexo 22](#) se muestra la localización geográfica del Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles - Cerro Negro.

5.3.2.2.4 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.

5.3.2.2.5 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.

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 Delgado⁵⁵.

5.3.3 Energía Eólica.

5.3.3.1 Molino de viento Cualapud. En la Tabla 46 se registran los datos del sistema eólico en la vereda Cualapud.

Tabla 46. Datos del sistema en la vereda Cualapud

Área del sistema	Eólica
Tipo de sistema	Molino de viento
Año de instalación	1980
Ubicación geográfica	Cualapud- Guachucal
Número de sistemas cerca de la zona	5
Coordenadas	

⁵⁵ VALENCIA DELGADO, Marco. Director de Planificación de la Expansión. CELEC EP, Corporación Eléctrica de Ecuador. 6 de marzo, 2013.

Latitud	N 00°55'48,981''
Longitud	W 77°43'34,733''
Altura	3.197 m.s.n.m
Temperatura ambiente	11.6 °C
Hora	2:20 p.m.
Altura de torre	12 m
Área de torre	4 m ²
Número de aspas	19
Profundidad de pozo	60 m
Tubería	2"
Capacidad del tanque	1.000 L

En el sector de Cualapud, vereda del municipio de Guachucal, las viviendas no cuentan con acueducto ni con el suministro de la red de agua potable. Para solucionar este problema, los habitantes a manera personal han incorporado en sus casas y fincas un molino de viento para extraer el agua de pozos o aljibes. En un recorrido por la zona el día 6 de febrero, se encontró implementado un molino de viento en una de las viviendas del sector. Se contactó al señor José Santos Ortega⁵⁶ habitante de la región y propietario de la vivienda, quien permitió el ingreso al lugar para poder examinar y tomar un registro fotográfico del sistema eólico implementado. El señor José Santos expresa que desde hace más de 30 años, un proveedor de origen antioqueño instaló y comercializó este sistema denominado “molino de viento”, que para su época tenía un precio aproximado de 20 salarios mínimos mensuales.

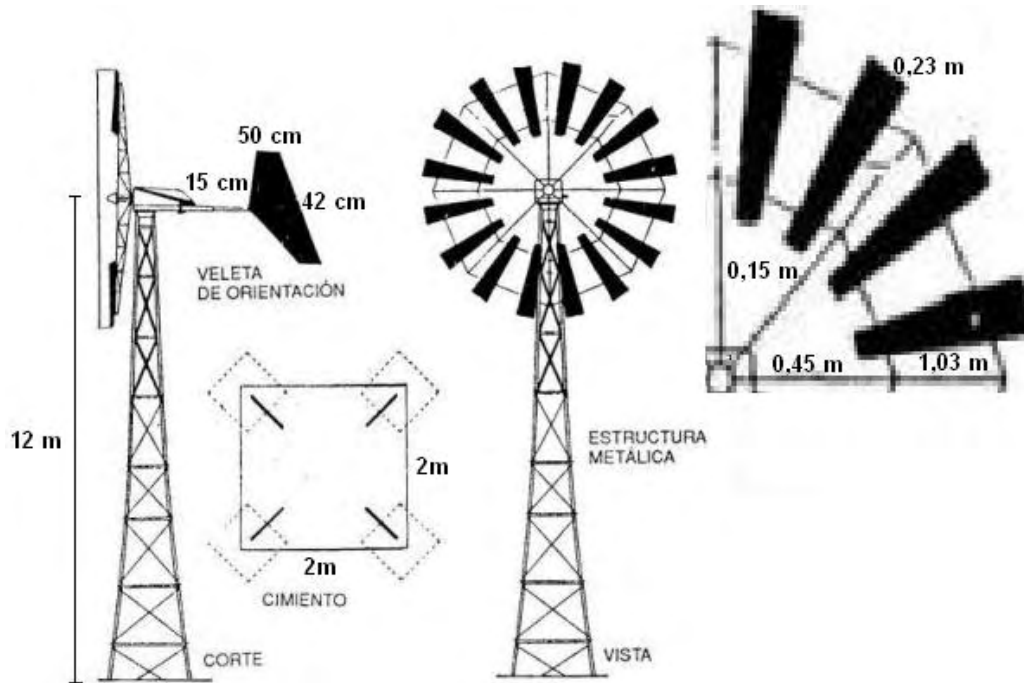
El trabajo del molino es de carácter necesario cuando se agota el suministro de agua en el tanque de 1.000 litros, ubicado en la parte superior de la vivienda. El molino tiene 19 aspas las cuales realizan un movimiento rotacional cuando la veleta de orientación pone a las aspas en dirección para aprovechar la velocidad del viento. El sistema cuenta con un freno manual, que atasca el giro de las aspas, el freno es liberado cuando se quiere extraer agua del aljibe con profundidad de 60 metros. Con la experiencia la familia determina en qué momento es viable quitar el freno, ya que si hay vientos “muy fuertes” el molino puede desengranarse y dañar su caja de piñones. Con vientos “normales” como lo expresa el dueño de la vivienda, el tanque de 1.000 litros completa su llenado en una hora, lo cual representa un trabajo óptimo.

El mantenimiento a la caja de piñones se realiza una vez al año con el cambio de aceite en su parte interna.

En la Figura 34 se indica las dimensiones del molino de viento.

⁵⁶SANTOS ORTEGA, José. Habitante de Cualapud, Guachucal.

Figura 34. Dimensiones del molino de viento en la vereda Cualpud



En el [Anexo 23](#) se encuentra el registro fotográfico del molino de viento en la vereda Cualpud.

5.3.4 Biomasa. El sistema con mayor desarrollo en el departamento de Nariño es el biodigestor que genera biogás y bioabono. En el [Anexo 24](#) se explica detalladamente el concepto, la construcción, instalación y la utilización del biodigestor.

5.3.4.1 Biodigestores en Nariño. Se realizó una visita a la Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño) sede Ipiales, en donde se solicitó información de sistemas no convencionales de generación de energía implementados en la región. El antropólogo Álvaro Bolaños López⁵⁷ suministró información acerca de biodigestores como único sistema implementado en la subregión Exprovincia de Obando. En primera instancia referenció al señor Fidel Chalparizan⁵⁸, propietario de una finca ubicada en la vereda Cuetial- sector de Llanolargo del municipio de Cumbal, la cual tiene un biodigestor que actualmente funciona de manera óptima. En segunda instancia suministra una base de datos donde se encuentra una lista de los sistemas de biodigestores que se han instalado en la subregión con la colaboración de Corponariño. En el [Anexo 25](#) se encuentra la base de datos que contiene el nombre de los usuarios y la ubicación donde se instalaron los biodigestores del proyecto: Implementación de sistemas productivos sostenibles en la Exprovincia de Obando.

⁵⁷BOLAÑOS LOPEZ, Álvaro. Antropólogo Centro Ambiental Sur, Corponariño.

⁵⁸CHALPARIZAN, Fidel. Habitante de la vereda Cuetial – Sector Llanolargo, Cumbal.

5.3.4.1.1 Biodigestor en la vereda Cuetial – sector Llanolargo. Se procedió a contactar al señor Fidel Chalparizan, quien acepta una visita para el día 6 de febrero del presente año. En esta visita el señor Fidel Chalparizan manifiesta que desde hace aproximadamente 23 años viene trabajando por la preservación de los recursos naturales, las fuentes hídricas y la vegetación, por ende ha realizado trabajos como el cultivo de plantas exóticas, mantenimiento de vegetación nativa, cría y cuidado de animales (ganado, cerdos, gallina criolla, cuyes y trucha). En el interés que manifiesta y positivas intenciones con el medio ambiente, ha solicitado asesoría a profesionales para llevar a cabo sus pretensiones, de esta manera Corponariño ha sido uno de los principales colaboradores en la realización de diferentes proyectos divididos en diferentes áreas productivas de su finca.

El biodigestor surge debido a la contaminación de los estanques de piscicultura con los residuos fecales de los animales. En el año 2005 es asesorado por Corponariño y proceden a realizar la instalación del biodigestor. En el proceso de generación de biogás seleccionó inicialmente como fuente de alimentación el estiércol de ganado, luego el de gallinas y por último el de cerdos, siendo éste el que mejor resultado presentó como fuente de generación de biogás.

Actualmente el sistema sigue siendo cargado con el estiércol de los cerdos, la carga la realiza cada vez que el biodigestor pierde presión y la llama disminuye.

El biogás es aprovechado en la cocción de alimentos para los animales. El bioabono es utilizado en los cultivos y plantaciones arrojando mejores resultados que los abonos comerciales.

En la Tabla 47 se indican los datos registrados.

Tabla 47. Datos del biodigestor en la vereda Cuetial

Área del sistema	BIOMASA
Tipo de sistema	Biodigestor
Año de instalación	2005
Ubicación geográfica	Vereda Cuetial - Cumbal
Coordenadas	
Latitud	N 00°53'09.207"
Longitud	W 77°51'08.002"
Altura	3.437,9 m.s.n.m
Temperatura ambiente	6 °C
Hora	9:43 a.m
Dimensión de las cajillas	
Largo	1m
Ancho	1 m
Profundidad	1 m
Tubo de cemento	12"
Altura del invernadero	1 m

Desnivel de la base	0,05 m
Ductos en tubería PVC	½ Pulgada
Cantidad de cerdos para fuente de alimentación	5
Dimensiones del plástico tubular	
Extensión	12 m
Diámetro	1,25 m
Capacidad volumétrica total	14 m ³
Capacidad volumétrica biogás	7 m ³
Cantidad de agua en mezcla	25 %
Tiempo de abastecimiento del biogás	4 horas continuas
Recarga del biodigestor	Cada 30 días

El registro fotográfico de la finca en la vereda Cuetial se encuentra en el [Anexo 26](#).

5.3.4.1.2 Biodigestor en la granja de Botana. El día 20 de febrero se realiza la visita a la granja Botana de la Universidad de Nariño.

El área de porcicultura de la granja Botana tiene 200 cerdos separados en secciones. En la sección de precebos y madres lactantes se debe tener en cuenta que estos animales deben estar a una temperatura adecuada a su condición, para lo cual se hace necesario la implementación de un sistema de calefacción que cumpla con éste requerimiento. La mayor parte de la calefacción se ha implementado con resistencias eléctricas y bombillos infrarrojos. Para el área de precebos se ha implementado el biodigestor que suministra biogás suficiente para tener encendidos dos quemadores las 24 horas.

El Biodigestor está ubicado a un lado de la parte externa del área porcina y a un nivel más bajo, por medio de un ducto se conectan las marraneras con la cámara de cargue, la carga se realiza cada semana por medio del ducto de conexión con el proceso de lavado del estiércol de las marraneras. Teniendo en cuenta la temperatura ambiente en la zona que varía de 11 a 13°C, fue necesario implementar un invernadero de 3m de altura, el cual proporciona entre 6 y 7°C más en su interior. Para la conservación y aumentar la temperatura, el biodigestor fue recubierto por dos capas de plástico negro.

El bioabono de la cámara de descargue es conducido a través de una tubería hacia un estanque donde termina su proceso de descomposición, que a su momento será utilizado por el área de agricultura de la granja Botana.

La información registrada del sistema se indica en la Tabla 48.

Tabla 48. Datos del Biodigestor en la Granja de Botana

Área del sistema	BIOMASA
Tipo de sistema	Biodigestor
Ubicación geográfica	Catambuco

Coordenadas	
Latitud	N 01°09'29,183''
Longitud	W 77°16'37,105''
Altura	2.813 m.s.n.m
Temperatura ambiente	11.6 °C
Hora	2:20 p.m
Dimensión de las cajillas	
Largo	1 m
Ancho	1 m
Profundidad	0,80 m
Tubo de cemento	14''
Altura del invernadero	3,00 m
Desnivel de la base	0,05 m
Ductos en tubería PVC	1 Pulgada
Cantidad de cerdos para fuente de alimentación	200
Dimensiones del plástico tubular	
Extensión	12 m
Diámetro	1,25 m
Capacidad volumétrica total	14 m ³
Capacidad volumétrica biogás	7 m ³
Cantidad de agua en mezcla	25 %
Tiempo de abastecimiento del biogás	24 horas continuas
Recarga del biodigestor	Cada 8 días

Gracias al biodigestor instalado en la granja Botana, se ha comprendido que el sistema es de gran utilidad obteniendo beneficios ecológicos, ambientales y económicos, por lo cual se implementará en la granja de un biodigestor más grande, éste podrá suministrar más biogás generando así mayores beneficios para la calefacción del área porcina (información suministrada en el sitio indica que existe un consumo de 1.650 W al mes). Actualmente se cuenta con la fosa, las cámaras de cargue y descargue y el plástico tubular de polietileno. En la Tabla 49 se indican los datos técnicos del nuevo biodigestor a instalar en la granja Botana.

Tabla 49. Datos del nuevo Biodigestor

Área del sistema	BIOMASA
Tipo de sistema	Biodigestor
Ubicación geográfica	Catambuco
Coordenadas	
Latitud	N 01°09'29,898''
Longitud	W 77°16'37,860''
Altura	2.811,8 m.s.n.m
Temperatura ambiente	11.6 °C

Hora	3:20 p.m
Dimensión de las cajillas	
Largo	1,20 m
Ancho	1,20 m
Profundidad	2 m
Tubo de cemento	14"
Desnivel de la base	0,05 m
Cantidad de cerdos para fuente de alimentación	200
Dimensiones del plástico tubular	
Extensión	15 m
Diámetro	2,25 m
Capacidad volumétrica total	60 m ³
Capacidad volumétrica biogás	30 m ³

En el [Anexo 27](#) se encuentran los registros fotográficos del biodigestor implementado y de la fosa del nuevo biodigestor a implementar en la granja Botana.

5.3.5 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH).

5.3.5.1 PCH en el Santuario de Las Lajas. En la Tabla 50 se registran los datos de la PCH ubicada en el Santuario de Las Lajas.

Tabla 50. Datos de la PCH Las Lajas

Área de sistema	PCH
Tipo de sistema	Por derivación
Año de instalación	1934
Ubicación geográfica	Ipiales – Las Lajas
Coordenadas	
Latitud	N 00°48'17.453"
Longitud	W 77°35'10,190"
Altura	2.561,9 m.s.n.m
Temperatura ambiente	10 °C
Hora	7:30 a.m.

El Santuario de Nuestra Señora de Las Lajas está situado en el cañón del río Guáitara, en el corregimiento de Las Lajas del municipio de Ipiales, a siete kilómetros de la cabecera municipal y a diez kilómetros de la frontera con el Ecuador. La edificación está compuesta por tres naves construidas sobre un puente de dos arcos que cruza sobre el río y que hace de atrio o plaza de la basílica uniéndola con el otro lado del cañón. La altura del templo desde su base hasta la torre es de 100 metros, el puente mide 50 metros de alto por 17 metros de ancho y 20 metros de largo.

Al pie del cañón, bajo el puente, está ubicada la planta eléctrica de Las Lajas, la cual tiene una pequeña central hidroeléctrica en su interior. La PCH fue instalada en el año 1934 por el Quiteño Filántropo Fernando Pérez Pallares con el propósito de brindar energía eléctrica a toda la región.

La PCH instalada es un sistema con derivación, inicia con el suministro de agua que le otorga la quebrada Amarilla del río Bobo, el agua se conduce por medio de chumbas en un trayecto de 1,5 kilómetros hasta el tanque de presión. Desde éste punto, a 150 metros de altura de la casa de máquinas, baja una tubería internamente cónica de 12” en su extremo inicial y 8” en su extremo final, la cual está conectada a una división tipo “Y” con llave de paso que suministra el potencial del agua a la turbina hidráulica con una tubería de reducción a 2”. Cada turbina está conectada a un generador por medio de un servomecanismo.

5.3.5.1.1 Elementos de la PCH Las Lajas. El sistema de la PCH cuenta con dos sistemas de generación de energía eléctrica independientes alimentados por la tubería de presión, cada sistema tiene una llave de paso, una turbina hidráulica, un medidor de presión, un medidor de revoluciones, un sistema mecánico de conexión, un excitador y un generador eléctrico. Estos dos sistemas tienen una conexión eléctrica en paralelo y se sincronizan en el tablero eléctrico para pasar al transformador y ser distribuida en la red eléctrica. Los elementos del sistema se describen a continuación:

- **Tanque de presión:** Encargado de almacenar el agua proveniente de la quebrada amarilla. Fundido en concreto, de dimensiones: 2 metros de profundidad, 4 metros de largo, 5 metros de ancho.
- **Tubería de presión:** Diseñada para tener una gran resistencia a la fuerza del caudal y presión que se genera con la altura y con la reducción cónica interna. El material de la tubería es de hierro y tiene una apariencia exterior de 12” de diámetro en toda su extensión.
- **Llaves de paso:** Son de tipo volante, su material es de hierro.
- **Turbina hidráulica:** Turbina ESCHER WYSS, hecha en Zúrich, compuesta por 36 aspas de un material resistente a la fuerte presión del golpe del agua. En la Tabla 51 están sus características de movimiento.

Tabla 51. Especificaciones Turbina Hidráulica

Número	8794
Desplazamiento	132 m
Caudal	110 L/s
Potencia	160 HP
Velocidad	900 RPM

- **Conexión Mecánica:** Consta de cuatro chumaceras, eje de rotación, banda de rotación, acople de rotación y reductor de velocidad.

- **Medidores:** El sistema cuenta con dos medidores análogos de presión y de revoluciones.
- **Generador:** Generador S.A BROWN, BOVERI & CIA hecho en BADEN-ZUISA. Sus especificaciones eléctricas están en la Tabla 52.

Tabla 52. Especificaciones Generador Eléctrico

Tipo	W _r 38b
No.	B 41299
Fases	3
Potencia	144 KVA
RPM	900/1.620
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	500 V
Corriente	166 A
Factor de potencia	0.75
Excitación	
Voltaje	55 V
Corriente	34 A

- **Excitador:** Excitador S.A BROWN, BOVERI & CIA hecho en BADEN-ZUISA. Sus especificaciones eléctricas se encuentran en la Tabla 53.

Tabla 53. Especificaciones del excitador

Tipo	GF114
No.	A 319835
Sentido del rotor	Antihorario
Potencia	2,65 kW
RPM	900/1.620
Voltaje	60 V
Corriente	44 A
Frecuencia	60 Hz

- **Tablero Eléctrico:** Tiene los medidores análogos de voltaje, corriente, frecuencia y potencia, también los comandos de control, indicadores lumínicos y los sistemas de protección.
- **Transformador:** Dispositivo electromagnético que aumenta el voltaje y la intensidad de la corriente alterna de tal forma que la potencia permanezca constante. Es trifásico, recibe una tensión de 500 voltios de los dos generadores y suministra a la red 6.500 voltios.

5.3.5.1.2 Consumo eléctrico en la red de la PCH. Cuando se implementó el sistema en el corregimiento de Las Lajas, se instaló una red eléctrica amplia donde suministraba energía a todo el corregimiento, algunos lugares de la ciudad

de Ipiales y otros del municipio de Potosí. Con la creciente adquisición de cargas eléctricas, la red de la PCH se redujo a sólo abastecer al corregimiento de las Lajas.

La visita se realizó el día domingo 17 de marzo de 2013 en horas de la mañana ya que es el momento donde más consumo eléctrico se presenta. El medidor análogo de potencia del tablero eléctrico indica que este sistema está diseñado para ofrecer una potencia máxima de 150 kW a la red eléctrica. En la visita a las 8:20 a.m., se observa en el medidor de potencia que el consumo de las cargas conectadas en ese momento es de 15 kW.

Los lugares que actualmente tienen conexión al sistema son: Restaurante Las Lajas, baños públicos del Santuario, escuela Hermanos Franciscanos, Casa Cural (edificación antigua y nueva), casa Pastoral, polideportivo El Socorro y el transmisor de amplitud modulada de la emisora de la diócesis (en el momento de la visita el transmisor está conectado a la red eléctrica de CEDENAR ya que el transformador para el transmisor de la red de la PCH está averiado).

5.3.5.1.3 Sucesos en la PCH Las Lajas. Antes de 1992 las exigencias de las cargas eléctricas conectadas a la PCH eran muy altas, por eso fue necesario contar con tres operarios con el fin de tener disponibilidad inmediata a cualquier hora del día y realizar un manejo adecuado al sistema. El señor Menandro Figueroa Castillo⁵⁹, encargado de la PCH desde 1992 (quien suministró información de la PCH Las Lajas), realiza cuatro visitas diarias a la casa de máquinas para revisión y control del funcionamiento. Él identifica sucesos importantes ocurridos a través de su historia laboral: en 1995 se presenta una creciente del río Guáitara produciendo la inundación de la casa de máquinas, para lo cual se apagó la planta eléctrica para evitar daños irreversibles en la PCH, a pesar de la prevención que se tuvo, el agua causó daños en las bobinas de los generadores, siendo necesario hacer un nuevo embobinado (alambre de cobre esmaltado calibre 8). En el año 2002 y 2009 también hubieron inundaciones por la creciente del río Guáitara, pero no causaron daños a las maquinas.

El mantenimiento que realiza el operario se registra en la Tabla 54.

Tabla 54. Mantenimiento PCH

Elemento	Mantenimiento	Detalle	T = 1/mes
Tanque de presión	Desarenamiento	Limpieza	1/1
Chumacera	Cambio de aceite	1/8 No.40	1/6
Reducto de velocidad	Cambio de aceite	3 galones No. 40	1/24
Generador	General	-	Ocasional

El registro fotográfico de la PCH Las Lajas se encuentra en el [Anexo 28](#).

⁵⁹ FIGUEROA CASTILLO, Menandro. Encargado de la PCH Las Lajas.

6 RESULTADOS

En esta sección se exponen los resultados de la investigación exploratoria que serán de utilidad para futuros proyectos energéticos como el PERS⁶⁰, que actualmente está siendo ejecutado por la Universidad de Nariño.

6.1 AVANCES TECNOLÓGICOS

Un aporte de la investigación exploratoria es la recopilación de los avances tecnológicos más importantes de los 4 sistemas renovables no convencionales de energía (Solar, Eólica, Geotermia y Biomasa). En la Tabla 55 se indican los avances más importantes y la descripción de cada uno de ellos se encuentra en el [Anexo 9](#).

Tabla 55. Avances tecnológicos más importantes

Energía	Avances Tecnológicos
Solar	Nanotubos de carbono, células fotovoltaicas sobre papel, telas y plástico, captador de calor, ventana solar transparente de vidrio, virus M13, generador piezoeléctrico.
Geotérmica	Tecnología de sistemas geotérmicos estimulados.
Eólica	Turbinas flotantes, tecnología de almacenamiento con hidrogeno, Windbelt.
Biomasa	Maquina recogedora, trituradora e impulsadora de biomasa, pellets y briquetas.

El Windbelt es un avance tecnológico innovador y debe estudiarse con detenimiento debido que este sistema utiliza las bajas velocidades de la fuente eólica. De esta manera se convierte en un sistema viable para cualquier zona con cargas de bajo consumo.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ZONIFICACIÓN

Un aporte importante y que se destaca como resultado de la investigación es la metodología con la que se ejecutó la zonificación para dar pie a la identificación del potencial energético en el departamento de Nariño. Deja unas pautas que son

⁶⁰ PERS, Proyecto de Energización Rural Sostenible. Convenio UPME, IPSE, UDENAR y TETRA TECH. 2013.

iniciativas a la hora de emprender una exploración de este tipo ya sea para una región de menor extensión o para el análisis de los datos que se consigan en el proceso de investigación. Entre lo más destacable se encuentra la clasificación y orden de los datos que se obtienen en la exploración bibliográfica de estudios relacionados, esto genera una visión amplia de la información que soportará los objetivos que se plantean en un principio y que permite hacer un acercamiento en cada clasificación para su respectivo análisis. Las tablas con indicadores, los mapas solar, eólico, geotérmico y biomasa son una herramienta guía para establecer los potenciales en una zona. El definir un umbral es primordial para la identificación de potenciales, para ello se pueden aplicar conceptos estadísticos para resolver cuales son los datos que indican un potencial. Examinar de manera directa las aplicaciones exitosas en una zona, también se considera un indicador, que experimentalmente demuestra la existencia de la fuente estudiada. Se puede evaluar un sistema instalado en condiciones menos favorables que las recomendadas, para definir de manera práctica la viabilidad de la aplicación. El obtener datos de una aplicación y que esté soportada por una entidad brindará confiabilidad a la hora de examinar dichos datos. Al compilar la información teórica y la experimental se emite un concepto de potencialidad en zona, el cual se localiza en un mapa para tener una mejor visibilidad del resultado. A continuación se describen los pasos más importantes para la zonificación de cada sistema de energía renovable.

- **Energía solar**

- 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 (para éste estudio se tomaron los datos del proyecto “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”⁶¹).
- 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 morado de 2 a 3 horas).
- Obtener el promedio diario de horas de brillo solar para cada estación meteorológica del departamento.

⁶¹ 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>>

- Clasificar y analizar los niveles (para la evaluación del potencial solar en Nariño, se descarta el nivel morado, debido a que de 2 a 3 horas de brillo solar diario no representan un potencial favorable, aunque los sistemas fotovoltaicos funcionen en esas zonas debido a la radiación solar en el departamento que es de 4,5 KWh/m²/día, dato tomado del Atlas de Radiación Solar de Colombia).
- 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).
- Establecer el potencial solar en el departamento (en este estudio se indica el potencial mediante el mapa de la Figura 35).

• **Energía Geotérmica**

- 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, Azufra, 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 (en este estudio se indica el potencial mediante el mapa de la Figura 36).

- **Energía Eólica**

- 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 (para éste estudio se tomaron los datos del “Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño”⁶²).
- 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 22, 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).
- Recolección de datos de campo visitando lugares que contengan aplicaciones implementadas con funcionamiento exitoso. Los datos a registrar son: Ubicación geográfica, elementos que conforman el sistema eólico, dimensiones y características del mismo.
- Se hace una relación de los lugares visitados con el promedio anual de velocidad del viento de la estación meteorológica más cercana, para establecer el promedio anual de velocidad del viento con el que funcionan las aplicaciones. Cuando el lugar de la implementación y la estación más cercana no tienen correspondencia en el nivel, se toma como valor referencia el del nivel donde está ubicada la aplicación (en éste estudio se realizó la salida de campo al municipio de Guachucal, pero no se encontró una estación meteorológica cercana y que se encuentre en el mismo nivel. Por lo cual, el valor referencia se lo toma del mapa del promedio multianual de velocidad media del viento en superficie que es de 1,5 - 2 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 de la fuente eólica.
- Establecer el potencial eólico en el departamento (en este estudio se indica el potencial mediante el mapa de la Figura 37).

⁶² Universidad de Nariño y Corponariño. Proyecto: Estado del arte de la información biofísica y socioeconómica de los páramos de Nariño. Tomo II.

- **Biomasa**

- 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 - 2015⁶³).
- 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.
- Realizar la búsqueda en campo mediante la visita a las aplicaciones exitosas.
- Establecer el potencial de biomasa en el departamento (en este estudio se indica el potencial mediante los mapas de las Figuras 38, 39 y 40).

6.3 RESUMEN DE LAS APLICACIONES EXITOSAS

En la Tabla 56 se presenta un aporte que resume las experiencias exitosas de las pocas aplicaciones de sistemas renovables no convencionales desarrolladas en el departamento de Nariño. 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. También, que el biodigestor es un sistema aplicable en diferentes zonas, que aun siendo la temperatura un factor determinante en el proceso de generación de biogás, es controlable lo cual significa que el sistema es viable y de gran beneficio energético. En cuanto al molino de viento, es un atractivo para estudiar el potencial real de la velocidad del viento, teniendo en cuenta que para los aerogeneradores no solo es necesario “buenos vientos” sino que sean constantes. 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.

⁶³ GOBERNACIÓN DE NARIÑO. Plan de desarrollo departamental “Nariño mejor” 2012 – 2015. San Juan de Pasto. 30 de abril, 2012.

Tabla 56. Resumen de las experiencias exitosas en generación de energía en el departamento de Nariño

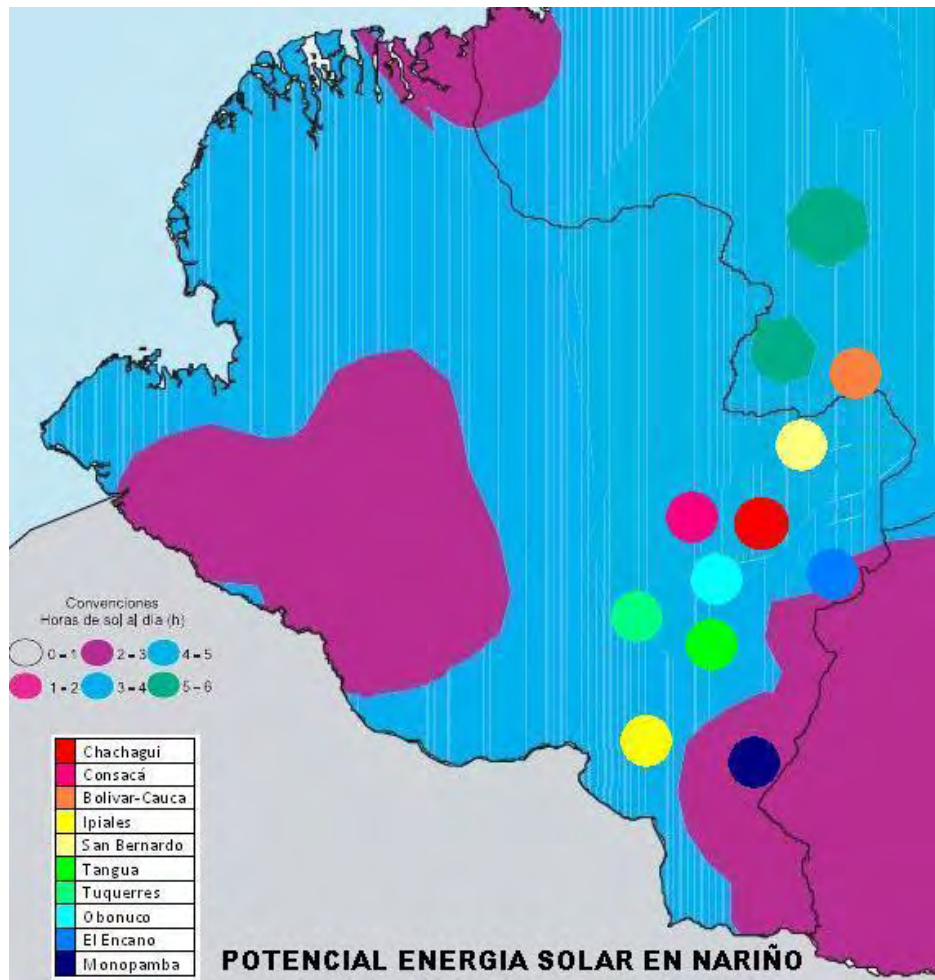
Tipo de energía	Sistema	Localización	Ubicación geográfica	Potencia producida	Uso de la fuente
Solar	Fotovoltaico aislado	Contadero	N 00°54,614' W 77°32,919'	150 W	Iluminación Led, televisor Led 32", radio, cargador de celular.
Solar	Fotovoltaico aislado	Ipiales	N 00°50'05,334" W 77°38'14,681"	269 W	Iluminación 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.
Hidroeléctrica	Pequeña Central Hidroeléctrica	Las Lajas	N 00°48'17.453" W 77°35'10,190"	150 KW	Suministro eléctrico sectorial.

6.4 MAPAS DE POTENCIALES DE ENERGIAS RENOVABLES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

Como resultado de la Investigación exploratoria se obtiene para el departamento de Nariño los mapas que indican el potencial de la energía Solar, Eólica, Geotérmica y Biomasa. El potencial se establece mediante una escala de colores, el color rojo indica el mayor potencial y el color azul oscuro el menor. Además, se enuncian las ideas generadas con el análisis del potencial para cada energía.

- **Energía Solar**

Figura 35. Mapa del Potencial de energía solar en el departamento de Nariño



- Implementar sistemas fotovoltaicos a gran escala en el municipio de Chachagüí y sectores aledaños, para aprovechar el alto potencial solar que posee. Este municipio presenta un promedio diario de brillo solar de 5,48 horas.

- Instalar sistemas fotovoltaicos aislados para iluminación y/o bajas cargas de consumo en la subregión Occidente, Río Mayo, Centro, Exprovincia de Obando y Sabana, excepto en El Encano (2,48 horas), Obonuco (3,15 horas) y Monopamba (1,96 horas) por su bajo brillo solar.

- **Energía Geotérmica**

Figura 36. Mapa del Potencial de energía geotérmica en el departamento de Nariño

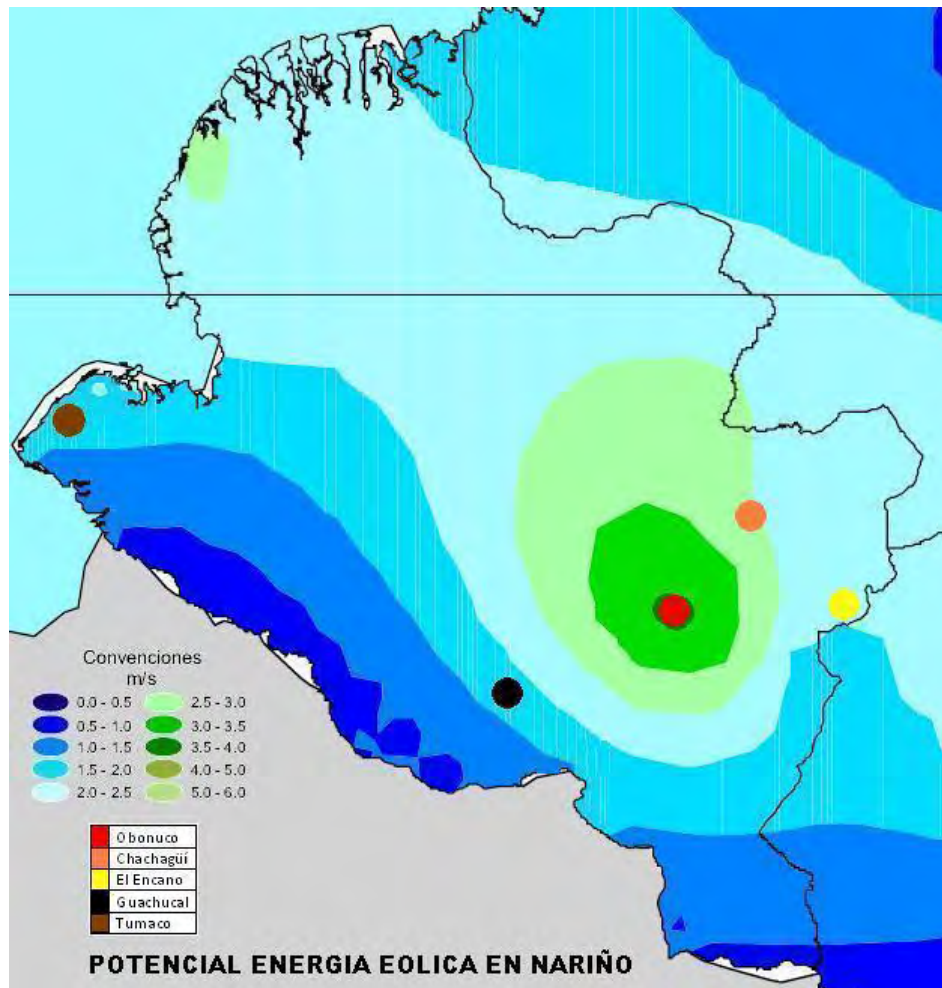


- Iniciar un proyecto Geotérmico en el volcán Azufral a partir de la etapa de prefactibilidad con el fin de aprovechar el potencial geotérmico que este presenta. El volcanismo de gran evolución, las fuentes termales superficiales y los fragmentos rocosos hidrotermalizados de tipo vulcano – sedimentario son un indicador de existencia de un reservorio geotérmico de alta temperatura en volcán Azufral.

- Llevar un registro continuo de los avances que presenta el proyecto Geotérmico Binacional Tufiño – Chiles – Cerro Negro, debido a que actualmente se encuentra en ejecución y es un avance importante para el sector energético del departamento de Nariño. Además, para llevar y reconocer el proceso de transferencia de tecnología en la región.

- **Energía Eólica**

Figura 37. Mapa del Potencial de energía eólica en el departamento de Nariño



- Adelantar un estudio que identifique el tipo de aerogenerador necesario para dar aprovechamiento óptimo del potencial eólico presente en la región de Obonuco, donde el promedio anual de velocidad del viento es de 3,54 m/s, dato importante para poder determinar la capacidad de generación de energía eléctrica en este lugar.

- Estudiar el modelo de los molinos de viento instalados en el municipio de Guachucal que determine la viabilidad de este modelo en la generación de energía eléctrica a pequeña escala usando técnicas de control de velocidad.
- Estudiar los parámetros físicos importantes (velocidad, dirección del viento y densidad del aire) en la generación de energía eléctrica a través de energía eólica que presentan los altiplanos y los cortes de cuchilla nariñenses, con el fin de conocer si estas regiones son aptas para la generación de energía a través de aerogeneradores.
- Estudiar el comportamiento del viento anual en San Andrés de Tumaco ya que se obtuvieron solamente dos datos importantes de velocidad del viento en esta región (velocidades de hasta 6,12 m/s en el mes de enero y de 4,11 m/s en el mes de junio), pero la información para determinar el potencial es escasa porque para esto deben conocerse datos anuales.

- **Biomasa**

Figura 38. Mapa del Potencial de biomasa agrícola en el departamento de Nariño

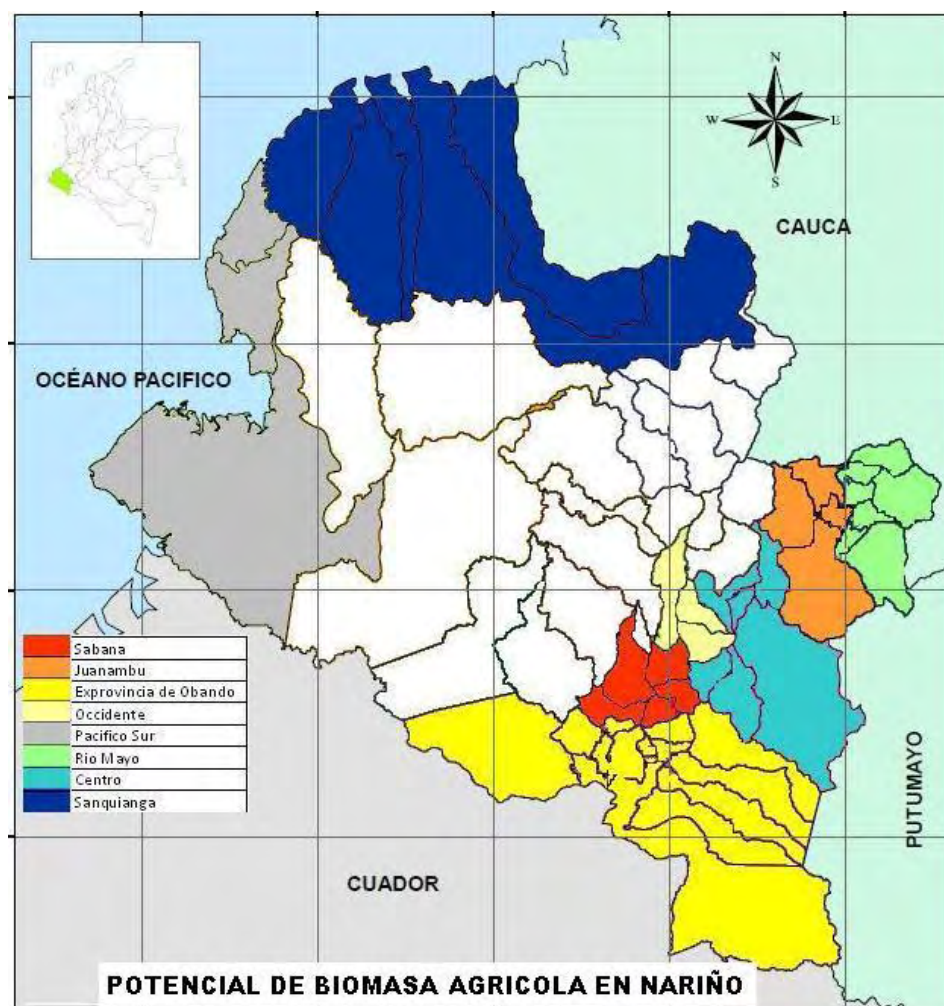


Figura 39. Mapa del Potencial de biomasa pecuaria en el departamento de Nariño



Figura 40. Mapa del Potencial de RSU en el departamento de Nariño



- Analizar el comportamiento del biodigestor en la generación de biogás y así obtener datos de las características más relevantes que influyen en la calidad de la composición química del biogás, por lo observado en la vereda Cuetial donde se encuentra un biodigestor funcionando a 3.400 m.s.n.m.
- Realizar estudios técnicos en la generación de energía eléctrica a través de biodigestores, en procedimientos para la obtención de pellets y briquetas, y en la producción de biocombustibles.
- Aplicar las técnicas de transformación de la biomasa en la subregión de occidente en la industria panelera, más específicamente en los trapiches donde se muele la caña de azúcar y se obtiene el residuo (bagazo).

7 CONCLUSIONES

El departamento de Nariño por estar situado cerca de la línea ecuatorial recibe una apreciable radiación solar y aunque esté ubicado en la región de los andes y su clima sea cambiante, la radiación solar media es de 4,5 KWh/m²/día lo cual es suficiente para instalar sistemas fotovoltaicos.

En los altiplanos del departamento de Nariño se evidencian fuertes vientos, los cuales son aprovechados por los habitantes para la extracción de agua de pozos subterráneos. En cambio podrían ser utilizados en la generación de energía eléctrica para ubicaciones como Obonuco donde se cuenta con velocidades entre 3 y 4,6 m/s en el año, y en Tumaco donde las mediciones muestran velocidades de hasta 6,12 m/s en el mes de enero y de 4,11 en el mes de junio.

Para las Zonas No Interconectadas es viable aplicar un sistema de biodigestores ya que éstas zonas posee gran variedad de fuente biomasa, por ejemplo: La subregión Pacifico Sur, donde se encuentran zonas que no están conectadas al sistema interconectado nacional, pero que cuentan con un indicador de 29.613,7 Tn/año de RSU, situando a Pacifico Sur como un potencial en biomasa de RSU.

En la pequeña central hidroeléctrica Las Lajas no se aprovecha todo el potencial de energía eléctrica que ésta genera ya que el consumo eléctrico es del 10% de la generación máxima, notándose que se puede obtener un buen provecho de la fuente hídrica que posee el departamento de Nariño.

Un proyecto regional debe estar atado a una buena capacitación de la zona proyectada. Esta debe realizarse haciendo previamente un estudio en el sector sociocultural para así poder adaptar a la región los nuevos sistemas de generación de energía eléctrica no convencional, por lo observado con los 141 biodigestores instalados y solo el 10% de ellos que están operando.

En la subregión Centro, en Obonuco y zonas cercanas se puede implementar un sistema eólico debido a que la velocidad del viento promedio anual es considerable (3,5 m/s), mientras que en la subregión Exprovincia de Obando se podría implementar sistemas a menor escala o sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos ya que se evidencia un promedio de brillo solar de 4,16 horas al día. Así mismo en la subregión Centro, principalmente en el municipio de Chachagüí donde se presenta un promedio diario de brillo solar de 5,48 horas y velocidad del

viento de 2,5 m/s, de igual manera en la subregión Occidente, donde se puede estimar un promedio diario de brillo solar de 4,81 horas.

En la subregión Sabana se observa un enorme potencial Geotérmico por la localización del volcán Azufral, el cual tiene estudios que indican su gran potencialidad pero aún no se ha aplicado una etapa de prefactibilidad que suministre datos claros con el fin de encaminar un proyecto geotérmico para la generación de energía eléctrica o térmica.

En la costa pacífica (Pacífico Sur, Telembí, Sanquianga) por la abundancia de biomasa vegetal y animal se pueden desarrollar varias opciones como pellets, briquetas (aserrín), biodigestores, biocombustibles, y por su localización geográfica se puede aprovechar la fuente eólica y solar.

8 RECOMENDACIONES

Para obtener un mejor aprovechamiento de los paneles solares se debe implementar un seguidor solar, el cual le dará el ángulo de exposición al sol durante el ciclo solar del día.

Realizar una implementación de radiómetros en distintos lugares del departamento de Nariño, para así poder identificar el verdadero potencial de aprovechamiento de la energía solar y ampliar las aplicaciones como: alumbrado público, iluminación inteligente de edificios, calefacción de agua y horno solar.

Implementar anemómetros en los altiplanos y en las montañas corte de cuchilla del departamento de Nariño, con el fin de identificar el potencial eólico que posee la región y que sirvan como datos base para el inicio de implementaciones eólicas para la generación de energía eléctrica.

No solo es necesario aportar en la generación de energía eléctrica, sino también en el apropiado consumo de la misma. Para ello se debe concientizar a las comunidades en temas semejantes, como también adelantar estudios en gestión energética para contribuir en el desarrollo de energización departamental.

Estudiar detalladamente la producción de biogás obtenido por la materia fecal de los cerdos, ya que ésta es la fuente de alimentación más utilizada en los biodigestores de la región, y así poder determinar más claramente los tipos de motores de combustión interna utilizables para la generación de energía eléctrica renovable no convencional.

Realizar estudios detallados en el ámbito de la utilización de biomasa ya que el departamento de Nariño cuenta con un alto potencial agropecuario, arrojando residuos agrícolas y de animales. También cuenta con la posibilidad de establecer variedad de cultivos energéticos propios para cada subregión.

Las empresas que ofrecen el servicio de energía deben buscar la gestión integral de energía en el uso así como en la generación de energía eléctrica para cubrir la demanda local y mantener una reserva ante las contingencias, encontrando en las FNCE una gran oportunidad.

La gran producción de agua en los andes nariñenses y las diferencias de altura potencializan la implementación de PCHs, donde se debería estudiar el relieve, el abastecimiento de la fuente hídrica y los tipos de sistemas hidroeléctricos para generación de energía eléctrica clasificados según su potencia en micro central, mini central y pequeña central.

La metodología de zonificación establecida y desarrollado en esta investigación exploratoria se puede utilizar en estudios posteriores de zonificación a otras regiones.

BIBLIOGRAFIA

ADIE, Asociación Danesa de la Industria Eólica. Disponible en: <www.windpower.org>

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>

BERNARDELLI, Federico, COVIELLO, Manlio, DE NIGRIS, Mchele. Redes Inteligentes de Energía (Smart Grids) en América Latina y el Caribe: Viabilidad y Desafíos. Asistente de Investigación de la unidad de recursos Naturales y Energía de CEPAL, Jefe de la Unidad de Recursos Naturales y Energía de CEPAL, Consultor de CEPAL. Santiago de Chile, 12 de Octubre, 2010. Disponible en: <<http://www.eclac.org>>

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.

BONILLA HERNANDEZ, Sergio. Construcción de edificios energéticamente eficientes. Trabajo comunal universitario. Universidad de Costa Rica. Ciclo I - 2009. Disponible en: <<http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/edificio-energeticamente-eficiente/Manual-Edificios-Energeticamente-Eficientes.pdf>>

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 Oceanograficas e Hidrograficas del Pacifico. Boletín meteomarinero mensual del Pacifico Colombiano. Enero, 2012. Disponible en: http://www.cccp.org.co/phocadownload/Boletines/Enero/BoletinMeteomarineroMensualEnero_2012.pdf <

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

CECU, Confederación de Consumidores y Usuarios. Disponible en: <http://www.cecucolombiana.org>

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas. Redes inteligentes de energía (Smart Grids) en América Latina y el Caribe: Viabilidad y Desafíos. 12 - 13 de Octubre, 2010. Disponible en: http://www.eclac.org/drni/noticias/noticias/8/41128/RedesInteligentesLA_Esp.pdf

CIRCULAR DE Juan Guillermo Londoño, Subdirector de Economía y Negocios. Publicación de: Portafolio.co. 11 de abril, 2009. Disponible en: <http://www.portafolio.co/archivo/documento/CMS-4959097>

CIRCULAR DE Secretaria de Prensa. Gobierno autorizó importación de 100 vehículos eléctricos, con cero arancel. Presidencia de la República, Colombia. 18 de febrero, 2009. Disponible en: <http://web.presidencia.gov.co/sp/2009/febrero/18/06182009.html> <

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): Volumen 1 – Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Bogotá, D.C., 30 de Diciembre, 2010. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.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): Volumen 2 – Diagnostico de las FNCE en Colombia. Bogotá, D.C., 30 de Diciembre, 2010. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_2_Diagnostico_FNCE.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): Volumen 3 – Elementos de política, riesgos ante el cambio climático, complementariedad entre las FNCE y el SIN, y costos indicativos de las FNCE. Bogotá, D.C., 30 de Diciembre, 2010. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_3_Tecnologia_Costos_FNCE.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): Informe avance 1. Bogotá, D.C., 6 de Septiembre, 2010. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Sigic/Informes/Informe_Avance_01.pdf>

CHAVES ACOSTA, Lised Katherine, CHAVES ROSERO, Camilo José, VILLOTA REVELO, Jonathan. Generación Distribuida y Redes Inteligentes “Administración y Control efectivo de la red eléctrica mediante Smart Grid, beneficios sociales y económicos en la Ciudad de Pasto”, San Juan de Pasto, Colombia, 2011. Trabajo de Grado, Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Electrónica. Disponible en la base de datos en línea de la Biblioteca de la Universidad de Nariño:<<http://biblioteca.udenar.edu.co>>

DR. RODRIGUEZ, Humberto, DR. HURRY, Suresh. Universidad Nacional, United Nations Development Program (UNDP, New York). Manual de entrenamiento en sistemas fotovoltaicos para la electrificación rural. Anexo 2, sección A 2.3: medición de la radiación y brillo solar. Disponible en: <http://www.corpoema.com/CDenergia/FV_Anexo2.PDF>

EERE, Energy Efficiency & Renewable Energy. Artículo disponible en: <<http://www.eere.energy.gov>>

Energía Solar España. Los últimos 5 avances más importantes del Massachusetts Institute of Technology en energía solar. 28 de Septiembre, 2011. Disponible en: <<http://www.energiasolaresp.com/2011/09/los-ultimos-5-avances-mas-importantes.html>>

ERENOVABLE. Energía Renovable: Los 10 avances más importantes del 2010. 29, Diciembre, 2010. Disponible en: <<http://erenovable.com/energia-renovable-los-10-avances-mas-importantes-de-2010>>

GEA, Geothermal Energy Association. Geothermal Industry Ends 2012 on a High Note: Technological Advancements. Washington, D.C., December 18, 2012. Disponible en: <<http://www.geothermal-energy.org/pressReleases/2012YearEndRelease.aspx>>

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. Volumen I: Radiación sobre superficies horizontales. Bogotá, D.C., Abril, 1992. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.corpoema.com/CDenergia/H_Cap0_Prefacio.PDF>

GONZALEZ, Fabio, RODRIGUEZ, Humberto. Manual de Radiación Solar en Colombia. Volumen II: Radiación solar sobre superficies inclinadas. Bogotá, D.C., Febrero, 1994. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.corpoema.com/CDenergia/I_Cap0_Prefacio.PDF>

GONZÁLEZ MILLA, Guillermo, PEREZ REBOLLEDO, Hugo, ACOLTZI ACOLTZI, Higinio. Tendencia tecnológica: Avances tecnológicos en edificios de energía cero. Boletín IIE, Instituto de Investigaciones Eléctricas. Octubre, Diciembre, 2011. Disponible en: <<http://www.iie.org.mx/boletin042011/tenden.pdf>>

HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, José Emmanuel. Principales aplicaciones de la energía solar. Santiago de Querétaro, 14, Septiembre, 2010. Universidad tecnológica de Querétaro. Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/38005537/Energia-Solar-Fotovoltaica>>

HULSHORST, Walter. Manual práctico de evaluación de una instalación de energía fotovoltaica a pequeña escala: Manual práctico. 23 de Septiembre, 2011. Disponible en: <http://grupos.emagister.com/documento/manual_practico_de_evaluacion_de_una_instalacion_de_energia_fotovoltaica_a_pequena_escala/30499-903240>

HURTADO LIÉVANO, Jorge Mauricio, MORA NAVARRO, Diego Camilo. Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos, Bogotá D.C., Colombia, 2004. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Civil. Disponible en: <<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis15.pdf>>

ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Comunicado de prensa: Nueva norma colombiana para la Gestión de la Energía. Bogotá, D.C., Enero 19, 2012. Icontec Internacional. Disponible en: <http://www.icontec.org/bancomedios/comunicados/ene_19_2012.pdf>

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales, UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. Atlas de Radiación Solar de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ministerio de Minas y Energía. Colombia, Bogotá, D.C., 2005. Disponible en: <<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/019649.htm>>
IGME, Instituto Geológico y Minero de España. Roca caliente seca y Sistemas geotérmicos estimulados. Disponible en: <<http://www.igme.es/internet/Geotermia/yacimientos-rocalienteseca.htm>>

IGS, Ingeosolar. Ahorro Energético. Disponible en: <http://www.ingeosolar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=60>

INVERSOLAR S.A.. Luminarias Solares Autónomas: Iluminación de áreas públicas sin necesidad de red eléctrica. México Disponible en: <http://www.inversolarsolutions.com/uploads/9/8/9/7/9897423/_promo_alumbrado_publico_solar.pdf>

IPSE, Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. II Encuentro técnico del observatorio de energías renovables para América Latina y el Caribe. Ministerio de Minas y Energía. Marzo, 2011. Disponible en: <http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/presentation_jairo_benavides_3.PDF>

ISAGEN S.A E.S.P., Generación y Comercialización de Energía. Fuentes no convencionales de generación de electricidad, 2005.

LEVITAN, Dave. Floating Wind Turbines Could Expand Offshore Possibilities. IEEE SPECTRUM BETA. 30 Jun 2010. Disponible en: <http://beta.spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/wind/floating-wind-turbines-could-expand-offshore-possibilities?utm_source=internaltoggle&utm_medium=widget&utm_campaign=fromlegacy>

LONDOÑO, Juan Guillermo. Presidente de la Compañía Colombiana de Inversiones S.A (Colinversiones) desde el 2006. Lideró operaciones como la negociación de Procter and Gamble e Inextra, Éxito y Cadenalco, y una operación que para él fue “espectacular”: la valoración y negociación de Coltabaco con Philip Morris International. Es miembro de las Juntas Directivas de Colombiana Kimberly – Colpapel S.A., Papeles del Cauca S.A., Urbanizadora Santafé de Bogotá S.A. – Urbansa S.A., AutoFrancia Ltda. eInterautos Ltda.

MINAMBIENTE, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia, 20 años siguiendo la agenda 21. República de Colombia, Bogotá D.C., 2012.

Disponible en:
<www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosInstitucional/rio_20/040512_balance_agenda_21.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

MINMINAS, Ministerio de minas y energía, SENA, Servicio Nacional de Aprendizaje. Aplicación de la Norma ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía. Ciclo Videoconferencias. Bogotá, D.C., 30 de Septiembre, 2011. Disponible en:
<<http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Grupo%20de%20Participacion%20Ciudadana/AplicacionDeLaNormalSO50001.pdf>>

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

NACIONES UNIDAS, Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, 1998. Disponible en:
<<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>>

OBTEN, Observatorio tecnológico de la energía. Mapa Tecnológico: Calor y Frio Renovables. Área Tecnológica: Biomasa y Residuos. España, 26 de Enero, 2012. Disponible en:
<http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Biomasa_11012012_global_v2_09570f12.pdf>

OBTEN, Observatorio tecnológico de la energía. Mapa Tecnológico: Calor y Frio Renovables. Área Tecnológica: Geotermia. España, 1 de Febrero, 2012. Disponible en:
<http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Geotermia_30012012_global_196afed7.pdf>

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.

PIACENTE, Pablo Javier. Tendencias de la Ingeniería: Nuevas turbinas flotantes incrementan la energía eólica offshore. En: Revista electrónica de ciencia, tecnología, sociedad y cultura. 7 de Julio, 2010. Disponible en:

<http://www.tendencias21.net/Nuevas-turbinas-flotantes-incrementan-la-energia-eolica-offshore_a4646.html>

PRIAS CAICEDO, Omar Fredy. Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE). Informe final: Plan de Acción Indicativo 2010-2015. Unidad de Planeación Minero Energética. Bogotá D.C., 19 de Abril, 2010. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/ENERGIA/URE/Informe_Final_Consultoria_Plan_de_accion_Proure.pdf>

RAQUEL, Clemente Alfonso. Diseño de una cubierta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica e integrada en un edificio industrial: Memoria técnica. España, abril, 2006. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería de la construcción. Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/2925>>

REE, Red Eléctrica de España. Las redes eléctricas inteligentes: Seguridad, estabilidad y sostenibilidad del sistema. 7 de Noviembre, 2011. Disponible en: <<http://www.elnuevolunes.es/historico/2011/1432/presentaciones%20red%20electronica%202011/Alberto%20Carbajo.pdf>>

REICHEL, Roland. Why Solar Powered Mobility? Chairman of Bundesverband Solarmobil e.V. (German Solar Car Federation). Disponible en: <<http://www.solarmobil.net/download/pp015lang.pdf>>

REVE. Gamesa eólica presenta en EWEA sus nuevos aerogeneradores 2,5 MW y 5,5 MW. En: Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. 4 de Febrero, 2013. Disponible en: <<http://www.evwind.com/2013/02/04/gamesa-eolica-presente-en-eweasus-nuevos-aerogeneradores-25-mw-y-55-mw/>>

ROSSI, Sebastián, Últimos avances en energía solar. 6 de Mayo, 2011. Disponible en: <<http://www.ojocientifico.com/2011/05/06/ultimos-avances-en-energia-solar>>

SANCHEZ ZAPATA, Rocío, FRANCO CARDONA, Carlos Jaime. Impacto en la demanda de energía eléctrica en Colombia debido a la penetración de vehículos híbridos - eléctricos y eléctricos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Junio 2009. Disponible en: <http://simon.uis.edu.co/encuentrosds2009/pag_memoria/articulos/ENERGIA/17.pdf>

SGR, Sistema General de Regalías. Se lanzó en Colombia norma internacional que promueve la eficiencia energética. Colciencias. 26 de Enero, 2012. Disponible en: <<http://www.colciencias.gov.co/noticias/se-lanz-en-colombia-norma-internacional-que-promueve-la-eficiencia-energetica>>

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

SOTO ENRICH, Daniel Alejandro. Aumento del rendimiento en un vehículo eléctrico, utilizando celdas fotovoltaicas. Santiago de Chile, 2002. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista, Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Disponible en: <<http://web.ing.puc.cl/~power/paperspdf/dixon/tesis/Soto.pdf>>

UNAL, Universidad Nacional de Colombia. Guía didáctica para el buen uso de la energía: Alumbrado público exterior. UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. 2007. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado_Publico.pdf>

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>>

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

UPME, Unidad de Planeación Minero energética. Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. 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. Costos Indicativos de Generación Eléctrica en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Colombia, Abril, 2005. Disponible en: <http://www.siel.gov.co/Siel/Documentos/documentacion/Generacion/Costos_Indicativos_Generacion_EE.pdf>

UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. Foro lanzamiento de la norma técnica colombiana ISO 50001. Comunicaciones UPME. Bogotá, D.C., Enero, 2012. Disponible en:

<http://www.upme.gov.co/Upme12/2012/FORO_LANZAMIENTO_NORMA_TECNICA_COLOMBIANA_ISO_50001.pdf>

UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. Plan Energético Nacional 2006-2025, Contexto y Estrategias. Bogotá D.C., Abril, 2007. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/PLAN_ENERGETICO_NACIONAL_2007.pdf>

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>

UPME, Unidad de planeación minero energética. Términos de referencia: Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Colombia, Bogotá, D.C., 17 de Septiembre, 2002. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/terminos/022_cultivos.pdf>

VARSANSKY, Martin. Gracias al hidrogeno, la energía eólica si sería sostenible. En: Energías Alternativas. 23 de Enero de 2007. Disponible en: <<http://spanish.martinvarsavsky.net/energaas-alternativas/gracias-al-hidrageno-la-energaa-ealica-sa-seraa-sostenible.html>>