



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**AREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

Tesis de Grado previa la  
Obtención del Título de  
Ingeniero Electromecánico

**TÍTULO:**

CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO, SOLAR E HÍDRICO  
DE LOS SECTORES RURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA QUE NO DISPONEN DE ELECTRIFICACIÓN.

**AUTORES:** Rodríguez Chalán Henry Marcelo.

Rojas Pineda Freddy Vinicio

**DIRECTOR DE TESIS:** Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo.

**FECHA:** Julio del 2011

**CARRERA:** Ing. Electromecánica



LOJA – ECUADOR



CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO, SOLAR E HÍDRICO  
DE LOS SECTORES RURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA QUE NO DISPONEN DE ELECTRIFICACIÓN.



## CERTIFICACIÓN

**Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo**, Director de la Tesis, cuyo tema versa en “Caracterización del recurso eólico, solar e hídrico de los sectores rurales de la provincia de Loja, que no disponen de electrificación.” de la carrera de *Ingeniería Electromecánica* de la *Universidad Nacional de Loja*, a petición de la parte interesada;

### CERTIFICO:

Que el presente *Proyecto de Investigación* fue elaborado bajo mi dirección, y una vez que ha sido culminado, autorizó la presentación del mismo para los fines legales pertinentes.

Loja, 28 de Junio del 2011

.....

**Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo**

DIRECTOR DE TESIS.



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Las ideas, hechos, principios, conceptos y resultados vertidos en el presente proyecto de tesis, son de exclusiva responsabilidad de los autores que firman a continuación, quienes a su vez, autorizan al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

.....

**Henry Marcelo Rodríguez Chalán**

Egdo. Ingeniería en Electromecánica

.....

**Freddy Vinicio Rojas Pineda**

Egdo. Ingeniería en Electromecánica



## AGRADECIMIENTO

Es necesario dejar constancia nuestros sinceros agradecimientos a la **Universidad Nacional de Loja**, al **Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables**, representada en cada uno de los docentes que en su momento nos brindaron sus conocimientos y apoyo para la formación como futuros profesionales. De manera especial:

- ✓ Al **Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo**, Director de Tesis, por haber colaborado en la realización del presente proyecto.
- ✓ A nuestros familiares, compañeros y amigos que con su apoyo y ánimo nos impulsaron a la culminación de nuestro Proyecto de Tesis.



## **DEDICATORIA**

Este trabajo investigativo quiero dedicarlo a Dios por ser guía espiritual en mi vida, a mis padres y hermanas por el apoyo incondicional que recibí siempre de ellos ; y en especial a mi esposa y a mi bebé por ser fuente de inspiración, por apoyarme moralmente para llegar a la culminación de mi Carrera.

### **Henry Rodríguez**

Con mucho aprecio a quiénes me han permitido llegar hasta aquí, a mis padres, a dios, a mis abuelitos, a mis tíos, y demás familiares y amigos, con quienes hemos sabido apoyarnos unos a otros, y así vencer todas las dificultades que se nos han presentado en el camino.

### **Freddy Vinicio Rojas Pineda.**



## ÍNDICE GENERAL.

CERTIFICACIÓN.....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
1. RESUMEN.....	1
1.1. SUMMARY .....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1. METEOROLOGÍA.....	6
3.1.1. RAMAS DE LA METEOROLOGÍA.....	6
3.1.2. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	7
3.1.3. SATÉLITES METEOROLÓGICOS.....	7
3.1.4. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	8
3.1.4.1. PIRANÓMETRO.....	8
3.1.4.2. ANEMÓMETRO.....	9
3.1.4.2. 1. EL REGISTRADOR DE DATOS ('DATALOGGER').....	10
3.1.4.3. CAUDALÍMETRO.....	10
3.1.4.3.1. COMO MEDIR EL CAUDAL.....	11
3.1.4.3.1.1. MEDICIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DEL FLOTADOR.....	11
3.1.4.3.1.1.1. PRIMER PASO. SELECCIONAR EL LUGAR ADECUADO.....	11
3.1.4.3.1.1.2. SEGUNDO PASO. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD.....	12
3.1.4.3.1.1.3. TERCER PASO MEDICIÓN DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL RÍO.....	12
3.1.4.3.1.1.4. CUARTO PASO. CÁLCULO DEL CAUDAL DEL RÍO.....	13
3.2.4. ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....	14
3.2.4.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....	15
3.2.4.2. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES.....	16
3.2.4.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA A UTILIZAR.....	17



<b>3.2.4.4. ENERGÍA SOLAR.</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.4.4.1. EL SOL.</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.4.4.1.1. ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR.</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.4.4.1.2. FUERZA DEL SOL.</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2.4.4.1.3. LA RADIACIÓN SOLAR.</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.4.4.1.4. INSOLACIÓN.</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2.4.4.2. ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DEL ECUADOR.</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.4.4.3. ASPECTOS AMBIENTALES.</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.4.5. ENERGÍA EÓLICA.</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2.4.5.1. POTENCIA EÓLICA INSTALADA A NIVEL MUNDIAL.</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.4.5.2. DESCRIPCIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN EL ECUADOR.</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.4.5.3. TIPOS DE VIENTOS.</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.4.5.3.1. VIENTOS GEOSTRÓFICOS (GLOBALES).</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.4.5.3.2. VIENTOS TERRESTRES (LOCALES).</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.4.5.4. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DEL VIENTO.</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.4.5.5. ESTIMACIÓN DEL RECURSO.</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.4.5.5.1. VELOCIDAD DEL VIENTO.</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.4.5.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO (TURBULENCIA).</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.4.5.5.3. DENSIDAD DEL AIRE.</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.4.5.6. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE UN PAÍS O REGIÓN.</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.4.5.7. LA ENERGÍA EN EL VIENTO.</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.4.5.8. TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA.</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.4.5.9. ASPECTOS AMBIENTALES.</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.4.5.10. INTERPOLACIÓN ESPACIAL DEL VIENTO.</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.4.5.11. ESCALA DE BEAUFORT, DE VELOCIDADES APROXIMADAS.</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2.4.5.12. ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA ANUAL DEL VIENTO EN FUNCIÓN DE INDICADORES BIOLÓGICOS.</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.4.5.12.1. LA VEGETACIÓN COMO UN INDICADOR DE ALTAS VELOCIDADES DE VIENTO.</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2.4.5.12.2. INDICADORES BIOLÓGICOS DEL POTENCIAL DE LA ENERGÍA DEL VIENTO.</b> ...	<b>36</b>
<b>3.2.4.5.12.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ÍNDICES DE DEFORMACIÓN DEL VIENTO.</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.4.5.12.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DEFORMACIÓN.</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2.4.5.12.5. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA ANUAL DEL VIENTO A 10 MTS.</b> .	<b>42</b>
<b>3.2.4.6. ENERGÍA HÍDRICA.</b> .....	<b>43</b>





<b>3.2.4.6.1. HIDROMETRÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.4.6.1.1. CUENCA HIDROGRÁFICA.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.4.6.1.2. VALORES DE CAUDAL MÍNIMO PARA UTILIZAR PICO TURBINAS. ....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.4.6.2. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HIDROENERGÉTICOS. ....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.4.6.3. UBICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CON RESPECTO DE LA DEMANDA. ....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.4.6.4. ACCESIBILIDAD DE LOS RECURSOS DISPONIBLES. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.4.6.5. IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL PARA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.3. MODELO DE VISUALIZACIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL CAMPO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. ....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.2. TELEDETECCIÓN APLICADA A LOS RECURSOS NATURALES. ....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.3. MISIÓN TOPOGRÁFICA DE RADAR SHUTTLE (SRTM) Y SENSOR MODIS. ....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.4. SOFTWARE IDRISI UTILIZADO PARA EL MODELO DE VISUALIZACIÓN. ....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.4.1. PROCESO DE BASE DE DATOS EN IDRISI. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.4.2. TIPOS DE FORMATOS DE IMÁGENES UTILIZADAS EN IDRISI. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.4.3. HERRAMIENTAS PRINCIPALES DEL SOFTWARE IDRISI. ....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.4.3.1. DATABASE WORKSHOP. ....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.4.3.2. CALCULADORA DE IMÁGENES. ....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.4.3.3. EARTH TRENDS MODELER.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3.4.4. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN LINEAL: DE MEDIAS MÓVILES CON DISTANCIA PONDERADA IDW). ....</b>	<b>56</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1. MATERIALES. ....</b>	<b>58</b>
<b>4.2. MÉTODOS. ....</b>	<b>59</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1. RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS. ....</b>	<b>61</b>
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>71</b>
<b>6.1. VALORACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA. ....</b>	<b>74</b>
<b>6.2. VALORACIÓN AMBIENTAL.....</b>	<b>75</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>78</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>80</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>FIG.1. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN METEOROLÓGICOS. ....</b>	<b>8</b>
<b>FIG.2. PIRANÓMETRO .....</b>	<b>9</b>
<b>FIG.3. ANEMÓMETRO DE MOLINETE. ....</b>	<b>9</b>
<b>FIG.4. DATA LOGGER. ....</b>	<b>10</b>
<b>FIG.5. ESTACIÓN HIDROMÉTRICA. ....</b>	<b>10</b>
<b>FIG.6. SELECCIONAR EL LUGAR ADECUADO. ....</b>	<b>11</b>
<b>FIG.7. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL RÍO. ....</b>	<b>12</b>
<b>FIG.8. MEDICIÓN DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL RÍO. ....</b>	<b>13</b>
<b>FIG. 9. ESTADÍSTICAS DE AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS MUNDIALES. ....</b>	<b>15</b>
<b>FIG.10. SISTEMA SOLAR TÉRMICO.....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA .11. IRRADIANCIA Y HORAS SOLARES PICO. ....</b>	<b>21</b>
<b>FIG. 12. PROMEDIO DE INSOLACIÓN EN LA PROVINCIA DE LOJA. TOMADO DE CONELEC. “ATLAS SOLAR DEL ECUADOR”, QUITO 2008. ....</b>	<b>22</b>
<b>FIG. 13. ATLAS SOLAR DEL ECUADOR. ....</b>	<b>23</b>
<b>FIG.14. PARQUE EÓLICO. ....</b>	<b>25</b>
<b>FIG.15. POTENCIA INSTALADA, Y PROYECTADA A NIVEL MUNDIAL.....</b>	<b>26</b>
<b>FIG.16. MINIGENERADOR INSTALADO EN SECTORES RURALES. ....</b>	<b>27</b>
<b>FIG.17. EFECTO DE LOS OBSTÁCULOS SOBRE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN UN SITIO. ....</b>	<b>29</b>
<b>FIG.18. ESTACIONES METEOROLÓGICAS QUE CONTIENEN DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO. ....</b>	<b>33</b>
<b>FIG.19. ÍNDICE DE DEFORMACIÓN DESARROLLADO POR PONCE, ROBERTS, MATTIO.....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA.20. TÉCNICA PARA COMPUTAR EL ÍNDICE DE LA PROPORCIÓN DE DEFORMACIÓN PARA CONÍFERAS Y ÁRBOLES DE COPA HEMISFÉRICA. ....</b>	<b>40</b>
<b>FIG.21. ÁNGULO PROMEDIO DE LA DESVIACIÓN DEL TRONCO HASTA EL BORDE DE LA COPA EN LA CASUARINA, POR (RAWSON - CHUBUT) ....</b>	<b>40</b>
<b>FIG.22. ÁNGULO MEDIO DEL PERÍMETRO DE LA COPA Y EL TRONCO, A SOTAVENTO EN EUCALIPTO POR (COMODORO RIVADAVIA- CHUBUT).....</b>	<b>41</b>
<b>FIG.23. ÍNDICE DE DEFORMACIÓN DE LOS ARBUSTOS. ....</b>	<b>43</b>
<b>FIG.24. RELACIÓN ENTRE EL ABANDERAMIENTO DE LOS PINOS Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO. ....</b>	<b>43</b>
<b>FIG.25. MINIHIDROELÉCTRICA TÍPICA. ....</b>	<b>44</b>
<b>FIG.26. SISTEMA TÍPICO DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....</b>	<b>45</b>



<b>FIGURA.27. EL SISTEMA GLOBAL DE OBSERVACIÓN SATELITAL.....</b>	<b>49</b>
<b>FIG.28. PAGINA WEB DE DESCARGA DEL MODELO NUMÉRICO DE ALTITUD.....</b>	<b>50</b>
<b>FIG. 29. SENSOR MODIS A BORDO DEL SATÉLITE TERRA.....</b>	<b>51</b>
<b>FIG.30. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN EL MÓDULO EARTH TRENDS MODELER. ....</b>	<b>51</b>
<b>FIG.31. ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS.....</b>	<b>52</b>
<b>FIG.32. LAS DOS FORMAS DE REPRESENTAR OBJETOS ESPACIALES .....</b>	<b>53</b>
<b>FIG.33. BASE DE DATOS IMPORTADA DESDE IDRISI. ....</b>	<b>54</b>
<b>FIG.34. CALCULADORA DE IMÁGENES. ....</b>	<b>54</b>
<b>FIG.35. MODELADOR DE TENDENCIAS DE LA TIERRA Y DINÁMICA DE LOS ECOSISTEMAS.....</b>	<b>55</b>
<b>FIG.36. MAPA GUÍA DE VISITA AL SECTOR MIYUGO. ....</b>	<b>63</b>
<b>FIG.37. MAPA GUÍA DE VISITA AL SECTOR LA BUCANA.....</b>	<b>63</b>
<b>FIG. 38. INSPECCIÓN REALIZADA EN EL SECTOR MIYUGO. ....</b>	<b>64</b>
<b>FIG. 39. CASA COMUNAL, Y DOMICILIOS DEL SECTOR MIYUGO. ....</b>	<b>64</b>
<b>FIG.40. INSPECCIÓN REALIZADA EN EL SECTOR LA BUCANA DE LA PARROQUIA CELICA. ....</b>	<b>64</b>
<b>FIG.41. APLICACIÓN DE ENCUESTAS A MORADORES DE LOS SECTORES DE ESTUDIO.....</b>	<b>64</b>
<b>FIG.42. SEGÚN LA ESCALA SUBJETIVA BASADA EN EL GRADO DE RESPUESTA DEL ÁRBOL HACIA EL VIENTO DEL ÍNDICE GRIGG – PUTNAM.....</b>	<b>66</b>
<b>FIG.43. ÁNGULO MEDIO DEL PERÍMETRO DE LA COPA Y EL TRONCO, A SOTAVENTO EN EUCALIPTO, EXISTENTE EN EL SECTOR MIYUGO. ....</b>	<b>67</b>
<b>FIG.44. MODELO DE VISUALIZACIÓN, DE INSOLACIÓN GLOBAL DEL SECTOR MIYUGO..</b>	<b>68</b>
<b>FIG.45. HISTOGRAMA DE INSOLACIÓN GLOBAL DEL SECTOR MIYUGO, EN EL PERIODO 1985 A1991.....</b>	<b>68</b>
<b>FIG.46. MODELO DE VISUALIZACIÓN , DE INSOLACIÓN GLOBAL DEL SECTOR LA BUCANA.....</b>	<b>68</b>
<b>FIG.47. HISTOGRAMA DE INSOLACIÓN GLOBAL DEL SECTOR LA BUCANA, EN EL PERIODO 1985 A1991. ....</b>	<b>69</b>
<b>FIG. 48. TEMPERATURA SUPERFICIAL TERRESTRE (LST) TOMADO DEL SENSOR MODIS.</b>	<b>69</b>
<b>FIG.49. MODELO DE VISUALIZACIÓN , DE LA VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO DEL SECTOR LA BUCANA.....</b>	<b>70</b>
<b>FIG.50. HISTOGRAMA DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO EN EL SECTOR MIYUGO, EN EL PERIODO 1985 A1991. ....</b>	<b>70</b>
<b>FIG.51. HISTOGRAMA DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO EN EL SECTOR LA BUCANA, EN EL PERIODO 1985 A1991.....</b>	<b>70</b>



## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>TABLA 1: FACTOR K.....</b>	<b>14</b>
<b>TABLA 2: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA A UTILIZAR.....</b>	<b>17</b>
<b>TABLA 3: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ENERGÍA A UTILIZAR.....</b>	<b>17</b>
<b>TABLA 4: FUERZA DEL VIENTO SEGÚN LA ESCALA DE BEAUFORT, CON LA VELOCIDAD CORRESPONDIENTE. ....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 5: VALORES DE VELOCIDADES MEDIAS ANUALES, TOMADAS DE UN MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.....</b>	<b>42</b>
<b>TABLA 6: POTENCIA DE GENERACIÓN DE PEQUEÑOS PROYECTOS.....</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 7: DATOS PUNTUALES EN LA PARROQUIA DEL CISNE. ....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 8: DATOS PUNTUALES DEL CANTÓN CELICA. ....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 9: GASTOS DE MANO DE OBRA. ....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 10: GASTO DE DISEÑO E INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>74</b>



## SIMBOLOGÍA.

<b>A</b>	Amperio
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>Ah</b>	Amperio-hora
<b>Btu</b>	Unidad térmica Británica (1 Btu = 1055.06 J)
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>DC</b>	Corriente Directa
<b>G</b>	Giga (10 <sup>9</sup> )
<b>Gls</b>	Galones
<b>GW</b>	Giga vatio (10 <sup>9</sup> vatios)
<b>Gwh</b>	Giga vatios hora
<b>HR</b>	Humedad relativa
<b>Hz</b>	Hertz
<b>J</b>	Joule (0,239 caloría ó 9,48 x 10 <sup>-4</sup> , unidades térmicas británicas, Btu)
<b>J/s</b>	Joules por segundo
<b>K</b>	Kilo (10 <sup>3</sup> )
<b>Km/s</b>	Kilómetros por segundo
<b>kW</b>	(1000 vatios) unidad de potencia
<b>Kw/m<sup>2</sup></b>	Kilovatios por metro cuadrado
<b>kWH</b>	Kilovatio hora
<b>kWH/m<sup>2</sup></b>	Kilovatio hora por metro cuadrado
<b>lts</b>	Litros
<b>M</b>	Mega (10 <sup>6</sup> )
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>mm</b>	Milímetros
<b>MW</b>	Mega vatios
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>PV</b>	Fotovoltaico (por sus siglas en inglés)
<b>US\$</b>	Dólares USA
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>V</b>	Voltios (el monto de "presión" de electricidad)
<b>W</b>	Vatios (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = vatios)
<b>Wp</b>	Vatios pico
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Vatios por metro cuadrado
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica.



<b>CIE</b>	Corporación para la Investigación Energética.
<b>EERSSA.</b>	Empresa eléctrica regional del sur S.A.
<b>hm</b>	Profundidad promedia.
<b>Q</b>	Caudal.
<b>m/s</b>	Unidad velocidad del viento (metro por segundo).
<b>Wh/m<sup>2</sup> dia</b>	Unidad insolación (vatio hora por metro cuadrado día).
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Unidad de caudal (metro cúbico por segundo).
<b>Rst.</b>	Raster.
<b>Vct.</b>	Vector.
<b>P</b>	Potencia.
<b>E</b>	Energía.
<b>t</b>	Tiempo.
<b>s</b>	Segundos.
<b>L/s</b>	Litros segundo.
<b>v</b>	Velocidad.
<b>d</b>	Distancia.
<b>tr</b>	Tiempo de recorrido.
<b>At</b>	Área transversal.
<b>K</b>	Factor de corrección relacionado con la velocidad.
<b>mdb</b>	Formato de Access.
<b>vlx</b>	Entidad vectorial asociada a una tabla.
<b>SRTM</b>	Misión Topográfica Radar Shuttle.
<b>NGA</b>	Agencia Nacional de Inteligencia-Geográfica espacial
<b>NASA</b>	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.
<b>ETM</b>	Earth Trends Modeler.
<b>IDW</b>	Distancias inversas ponderadas.
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator.
<b>MODIS</b>	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer



## **1. RESUMEN.**

El presente trabajo de investigación contiene información de la provincia de Loja y de manera particular de los sectores rurales no electrificados, localizados en la parroquia del Cisne del cantón Loja y el Empalme del cantón Celica, datos que han sido tomados de los anuarios existentes en el Proyecto Binacional Catamayo-Chira e insolación global facilitados por la Corporación para la Investigación Energética, además se dispone de información de altitudes la cual fue tomada de imágenes satelitales.

Con la información obtenida se elaboró metodologías que permitieron representarla gráficamente a la misma, mediante un sistema de información geográfica (SIG) los resultados obtenidos mediante las visualizaciones fueron corroborados con datos de campo y con la aplicación de otras metodologías de identificación de estos potenciales (evidencias ecológicas), logrando deducir de esta manera que en estos sectores es posible explotar, por lo menos uno de los tres potenciales de energías renovables a pequeña escala.

Y en consecuencia a esto se puede asegurar que el desarrollo de estas energías en estos sectores contribuiría a proveer de energía eléctrica a los habitantes de los mismos y de manera general se incentivará a las demás personas, en el uso de tecnologías limpias ya que las tradicionales además de tener un coste de funcionamiento muy elevado, funcionan con energías contaminantes provenientes de los combustibles fósiles, los cuales afectan al calentamiento global que hasta la actualidad han provocado catástrofes, logrando de esta manera que todos los usuarios puedan disfrutar de un servicio básico necesario y económico, que contribuya, al adelanto significativo de estos sectores y por ende de la Provincia de Loja.



## 1.1. SUMMARY

The present investigation work contains information of the county of Loja and in way peculiar of the rural sectors not electrified, located in the parish of the Swan of the canton Loja and the Connection of the canton Celica, data that have been taken of the existent annuals in the Project Binacional Catamayo-Chira and global heatstroke facilitated by the Corporation for the Energy Investigation, also have information of altitudes which was taken of images satellites.

With the obtained information it was elaborated methodologies that allowed to represent it graphically to the same one, by means of a system of geographical (SIG) information the results obtained by means of the visualizations they were corroborated with field data and with the application of other methodologies of identification of these potentials (you evidence ecological), being able to deduce in this way that is possible to explode in these sectors, at least one of the three potentials of renewable energies to small scale.

And in consequence to this can make sure that the development of these energies in these sectors would contribute to provide from electric power to the inhabitants of the same ones and in a general way it was motivated other people, in the use of clean technologies the traditional ones besides having a cost of very high operation, work since with polluting energies coming from the fossil fuels, which affect the global heating that you/they have provoked catastrophes until the present time, achieving in this way that all the users can enjoy a basic necessary and economic service that contributes, to the significant advance of these sectors and for of the County of Loja.





## 2. INTRODUCCIÓN.

El gran avance tecnológico de los últimos tiempos, en particular el ocurrido en la informática en la teledetección y los sensores remotos han tenido gran impacto en la Cartografía.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y su utilidad en la planificación energética consisten en sistemas informáticos, es decir hardware, software, datos digitales y usuario, que capturan almacenan manipulan procesan y visualizan la información espacial. Los SIG son muy útiles como herramientas de trabajo para diversas disciplinas, disponer de un SIG en el ámbito de la planificación energética permite a los técnicos y políticos contar con las herramientas más potentes de análisis, además permite contar con un proceso más dinámico de la información al ser visual, y a los responsables les permite tomar las decisiones de forma más eficiente. (**scielo.cl**)

En la actualidad existen varios programas que se utilizan para la elaboración de cartografía energética como: ArcInfo, ArcView, ArcGis, WasP, Solar Gis, Idrisi, GRASS, MapInfo, entre otros. Sin embargo dado que nuestro trabajo de investigación consistía en realizar una representación de los potenciales identificados en los sectores rurales no electrificados de la provincia de Loja, y que la Universidad Nacional de Loja cuenta con los servicios profesionales de la PhD. Emanuelle Quentin, experta en el manejo de sistemas de información geográfica (SIG) y que además es Coordinadora del Centro de Recursos Idrisi en Ecuador (CRI-UNL, Clark Labs, Clark University), la misma que nos supo manifestar que consideraba que este software si podía ayudarnos a cubrir nuestras aspiraciones, y que estaba dispuesta a brindarnos asesoría técnica en el manejo del software, de esta manera se decidió utilizar el software Idrisi en el desarrollo de nuestra tesis, ya que es una de las mejores herramientas analíticas y de modelaje en el mercado actual (**gisits.com**).

En el 2008, la Corporación de investigación de la Energía (CIE) elaboró un atlas solar. La metodología utilizada se basó en información generada por el laboratorio nacional de energías renovables ( NREL) de los estados Unidos, cuyas acciones estan orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética, estableciendose que el error de los datos es del 10%. (**conelec**)



La Empresa Electrica Regional del Sur S.A. dispone de un mapa de cobertura de electrificación donde se puede apreciar los sectores rurales de la Provincia de Loja que no disponen de electrificación.

En el gobierno provincial de Loja se ha desarrollado el proyecto binacional Catamayo Chira, el mismo que cuenta con un mapa de ubicaciones de estaciones meteorológicas a lo largo de la cuenca, el proyecto eolico Villonaco dispone de algunas bases de datos, de los cerros: Membrillo, Huacacocha, Villonaco, y una metodología de evidencias ecológicas para determinar una velocidad promedia estimada en lugares donde se estime que existe el potencial eólico. **(gobiernodeloja)**

El desarrollo de las energías renovables en la actualidad representa una línea de desarrollo estratégico para el gobierno nacional, como se puede evidenciar en la constitución del estado y el plan nacional del buen vivir; pero previo a ello es indispensable disponer de una cartografía energética (solar, eólica, hídrica, etc) en cualquier punto del País.

El desarrollo de las energías renovables en los sectores rurales no electrificados permite impulsar otros proyectos de desarrollo humano (salud, alimentación, educación), que en la actualidad tiene mucha dependencia con la energía eléctrica.

En base a lo señalado en el presente proyecto de tesis de grado se han planteado los siguientes objetivos:

Recopilar y sistematizar la información existente relacionada al potencial eólico, solar e hídrico de la provincia de Loja.

Identificar los sectores rurales de la provincia de Loja que no disponen electrificación, por medio de inspecciones de cada uno de los lugares a investigar, con lo que se espera obtener una información característica de cada lugar.

Determinar y aplicar estrategias necesarias para el levantamiento de evidencias (mediciones in situ, geográficas, ecológicas, encuestas y otros) que permitan contrastar e identificar el potencial eólico, solar e hídrico de los sectores rurales de las zonas de investigación que no están electrificadas.



Desarrollar un modelo de visualización del potencial eólico, solar e hídrico de los sectores rurales de la provincia de Loja mediante interpolación de datos existentes.

Socializar los resultados de la investigación.



### **3. REVISIÓN DE LITERATURA.**

#### **3.1. Meteorología.**

La meteorología es la ciencia interdisciplinaria, fundamentalmente una rama de la Física de la atmósfera, que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico, los fenómenos allí producidos y las leyes que lo rigen.

Mediante el estudio de los fenómenos que ocurren en la atmósfera la meteorología trata de definir el clima, predecir el tiempo, comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas, etc. El conocimiento de las variaciones climáticas ha sido siempre de suma importancia para el desarrollo de la agricultura, la navegación y la vida en general.

En el Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrometría INAMHI mantiene la competencia del monitoreo meteorológico en nuestro país; apoyado, en el caso de la Región Sur, por el ex PREDESUR, quien transfirió este compromiso a la Secretaría Nacional del Agua, en la actualidad, entre otras el ex PREDESUR, transfiere SENAGUA/Demarcación Hidro Puyango-Catamayo una base de datos meteorológicos con registros históricos.  
**(Meteorología)**

##### **3.1.1. Ramas de la meteorología.**

La meteorología estudia los fenómenos que se desarrollan en la atmósfera. Se divide en tres partes:

- a. Meteorología descriptiva. Estudia las variaciones meteorológicas (presión temperatura, vientos, humedad, etc.) y los aparatos para medirlas.
- b. Meteorología climatológica. Estudia los factores citados en su aspecto estático (evaporación, condensación, precipitación y fenómenos acústico y eléctrico).
- c. Meteorología dinámica o de previsión del tiempo. Estudia los fenómenos en función del tiempo y del espacio. **(Proyectos fin de carrera)**



### **3.1.2. Estaciones meteorológicas.**

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos. Está equipada con los principales instrumentos de medición, entre los que se encuentran los siguientes:

- Anemómetro (que mide la velocidad del viento)
- Veleta (que mide la dirección del viento)
- Barómetro (que mide la presión atmosférica)
- Heliógrafo (que mide la insolación del suelo)
- Higrómetro (que mide la humedad)
- Piranómetro (que mide la radiación solar)
- Pluviómetro (que mide el agua caída)
- Termómetro (que mide la temperatura)

Cuanto más numerosas son las estaciones meteorológicas, más detallada y exactamente se conoce la situación. Hoy en día gran cantidad de ellas cuentan con personal especializado, aunque también hay un número de estaciones automáticas ubicadas en lugares inaccesibles o remotos, como regiones polares, islotes deshabitados o cordilleras. Además existen fragatas meteorológicas, barcos que contienen a bordo una estación meteorológica muy completa y a los cuales se asigna una posición determinada en pleno océano.

### **3.1.3. Satélites meteorológicos.**

Los satélites meteorológicos son un tipo de satélite artificial utilizados para supervisar el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra, aunque también son capaces de ver las luces de la ciudad, incendios forestales, contaminación, auroras, tormentas de arena y polvo, corrientes del océano, etc. Otros satélites pueden detectar cambios en la vegetación de la Tierra, el estado del mar, el color del océano y las zonas nevadas.



El fenómeno de El Niño y sus efectos son registrados diariamente en imágenes satelitales. El agujero de ozono de la Antártida es dibujado a partir de los datos obtenidos por los satélites meteorológicos. De forma agrupada, los satélites meteorológicos de China, Estados Unidos, Europa, Canadá, India, Japón y Rusia proporcionan una observación casi continua del estado global de la atmósfera.

#### **3.1.4. Instrumentos de medición.**

En general, cada ciencia tiene su propio conjunto de equipamiento e instrumental de laboratorio. Sin embargo, la meteorología es una disciplina corta en equipos de laboratorio y amplia en los equipos de observación en campo, como se lo indica en la figura 1. En algunos aspectos esto puede parecer bueno, pero en realidad puede hacer que simples observaciones se desvíen hacia una afirmación errónea.

En la atmósfera, hay muchos objetos o cualidades que pueden ser medidos. La lluvia, por ejemplo, ha sido observada en cualquier lugar y desde siempre, siendo uno de los primeros fenómenos en ser medidos históricamente. (**Wikipedia**)



Fig.1. Instrumentos de medición meteorológicos.

##### **3.1.4.1. Piranómetro.**

Un piranómetro (también llamado polarímetro y actinómetro) es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del



flujo de radiación solar (vatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados. Como se lo expone en la figura 2.



Fig.2. Piranómetro

### 3.1.4.2. Anemómetro.

El anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y, específicamente para medir la velocidad del viento como se lo puede apreciar en la figura 3.

En meteorología, se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino cuyas tres aspas se hallan constituidas por cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel (anemograma), en cuyo caso el aparato se denomina anemógrafo. Aunque también los hay de tipo electrónicos.



Fig.3. Anemómetro de molinete.



### 3.1.4.2. 1. El registrador de datos ('datalogger')

Los datos de las velocidades y direcciones del viento obtenido por el anemómetro son recogidos en un chip electrónico en una pequeña computadora, el registrador de datos ('datalogger'), que puede funcionar con batería durante un largo de tiempo.

La figura 4, muestra un ejemplo de un registrador de datos. Es posible que una vez al mes sea necesario ir hasta el registrador a recoger el chip y remplazarlo por otro que recoja los datos del mes siguiente. **(Windpower)**



Fig.4. Data Logger.

### 3.1.4.3. Caudalímetro.

Instrumento empleado para la medición del caudal de un fluido o Gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros, también tenemos los instalados en los ríos, como se puede apreciar en la figura 5. La estación instalada en la orilla del río.



Fig.5. Estación Hidrométrica.





### **3.1.4.3.1. Como medir el caudal.**

Para efectuar la valoración del caudal a nivel local, cuando no se dispone de equipos de precisión, ni se considera pertinente su uso, es conveniente utilizar dos métodos reconocidos y ampliamente difundidos: el método del recipiente y el método del flotador.

#### **3.1.4.3.1.1. Medición del caudal por el método del flotador.**

En este método se utilizan los valores promedio de las variables determinadas. Se requieren los siguientes materiales y equipos:

- Un objeto flotante, puede ser una bola de ping-pong, una botella plástica pequeña, una rama, un trozo de madera que flote libremente en el agua.
- Un reloj o cronómetro.
- Un decámetro o cinta medidora.
- Una regla o tabla de madera graduada.

##### **3.1.4.3.1.1.1. Primer paso. Seleccionar el lugar adecuado.**

Se selecciona en el río un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos, como se representa en la figura 6.

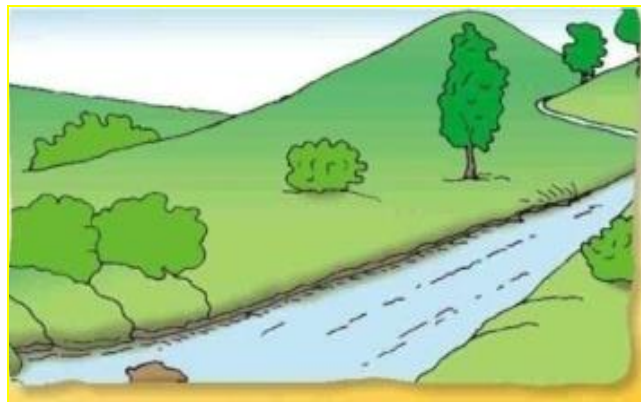


Fig.6. Seleccionar el lugar adecuado.

### 3.1.4.3.1.1.2. Segundo paso. Medición de la velocidad.

En el tramo seleccionado de la Fig 7. Ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y medir la distancia, por ejemplo 12 metros (cualquier medida, preferiblemente, del orden de los 10 metros).

Una persona se coloca en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el reloj o cronómetro. Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B.

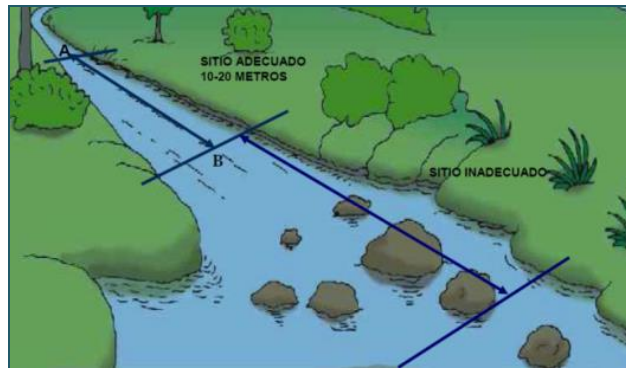


Fig.7. Medición de la velocidad del río.

Se recomienda realizar un mínimo de 3 mediciones y calcular el promedio. Supongamos que el promedio del tiempo de recorrido fué de 8 segundos.

La velocidad de la corriente de agua del río se calcula con base en la siguiente ecuación 1:

$$v = d(A - B) \div tr \quad (1.0)$$

Dónde:

v= Velocidad.

d= Distancia (A-B).

tr= Tiempo de recorrido.

### 3.1.4.3.1.1.3. Tercer paso medición del área de la sección transversal del río.

En el tramo seleccionado de la Fig 8, ubicar la sección o el ancho del río que presente las condiciones promedio y en la que se facilite la medición del área transversal.

Un método práctico, con aceptable aproximación para calcular el área transversal, es tomar la altura promedio.

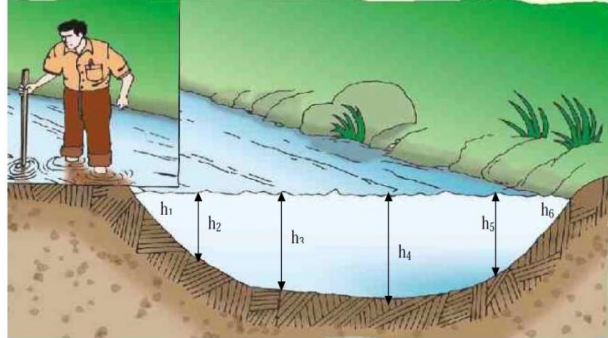


Fig.8. Medición del área de la sección transversal del río.

$$h_m = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6) \div 6 \quad (2.0)$$

Dónde:

$h_m$  = Es la profundidad promedio del río.

$$AT = Ar \times h_m \quad (3.0)$$

Dónde:

$AT$  = Área transversal.

$Ar$  = Ancho.

#### 3.1.4.3.1.1.4. Cuarto paso. Cálculo del caudal del río.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal del río,  $Q$ , con base en la siguiente ecuación:

$$Q = K \times v \times A \quad (4.0)$$

Dónde:

$v$  = Velocidad (m/s)

$A$  = Área (m<sup>2</sup>).



K es un factor de corrección relacionado con la velocidad. El valor de K se debe seleccionar de acuerdo al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo, de conformidad con la tabla.1. **(Manejo de aguas)**

**Tabla 1:** Factor K.

<b>Tipo de canal o río</b>	<b>Factor K</b>
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15cm.	0,8
Canal de tierra, profundidad del agua > 15cm.	0,7
Río o riachuelo, profundidad del agua > 15cm.	0,5
Ríos o canales de tierra, profundidad del agua < 15cm.	0,25 -0,5

### **3.2.4. Energías alternativas.**

Genéricamente, se denomina Energía alternativa, o más propiamente Fuentes de energía alternativas, aquellas fuentes de energía planteadas como alternativa a las tradicionales o clásicas. No obstante, no existe consenso respecto a qué tecnologías están englobadas en este concepto, y la definición de "energía alternativa" difiere según los distintos autores: en las definiciones más restrictivas, energía alternativa sería equivalente al concepto de energía renovable o energía verde, mientras que las definiciones más amplias consideran energías alternativas a todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo); en estas definiciones, además de las renovables, están incluidas la energía nuclear o incluso la hidroeléctrica.

En la actualidad presentan fundamentalmente dos problemas: por un lado son recursos finitos, y se prevé el agotamiento de las reservas especialmente de petróleo en plazos más o menos cercanos, en función de los distintos estudios publicados, como podemos apreciar en el gráfico de la figura 9.

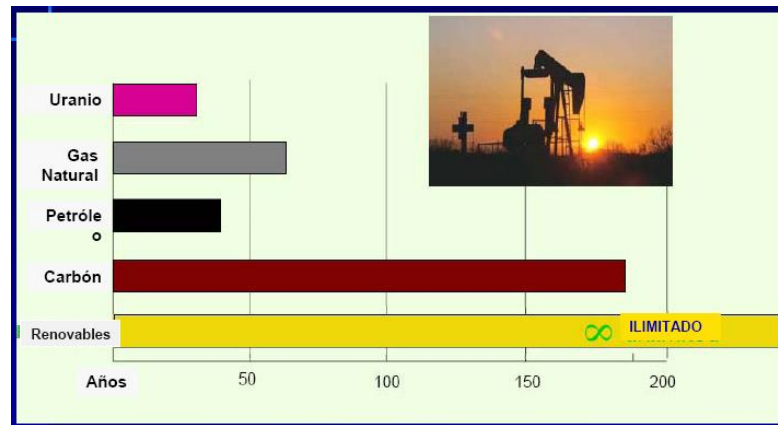


Fig. 9. Estadísticas de agotamiento de los recursos energéticos mundiales.

Por otra parte, la quema de estos combustibles libera a la atmósfera grandes cantidades de  $\text{CO}_2$ , que ha sido acusado de ser la causa principal del calentamiento global. Por estos motivos, se estudian distintas opciones para sustituir la quema de combustibles fósiles por otras fuentes de energía carentes de estos problemas.

Las energías alternativas se dividen en dos grandes grupos:

- Fuentes de energía renovables (eólica, solar, biomasa, etc.)
- Energía Nuclear. (Fuera estelar)

#### 3.2.4.1. Evolución histórica.

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.



Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

#### **3.2.4.2. Producción de energía a partir de fuentes renovables.**

Si la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables se generaliza, los sistemas de distribución y transformación no serían ya los grandes distribuidores de energía eléctrica, pero funcionarían para equilibrar localmente las necesidades de electricidad de las pequeñas comunidades. Los que tienen energía en excedente venderían a los sectores deficitarios, es decir, la explotación de la red debería pasar de una "gestión pasiva" donde se conectan algunos generadores y el sistema es impulsado para obtener la electricidad "descendiente" hacia el consumidor, a una gestión "activa", donde se distribuyen algunos generadores en la red, debiendo supervisar constantemente las entradas y salidas para garantizar el equilibrio local del sistema. Eso exigiría cambios importantes en la forma de administrar las redes.

Sin embargo, el uso a pequeña escala de energías renovables, que a menudo puede producirse "in situ", disminuye la necesidad de disponer de sistemas de distribución de electricidad. Los sistemas corrientes, raramente rentables económicamente, revelaron que un hogar medio que disponga de un sistema solar con almacenamiento de energía, y paneles de un tamaño suficiente, sólo tiene que recurrir a fuentes de electricidad exteriores algunas horas por semana. Por lo tanto, los que abogan por la energía renovable piensan que los sistemas de distribución de electricidad deberían ser menos importantes y más fáciles de controlar. **(Guía tecnológica)**



### 3.2.4.3. Criterios de selección de la fuente de energía a utilizar.

Para proceder a diseñar tecnologías de explotación de energías alternativas a pequeña escala, primeramente, tenemos que tener identificado, el tipo de potencial existente, lo cual se lo debe realizar mediante la tabla.2. Que se indica a continuación.

**Tabla 2:** Criterios de selección de la fuente de energía a utilizar.

FACTORES	CRITERIOS DE SELECCION	INFORMACION REQUERODA
Factibilidad ambiental	Disponibilidad de energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos sobre fuentes de energía.</li> <li>• Hidrología.</li> <li>• Clima.</li> <li>• Topografía.</li> </ul>
Factibilidad técnica	Nivel existente de infraestructura tecnológica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño.</li> <li>• Fabricación.</li> <li>• Instalación.</li> <li>• Operación.</li> <li>• Mantenimiento.</li> </ul>
Factibilidad social	Aceptabilidad social de la fuente de energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organización.</li> <li>• Estructura social.</li> <li>• Potencial para el uso productivo del agua.</li> <li>• Deseo y capacidad de pago.</li> </ul>
Factibilidad económica	Efectividad en costos de sistemas de energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de costos.</li> <li>• Perfiles de costos en el tiempo.</li> <li>• Economías de escala.</li> <li>• Fabricación local.</li> </ul>

De la misma manera es indispensable de conocer los requisitos para la factibilidad ambiental, los cuales los exponemos en la tabla.3.

**Tabla 3:** Criterios de selección de la fuente de energía a utilizar.

FUENTE RENOVABLE DE ENERGÍA	REQUISITOS PARA LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL
Micro hidráulica. Bombas de ariete hídrico. Bombas de corriente de río.	Caudal mensual promedio de por lo menos 3-5 l/s en combinación con una cabeza hidráulica de por lo menos 1m. Velocidad mínima de la corriente de 1 m/s.
Energía Eólica.	Velocidad promedio anual mayor de 3.5 m/s. Velocidad promedio en el mes de menos viento mayor a 2.5 m/s.
Energía Solar	Irradiación promedio anual de por lo menos 15 MJ/ m <sup>2</sup> .d (4.0 kwh/m <sup>2</sup> .d). Irradiación solar del mes de mínima insolación mayor de 12.5 MJ/ m <sup>2</sup> .d (3.5 kwh/ m <sup>2</sup> .d ). Factor de claridad (falta de nubes) por lo menos 60%.

#### 3.2.4.4. Energía solar.

Como se indica en las Figura 10. Se trata de recoger la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios o fábricas. También, se podrá conseguir refrigeración durante las épocas cálidas. En agricultura se pueden conseguir otro tipo de aplicaciones como invernaderos solares que favorecieran las mejoras de las cosechas en calidad y cantidad, los secaderos agrícolas que consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible. Con este tipo de energía se podría reducir más del 25 % del consumo de energía convencional en viviendas de nueva construcción con la consiguiente reducción de quema de combustibles fósiles y deterioro ambiental. Debemos tener en cuenta que la obtención de agua caliente supone en torno al 28 % del consumo de energía en las viviendas y que éstas, a su vez, demandan algo más del 12 % de la energía en nuestro país. Gracias al apoyo de la comisión Europea y del Gobierno del Ecuador, el 21 de diciembre del 2006, se suscribió un convenio de financiación para llevar a cabo el programa EURO-SOLAR, conjuntamente con otros 7 países de América Latina. El objetivo de este programa fue brindar energía eléctrica a 91 comunidades del Ecuador que en ese momento no tenían acceso a la red eléctrica convencional. (Scrib)

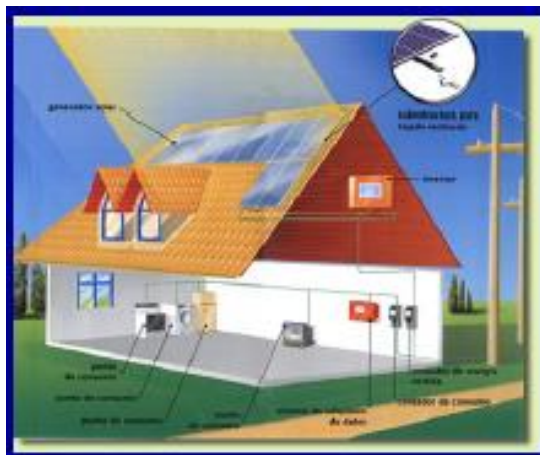


Fig.10. Sistema solar térmico.





#### **3.2.4.4.1. El sol.**

El sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso, principalmente hidrógeno, en condiciones tales que producen, de forma espontánea e ininterrumpida, un proceso de fusión nuclear, el cual emite luz y calor. Este es el origen de la inagotable energía solar.

##### **3.2.4.4.1.1. Origen de la energía solar.**

El Sol es una gran fuente de energía para llenar nuestras necesidades. Aparte de la que nos llega directamente de sus rayos, el Sol también es el origen de otras fuentes de energía. Por ejemplo, el viento es causado por las diferencias de temperatura en distintos lugares del mundo, y la energía hidráulica depende del ciclo hidrológico, el cual tiene su origen en la evaporación de las aguas causada por el Sol. Asimismo, los combustibles fósiles (petróleo y carbón, entre otros) se produjeron gracias a la energía transmitida por este astro, luego de transformarse a partir de su forma vegetal.

El Sol tiene un flujo radiante de  $3,8 \times 10^{26}$  W, equivalente a una densidad de 62,5 MW por cada metro cuadrado de superficie solar. De esa enorme cantidad de energía radiante, solamente una pequeñísima fracción alcanza a nuestro planeta, pero todavía representa una cantidad muy grande en comparación con el consumo energético en el ámbito mundial. En la utilización de la energía solar, el problema no es la cantidad total disponible, sino las dificultades para su aprovechamiento, dado que ésta se dispersa, repartiéndose por toda la superficie de la Tierra y los océanos. En promedio, la cantidad que llega a nuestra atmósfera exterior equivale a una potencia de  $1,4 \text{ kw/m}^2$ , cantidad que se reduce hasta aproximadamente  $1 \text{ kw/m}^2$  cuando llega al suelo.

##### **3.2.4.4.1.2. Fuerza del sol.**

La fuerza del sol que llega a la tierra equivale a 10.000 veces el consumo mundial de energía. Este astro es como una gran estrella corriente, capaz de hacer llegar hasta nosotros grandes cantidades de energía radiante. Se encuentra a una distancia de unos 150 millones de kilómetros de la Tierra y la radiación que emite tarda algo más de ocho minutos en alcanzar nuestro planeta, a una velocidad de 300.000 km/s. Desde el punto de



vista cuantitativo se puede decir que sólo la mitad de la radiación solar llega a la superficie de la Tierra. La restante se pierde por reflexión y absorción en la capa de aire.

La forma más usual de medir la fuerza del Sol es en  $\text{kw/m}^2$  de área horizontal. En los mapas mundiales de radiación solar, se indica la radiación promedio anual en  $\text{kwh/m}^2$ .

El aprovechamiento activo se puede regir bajo dos puntos de vista bien diferenciados: la conversión térmica o aprovechamiento del calor contenido en la radiación solar, y la conversión eléctrica o aprovechamiento de la energía luminosa (fotones), para generar directamente energía eléctrica (**efecto fotovoltaico**).

#### **3.2.4.4.1.3. La radiación solar.**

La radiación solar está formada por una mezcla de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias. Algunas de ellas pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que se conoce como la luz visible. Otras, aunque no son visibles, hacen notar igualmente sus efectos, al ceder a los cuerpos la energía que transportan.

La radiación no es algo constante, sino que varía de forma aleatoria debido a los muy diversos efectos que provoca, sobre ella, la atmósfera terrestre. Una gran parte de la radiación sufre una absorción y una dispersión en la atmósfera, como consecuencia de su propia estructura y de los agentes variables que allí se encuentran, tales como la contaminación o la nubosidad. Por todo ello, para diseñar sistemas de energía solar, es necesaria una caracterización de la radiación disponible bajo diversas condiciones atmosféricas. La radiación global directa (procedente directamente del Sol) se refleja por la presencia de las nubes, el vapor de agua, etc., y se dispersa por las moléculas del agua, el polvo en suspensión, etc. Esta se divide en tres partes:

- Radiación directa: formada por los rayos procedentes directamente del Sol
- Radiación difusa: procedente de toda la bóveda celeste, excepto la que llega directamente del Sol. Originada por los efectos de dispersión de los componentes de la atmósfera, incluidas las nubes.

- Radiación del albedo: procedente del suelo, debido a la reflexión de la radiación incidente sobre él. Depende directamente de la naturaleza de éste. Al cociente entre la radiación reflejada y la incidente en la superficie de la tierra se le llama albedo.

La radiación solar es una manifestación electromagnética de la energía, la cual presenta una amplia distribución espectral; es decir, una gran variedad de componentes elementales de distintas longitudes de onda. El rendimiento de cualquier conversión solar depende del margen de radiaciones para las que puede trabajar (los materiales de que estén formados los colectores determinan fundamentalmente esta propiedad). ([bun-ca.org](http://bun-ca.org))

#### 3.2.4.4.1.4. Insolación.

La cantidad de energía solar (directa y reflejada) que se recibe en la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de  $1\text{m}^2$ , recibe el nombre de insolación. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente Watts-hora por metro cuadrado ( $\text{W-h/m}^2$ ). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de  $1000\text{ W/m}^2$ , como se detalla en la figura 11.

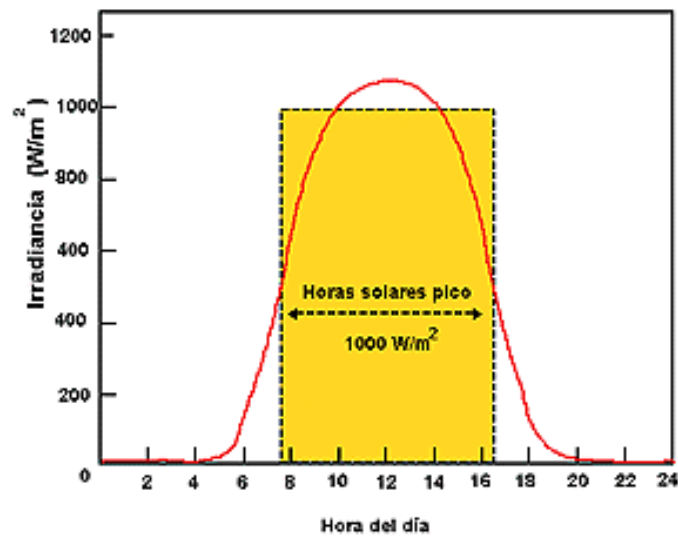


Figura .11. Irradiancia y horas solares pico.

En el caso de Ecuador, su ubicación permite registrar promedios altos de insolación (alrededor de  $3,82\text{KWh/m}^2$  por día), situación que mejora considerablemente en la provincia de Loja (ver Figura 12). Esta situación conlleva a considerar seriamente el diseño, implementación y puesta en marcha de tecnologías afines para la región sur del país. (Scrib)

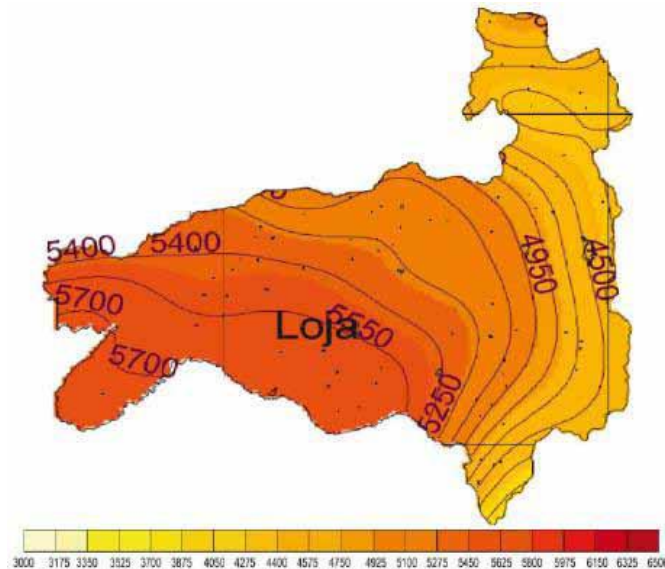


Fig. 12. Promedio de insolación en la provincia de Loja. Tomado de CONELEC. “Atlas solar del Ecuador”, Quito 2008.

#### 3.2.4.4.2. Atlas de radiación solar del Ecuador.

La CIE, dentro de su labor de investigación en el campo de las energías renovables y eficiencia energética para usos productivos y protección ambiental, ha elaborado el “Atlas de la figura 13, que representa la Radiación Solar del Ecuador, con fines de generación eléctrica”, para el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC.

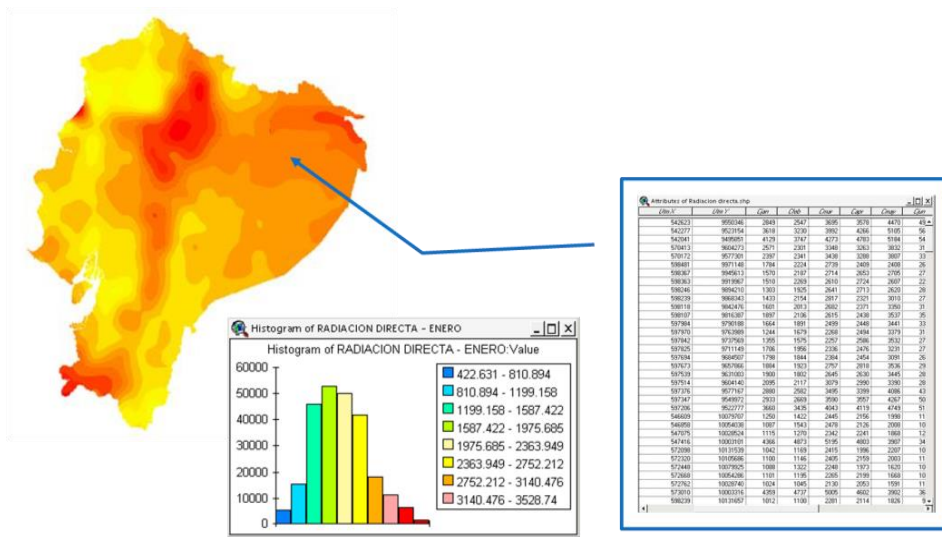


Fig. 13. Atlas solar del Ecuador.

Para su elaboración de este documento, La CIE utilizó el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory - NREL de los Estados Unidos.

Luego de un proceso para filtrar los datos del modelo CRS, la Corporación seleccionó aquellos datos que corresponden únicamente al territorio ecuatoriano, exportándolos a una base de datos compatible con la plataforma de trabajo que se escogió, en este caso, un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El “Atlas de Radiación Solar del Ecuador”, es un documento que consta de 39 mapas, en formato análogo y digital, con una resolución de 1 Km<sup>2</sup>, además del respectivo software de consulta y la base de datos correspondiente. Contiene información mensual de las radiaciones directa, difusa y global y los promedios anuales en Wh/m<sup>2</sup>/día.

Contar con esta información, es un insumo para la implementación de procesos productivos tecnológicamente eficientes, en sectores como el agrícola e industrial que aprovecharía la energía solar en sistemas de bombeo, molienda de granos, autoconsumo, iluminación, generación de calor, regulación de temperaturas, etc. todo esto a través de energías limpias y bajo condiciones de ventaja estratégica para nuestro país por su posición geográfica.

(Utpl.edu.ec)



#### **3.2.4.4.3. Aspectos ambientales.**

En muchos casos, se tiene que decidir entre una planta eléctrica diesel o un sistema fotovoltaico para electrificar una vivienda rural. Si se comparan ambas alternativas, es posible obtener un panorama ilustrativo de los efectos positivos y negativos de cada una de ellas, tanto del punto de vista económico, como del punto de vista ambiental.

El costo inicial de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico de la misma capacidad. El tiempo de instalación de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico, aunque para las dos alternativas el tiempo es corto y las dificultades de transporte son básicamente las mismas.

Las plantas eléctricas producen ruido cuando operan. Inicialmente esta contaminación sonora suele ser tolerada por el entusiasmo de disponer de energía eléctrica; sin embargo, pronto ésta se hace intolerable, especialmente para las personas de la tercera edad, enfermos y maestros de escuela. Los sistemas fotovoltaicos no producen ningún sonido molesto cuando operan debido a que no poseen partes y movimientos mecánicos por lo que no ocasionan ningún tipo de contaminación sonora.

Las plantas eléctricas producen humo cuando operan. Si la planta no ha recibido el mantenimiento adecuado, la cantidad de humo producido es considerable y dañina para las personas próximas a ésta. Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas. La producción de hidrógeno no es un problema si las baterías se encuentran en una habitación ventilada; en caso contrario, se puede producir una explosión debido a la concentración alta de este gas. (**bun-ca.org**)

#### **3.2.4.5. Energía eólica.**

La energía eólica tiene su origen en la solar, más específicamente en el calentamiento diferencial de masas de aire por el Sol, ya sea por diferencias de latitud (vientos globales) o el terreno (mar-tierra o vientos locales). Las diferencias de radiación entre distintos puntos de la Tierra generan diversas áreas térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión.

De los sistemas de vientos globales, uno de los más importantes es el de los alisios, el cual tiene su origen en el mayor calentamiento de la región ecuatorial. En general, este sistema es activo entre las latitudes de 30 grados norte y sur, por lo que es de alta relevancia para la región de América Central. De la energía solar que llega a la Tierra por radiación (unos 1.018 kWh por año), sólo alrededor del 0,25% se convierte en corrientes de aire. Esta cantidad es todavía 25 veces mayor al consumo energético total mundial.

La dirección del viento está determinada por efectos Topográficos y por la rotación de la Tierra. Es de gran importancia el conocimiento de las direcciones dominantes para instalar los equipos que extraerán la energía proveniente de este recurso. Como se puede observar en la Figura 14. Los aerogeneradores se deben colocar en lugares donde exista la menor cantidad de obstáculos posibles en estas direcciones. (**bun-ca.org**)



Fig.14. Parque Eólico.

#### **3.2.4.5.1. Potencia eólica instalada a nivel mundial.**

El informe mundial, de la figura 15. Sobre la energía eólica nos indica que en el año 2007, ésta supera los 100 GW y se predice que sobrepase los 240 GW para el año 2012. Durante el año 2007 la participación de Estados Unidos en cuanto a potencia instalada fue de 5,2 GW, lo que resulta actualmente en una potencia de 16,8 GW. La potencia eólica instalada acumulada, a nivel mundial desde el año 1995 al 31 de diciembre de 2007, se muestra en el gráfico siguiente:

El país asiático supera ya a EEUU con una capacidad instalada total de 41,8 gigavatios en 2010, que se espera alcance los 50 gigavatios para este año 2011. Gracias a la eólica, se

calcula que China reducirá las emisiones de dióxido de carbono en 90 millones de toneladas, además de reducir su dependencia energética del exterior. **(Potencia Eólica)**

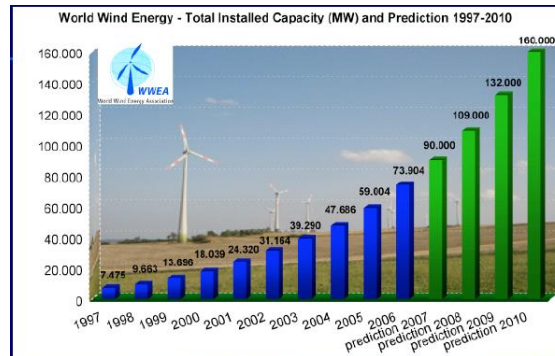


Fig.15. Potencia instalada, y proyectada a nivel mundial.

### 3.2.4.5.2. Descripción del potencial eólico en el Ecuador.

El recurso eólico en el país es un campo que no ha sido explorado y que es muy poco conocido. Existen registros nacionales de dirección y velocidad de viento que se obtuvieron a partir de mediciones de estaciones meteorológicas ubicadas en su mayoría en los distintos aeropuertos del país. Estas mediciones se hicieron a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo, por lo que resultan imprecisas sin embargo de lo cual pueden servir de referente para la localización de sitios con potencial eólico.

A más de estos registros, existen en el país sitios con un interesante potencial eólico en los cuales se han efectuado estudios puntuales y que han arrojado resultados positivos. Entre estos sitios, se puede mencionar, el proyecto Salinas en la provincia de Imbabura con una potencia de 10 MW, el Villonaco en Loja con una potencia de 15 MW, Huascachaca en el límite de Azuay y Loja con una potencia estimada en 50 MW, y el proyecto San Cristóbal en Galápagos con una potencia de 2.4 MW. De los proyectos mencionados, el único que se encuentra en ejecución es el proyecto San Cristóbal en la región insular, que actualmente funciona con 3 aerogeneradores de 0.8 MW cada uno.

Por otra parte, el proyecto eólico “Minas de Huascachaca” se encuentra en fase de factibilidad avanzada, estudios efectuados por parte de la Corporación para la Investigación



Energética. Además es muy importante recalcar que otra de las alternativas es realizar estudios, que permitan desarrollar este potencial a pequeña escala, en sectores rurales y apartados como se indica en la figura 16. **(Conelec)**



Fig.16. Minigenerador instalado en sectores rurales.

### **3.2.4.5.3. Tipos de vientos.**

Los vientos que interaccionan en el globo terrestre son: los geostróficos (globales) y los terrestres (locales).

#### **3.2.4.5.3.1. Vientos geostróficos (globales).**

Estos vientos son generados, principalmente, por las diferencias de temperatura, presión y, muy poco, por la superficie terrestre. Se encuentran a una altura superior a los 1.000 metros sobre el nivel del suelo y su velocidad puede ser medida utilizando globos de sonda.

#### **3.2.4.5.3.2. Vientos terrestres (locales).**

Estos vientos son mucho más influenciados por la superficie terrestre a altitudes de hasta 100 metros. Son frenados por la rugosidad de la superficie de la tierra y por los diferentes obstáculos que se encuentren en su recorrido. Sus direcciones cerca de la superficie serán ligeramente diferentes de las de los geostróficos debido a la rotación de la tierra. Conocer el comportamiento de estos vientos es de gran importancia, ya que influyen en forma diferente en la producción de energía eólica siempre y cuando los globales sean menos intensos, ya que la dirección depende de la superposición de ambos vientos. Teniendo esto en cuenta, los vientos terrestres o locales se clasifican en:



- Brisas marinas: durante el día la superficie terrestre se calienta más rápido que el mar, esto ocasiona que el aire que se encuentra en tal superficie se caliente y pierda densidad provocando que se eleve, dejando una diferencia de presión en la superficie. Luego de alcanzar cierta altura, el aire desciende al mar y, producto de la diferencia de presión causada es atraído el aire frío del mar.
- Brisas terrestres: en la brisa terrestre, la cual aparece al anochecer, ocurre el mismo proceso que en la marina, sólo que se invierte el sentido del flujo de aire, esto significa que el viento viaja de la superficie terrestre hacia el mar, ya que la tierra pierde el calor más rápido que el agua, disminuyendo, por consiguiente, la temperatura. Las velocidades de estos vientos son menores a los producidos en las brisas marinas, ya que en la noche existe una diferencia de temperatura menor que en el día entre la superficie terrestre y el mar.
- Vientos de montaña: un ejemplo de vientos de montaña son los de valle que se originan en las laderas, ya que miran hacia el sur (en el hemisferio norte) o hacia el norte (hemisferio sur). Durante el día, el aire caliente que se encuentra en las laderas pierde densidad elevándose hacia la cima y recorriendo toda la superficie de la ladera. En la noche se invierte el flujo del aire: de la cima hacia abajo, recorriendo la superficie de la ladera. Si el fondo del valle tiene cierta inclinación, el aire puede ascender y descender por el valle; a este efecto se le conoce como "viento de cañón". ([bun-ca.org](http://bun-ca.org))

#### **3.2.4.5.4. Factores que afectan la velocidad del viento.**

Se puede considerar que la velocidad del viento es afectada por varios factores, destacando: Factores naturales, orografía del terreno, temperatura, vegetación natural, cultivos, estación del año. Factores artificiales: Construcciones y obstáculos permanentes y temporales, tales como edificios, casas, cercas, chimeneas, etc.

Los obstáculos Topográficos naturales o edificados perturban el régimen laminar del viento, sobre todo en las capas más bajas, pues al encontrar un obstáculo el viento es desviado vertical y horizontalmente y, debido la concentración del flujo laminar, aumenta en la parte superior y disminuye en la parte inferior. En las ciudades se produce una situación diferenciada de las condiciones generales del entorno y se puede llegar a tener el

efecto llamado “isla de calor” lo cual produce vientos locales, como los de la figura 17. Esta es la razón por la que muchas mediciones eólicas de referencia tomadas en los centros de meteorología urbanos, no son útiles para poder predecir comportamientos. (**Potencia Eolica**)

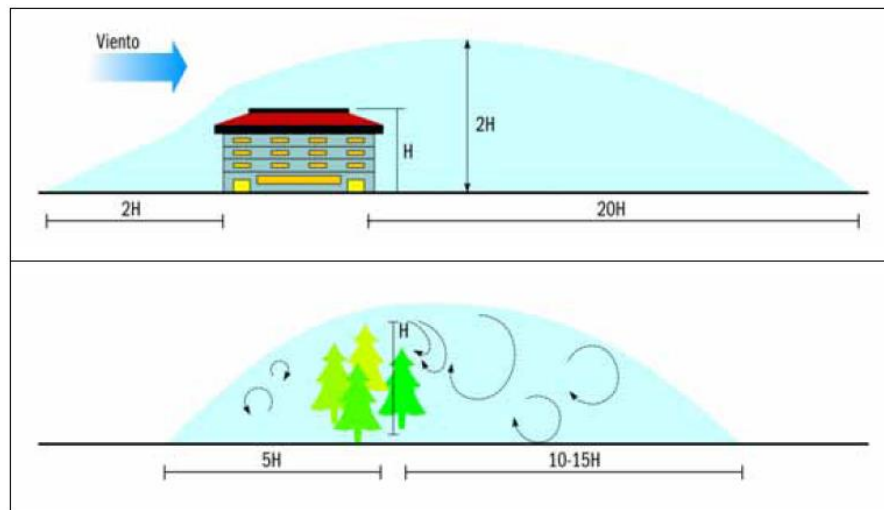


Fig.17. Efecto de los obstáculos sobre la velocidad del viento en un sitio.

### 3.2.4.5.5. Estimación del recurso.

La cantidad de energía (mecánica o eléctrica) que pueda generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de instalación. De hecho, la producción puede variar en un factor de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud.

#### 3.2.4.5.5.1. Velocidad del viento.

Es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia. Además, la velocidad varía directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas,



árboles, edificios y otros objetos. Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este es, aproximadamente, de 3,5 metros por segundo (m/s); para turbinas grandes, 6 m/s, como mínimo.

#### **3.2.4.5.2. Características del viento (turbulencia).**

Esto consiste en los modelos de viento globales que ponen el aire en movimiento y determinan, a grandes rasgos, el recurso del viento en una región, rasgos Topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.

#### **3.2.4.6.5.3. Densidad del aire.**

Las temperaturas bajas producen una densidad del aire más alta. Mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y más fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia, para una velocidad del viento dada. ([bun-ca.org](http://bun-ca.org))

#### **3.2.4.5.6. Determinación del potencial eólico de un país o región.**

La determinación del potencial Eolo energético de un país o región, obedece a un proceso de adquisición, compilación, procesamiento e interpretación de información muy complejo en términos cuantitativos y cualitativos. Este proceso presenta las facetas siguientes:

1. Confección del Mapa Eólico, basado en información de larga data del viento, medida, registrada y almacenada por el servicio meteorológico profesional, donde se recogen a gran escala las velocidades y densidades de potencia del viento en todo el territorio regional o nacional.
2. Elaboración del Mapa de Indicadores Indirectos o evidencias de regímenes interesantes del viento en territorios seleccionados, basados en un trabajo de exploración inicial, fundamentado, en la inspección visual de evidencia geológica, ecológica, así como encuestas a los pobladores.



3. Prospección eólica, a nivel de estudio de prefactibilidad, que comprende estudios Topográficos y mediciones anemométricas a diferentes alturas, durante no menos de un año, orientados a estimar del potencial eoloenergético de sitios que los estudios anteriores han identificado como promisorios. ([ecovida.pinar.cu](http://ecovida.pinar.cu))

### 3.2.4.5.7. La energía en el viento.

La energía en el viento es cinética. Su valor es el producto de la masa por  $\frac{1}{2}$  del cuadrado de la velocidad del viento "V". La masa contenida en una unidad de volumen [ $1\text{m}^3$ ] de aire se define como la densidad  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] del aire. Entonces, la energía cinética por unidad de volumen (o sea la contenida en una unidad de volumen) es igual a:

$$e_c = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \quad \left[ \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right] \quad (5.0)$$

El volumen que por segundo pasa a través de un área A [ $\text{m}^2$ ] normal a la dirección de la velocidad del viento es igual al producto AV [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. Entonces el flujo de energía por segundo, o sea, la potencia a través de un área A es igual a:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times V\Delta = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3\Delta \quad [\text{W}] \quad (6.0)$$

De esta manera la potencia del viento varía con el cubo (la tercera potencia) de su velocidad; por ejemplo, si ésta se duplica, la potencia contenida en el viento es  $2 \times 3 = 6 \rightarrow 2 \times 2 \times 2 = 8$  veces más alta. Asimismo, la energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen. En otras palabras, cuanto "más pesado" sea el aire, más energía recibirá la turbina. A presión atmosférica normal y a  $15^\circ\text{C}$  el aire pesa unos 1,225 kilogramos por metro cúbico, aunque la densidad disminuye ligeramente con el aumento de la humedad. Además, el aire es más denso cuando hace frío que cuando hace calor: a grandes altitudes (en las montañas) la presión es más baja y éste es menos denso.

### 3.2.4.5.8. Transformación de la energía.

El dispositivo que se utiliza para aprovechar la energía contenida en el viento y transformarla en eléctrica es la turbina eólica. Una turbina obtiene su potencia de entrada



convirtiendo la energía cinética del viento en un par (fuerza de giro), el cual actúa sobre las palas o hélices de su rotor. Para la producción de electricidad la energía rotacional es convertida en eléctrica por el generador que posee una turbina; en este caso, llamado aerogenerador.

#### **3.2.4.5.9. Aspectos ambientales.**

Existe un amplio consenso en nuestra sociedad sobre el alto grado de compatibilidad entre las instalaciones eólicas y la capacidad de carga de los ecosistemas naturales. En comparación con las fuentes de energía convencionales, los impactos ambientales de la energía eólica son locales y, por lo tanto se pueden monitorear y mitigar con relativa facilidad. Las turbinas eólicas no emiten sustancias tóxicas o gases por lo que no causan contaminación del aire, del agua del suelo y no contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global. ([bun-ca.org](http://bun-ca.org))

#### **3.2.4.5.10. Interpolación espacial del viento.**

Para cada componente del viento, el método de interpolación espacial depende básicamente de: La densidad y distancia de las estaciones, la dirección predominante del viento. El viento como vector, tiene dirección y magnitud representada por su velocidad  $V$ , por lo tanto se puede descomponer en zonal  $u$  (sentido este-oeste) y meridional  $v$  (sentido nortesur).

Y serán cada una de estas componentes las que se interpolarán. En general, cuando se usa un software tipo Sistema de Información Geográfica (SIG), este suministra varios métodos de interpolación y ellos dependen básicamente de la densidad y la distancia entre los puntos de observación. El modelo meteorológico de mesoescala MM5 utiliza el método Cresman para interpolación espacial. Este método analiza la densidad de estaciones existentes, como las que se indica en el mapa de la figura 18, la distancia entre ellas y tiene en cuenta la resolución del terreno y de los campos de primera aproximación para la meteorología. Finalmente recomienda que los radios de influencia en los métodos de interpolación tengan que ser comparables con las distancias en las estaciones. Con base en

este criterio y teniendo en cuenta que la información de otros campos medios que se necesitaron para el cálculo de energía, como los de temperatura. **(Interpolacion Espacial)**



Fig.18. Estaciones meteorológicas que contienen datos de velocidad del viento.

### 3.2.4.5.11. Escala de Beaufort, de velocidades aproximadas.

En la Meteorología, existe desde hace largo tiempo la escala de Beaufort que va del 0 al 12 para la estimación subjetiva de la fuerza de los vientos a partir de sus efectos observables a simple vista, en tierra, en el mar abierto o en la costa. Los efectos observables del viento en tierra, establecidos por la escala Beaufort, se explican en la tabla.4. En la propia tabla se dan los valores correspondientes de velocidad media  $v_s$  del viento a una altura de 10 metros. (ecovida.pinar.cu)



**Tabla 4:** Fuerza del viento según la escala de Beaufort, con la velocidad correspondiente.

<b>Fuerza del viento, Beaufort.</b>		<b>Efectos observables del viento, en tierra</b>	<b>°vs, m/s</b>
<b>Grado</b>	<b>Término descriptivo</b>		
0	Calma	El humo se eleva verticalmente	< 0.20
1	Aire ligero	El humo se inclina, pero la veleta no se mueve	0.837
2	Brisa ligera	El rostro percibe el roce del viento, y susurra el follaje	2.37
3	Brisa suave	El follaje se agita, y ondean las banderas ligeras	4.35
4	Brisa moderada	Oscilan las ramas, vuelan el polvo y los papeles sueltos	6.70
5	Brisa fresca	Comienzan a oscilar las copas de los árboles pequeños	9.36
6	Brisa fuerte	Oscilan las ramas gruesas, y silba el tendido eléctrico	12.3
7	Cuasi galerna	Oscilan todos los árboles y es incómodo caminar frente al viento	15.5
8	Galerna	Se quiebran ramas de los árboles, y casi no se puede caminar	18.9
9	Galerna severa	Vuelan tejas y caen tubos de chimeneas y desagües	22.6
10	Tormenta	Árboles arrancados de raíz, daño estructural considerable	26.5
11	Tormenta violenta	Estragos generalizados	30.5
12	Huracán	Estragos catastróficos	34.8

#### **3.2.4.5.12. Estimación de la velocidad media anual del viento en función de indicadores biológicos.**

La falta de información del recurso eólico hace imposible, muchas veces, desarrollar proyectos basados en la generación eólica. Para tal fin se ha desarrollado una metodología que determine la velocidad media anual del viento en función de indicadores biológicos.

El estudio de la deformación del árbol indica que los árboles son una herramienta útil para determinar la dirección predominante del viento, identifica áreas donde el viento es severo





y/o donde ocurren descargas de hielo, y para estimar la velocidad media anual del viento. Las estimaciones de la velocidad media anual del viento basadas en la deformación eólica de los árboles, aunque sujetas a algunas imprecisiones, son simples, rápidas, y de criterio económico para identificar localidades donde las dimensiones más destacadas del viento lo justifican, y como una guía preliminar para clasificar los sitios con semestres de potencial de energía eólica.

A través de la observación directa o indirecta con la toma de fotografías y la digitalización se puede realizar un perfecto análisis del área de deformación que ha desarrollado la especie por efecto del viento.

#### **3.2.4.5.12.1. La vegetación como un indicador de altas velocidades de viento.**

El viento constituye una gran fuente, prácticamente inexplorada, de energía limpia e irremplazable. Uno de los obstáculos importantes en la utilización de este recurso energético ha sido el costo. Hasta ahora el costo de la conversión de energía eólica ha sido alto, comparado al de los combustibles fósiles. Sin embargo, debido a los ascendentes costos de los combustibles fósiles, los sistemas de conversión de energía eólica se transforman en un costo competitivo y, cuando se combina con la energía hidráulica se transforma en una fuente más barata de generación que las fósiles. La utilización de los sistemas conversores de energía eólica en las poblaciones rurales dispersas y en Aldeas Escolares, (poblaciones aisladas las cuales nunca tendrán acceso a ningún tipo de servicio público eléctrico) además, está demostrando que es altamente competitiva con respecto a la generación térmica. El empleo efectivo del recurso eólico requiere de la fácil identificación de los mejores sitios de aprovechamiento.

Uno de los problemas para la determinación del potencial de energía eólica es la ausencia de datos reales de viento en ubicaciones de posibles vientos fuertes. Debido a que la energía es proporcional al cubo de la velocidad del viento, es crucial conocer la fuerza de los vientos en los lugares considerados. El desarrollo de métodos económicos y rápidos para la selección de lugares óptimos es esencial para que la energía eólica pueda ser ampliamente competitiva con fuentes convencionales de energía. Una posibilidad prometedora es el uso de indicadores biológicos en la selección de sitios para sistemas de



conversión de energía eólica. El objetivo del presente estudio fue desarrollar métodos de utilización de la vegetación deformada por el viento para la selección de sitios óptimos para el aprovechamiento de la energía eólica. Cinco índices diferentes de los efectos del viento sobre los árboles se han desarrollado en el ámbito planetario y actualmente algunos de ellos están siendo calibrados teniendo en cuenta las características diversas de los vientos.

Los resultados hasta el momento indican que tres de los cinco índices de los efectos del viento sobre los árboles parecen ser los mejores indicadores de velocidades significantes de viento. Entre los factores que afectan la respuesta de estos indicadores están la exposición, la inclinación y el tipo o especie de árbol. Un análisis preliminar que usa datos limitados de viento disponible, indica que los índices son más sensibles a los vientos con una dirección predominante que al viento desde todas las direcciones.

#### **3.2.4.5.12.2. Indicadores biológicos del potencial de la energía del viento.**

En áreas de vientos persistentes, los procesos fisiológicos y bioquímicos pueden causar cambios permanentes en el desarrollo de las plantas. Los cambios pueden ser morfológicos, ejemplo: cambios en la forma de la planta; o anatómico, ejemplo: cambios en la estructura de la célula de la planta. Entre los muchos efectos del viento en el crecimiento de las plantas, en particular, los efectos del viento en la morfología y anatomía de los árboles resulta ser el más útil para la prospección del potencial eólico (Hewson, Wade y Baker 1979). Basada en estos efectos, la información del viento puede ajustarse a diferentes escalas en el espacio:

Pequeño. Donde el viento ha deformado permanentemente un árbol solo o arbusto.

Regional. Donde el viento ha deformado un número de árboles que; proporciona un bajo perfil aerodinámico en el mapa a causa del flujo.

Grande. Donde el uso apropiado de técnicas con sensores remotos puede demostrar efectos notables del viento en comunidades de plantas dentro de un área. **(Rosenfeld y Maule 1979)**



### 3.2.4.5.12.3. Descripción de los índices de deformación del viento.

Se han desarrollado cinco índices de los efectos del viento sobre los árboles que han sido probados para determinar la relación entre el viento, y el valor de las características de los índices. Cada índice provee fácilmente un resultado, un número unidimensional que cuando es calibrado brinda un acercamiento de la característica del viento responsable del efecto sobre los árboles. A continuación se definen cada uno de éstos índices.

La excentricidad (E): un indicador de la desviación de la circularidad del tronco de un árbol. La excentricidad se define como E:

$$E = \frac{(A^2 - B^2)}{A} \quad (7.0)$$

Dónde:

2A = eje mayor del árbol

2B = eje menor del árbol

El índice de Forma (S): una medida de la influencia relativa del viento sobre el radio y extensión del crecimiento del tronco. La relación es calculada al dividir la circunferencia del árbol en 1.5 m por su altura.

Relación Griggs - Putnam del tipo de deformación (escala subjetiva de clasificación parecida a la que desarrolló Putnam (1948). A cada árbol se da una clasificación con base en las características de su deformación eólica.

La Relación de Deformación (D): un indicador del grado de viento que induce a deformar un árbol. Se calcula una relación entre el ángulo (el ángulo entre la copa y el tronco del lado de sotavento del árbol) y el ángulo (el ángulo entre la copa y el tronco del lado de barlovento del árbol).

La Relación de Compresión (C): un indicador de la influencia del viento sobre la deformación de la madera de reacción. La relación es calculada al tomar el incremento anual de crecimiento del tronco sobre el lado de sotavento del árbol y dividirlo por el incremento de crecimiento del lado de barlovento del árbol.



El Índice Griggs-Putnam es históricamente el primer índice de los efectos del viento en la configuración de los árboles. Este Índice (Figura 19) es una escala subjetiva basado en el grado de respuesta del árbol hacia el viento. El índice se divide en ocho clases:

Clase 0, Ningún Efecto. Un examen cuidadoso de agujas, ramitas, y ramas indica que el viento no ha tenido ninguna influencia notable en el árbol.

Clase I, Efecto Peinado. Las ramas pequeñas y agujas aparecen inclinadas fuera del predominio de la dirección del viento. La copa del árbol debe aparecer ligeramente asimétrica.

Clase II, Ligeramente Abanderado. Las pequeñas ramas y los extremos de las ramas más grandes se doblan por el viento, dándole a la copa del árbol una notable asimetría.

Clase III, Moderadamente Abanderado. Se doblan las ramas grandes hacia los bordes de sotavento del árbol, lo mismo ocurre en los laterales de la copa.

Clase IV, Fuertemente Abanderado. Todas las ramas están a sotavento y el tronco esta descubierto del lado de barlovento. El árbol parece una bandera.

Clase V, Parcialmente inclinado. El tronco del árbol está parcialmente inclinado, así como las ramas, se dobla al reparo del mismo. El tronco se dobla en forma cóncava o convexa, se acrecienta el grado de inclinación del árbol, acercando la copa y el tronco al suelo.

Clase VI, Completamente Inclinado. El árbol crece casi paralelo al suelo por el predominio de la dirección del viento. Las ramas más grandes se extienden del lado de sotavento, más allá del extremo del tronco.

Clase VII, Efecto Alfombra. El viento es muy fuerte y está acompañado de condiciones muy severas, por ejemplo las heladas, tomando el árbol forma de arbusto. Se pierde el desarrollo del árbol en forma simétrica; es predominante el crecimiento lateral, arras del suelo. La copa crece sobre la tierra como un postrado arbusto.

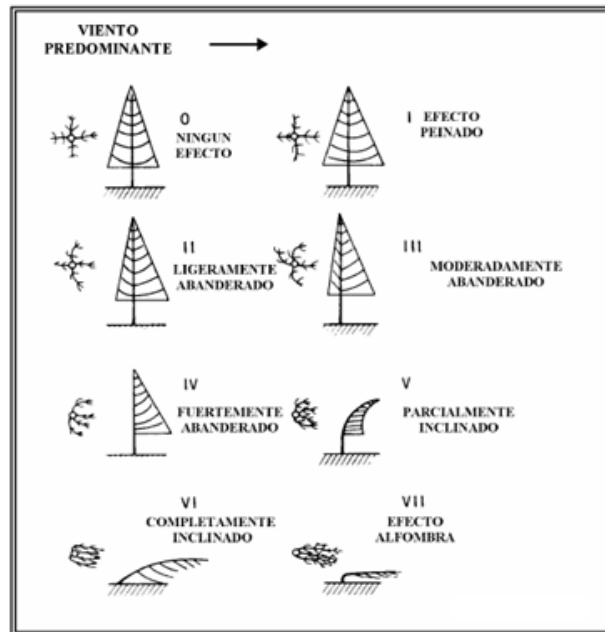


Fig.19. Índice de deformación desarrollado por Ponce, Roberts, Mattio.

**3.2.4.5.12.4. Determinación del índice de deformación.**

La relación de deformación (D) mide el nivel de asimetría de la corona y la desviación del tronco principal. Este índice puede ser calculado mediante dos metodologías distintas. La primera en forma manual mediante la medición de los distintos ángulos de deformación sobre las fotografías tomadas. La segunda consiste en la digitalización de las mismas para corroborar los posibles errores de medición.

La ecuación que computa el porcentaje de deformación (D) para coníferas (Casuarina, Pino, Ciprés) es la siguiente:

$$D = \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\gamma}{45} \tag{8.0}$$

Dónde:

**α** es el ángulo formado por el borde de la copa y el tronco del lado de sotavento.

**β** es el ángulo formado por el borde de la copa y el tronco del lado de barlovento y.

**γ** es el ángulo promedio de la desviación del tronco hasta el borde de la copa (Figuras 20 y 21)



Para árboles de copa esférica (eucalipto) la relación de deformación es dada por D:

$$D = \frac{A}{B} + \frac{C}{45^\circ} \quad (9.0)$$

Dónde:

**A** es la distancia media del perímetro de la copa del lado de sotavento.

**B** es la distancia media del perímetro de la copa del lado de barlovento y

**C** es el ángulo medio del perímetro de la copa y el tronco, a sotavento (Figuras.20, y 22).

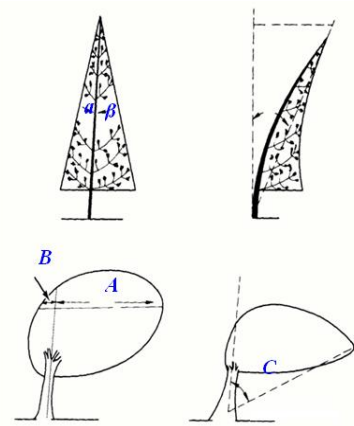


Figura.20. Técnica para computar el índice de la proporción de deformación para coníferas y árboles de copa hemisférica.



Fig.21. Ángulo promedio de la desviación del tronco hasta el borde de la copa en la Casuarina, por (Rawson - Chubut)

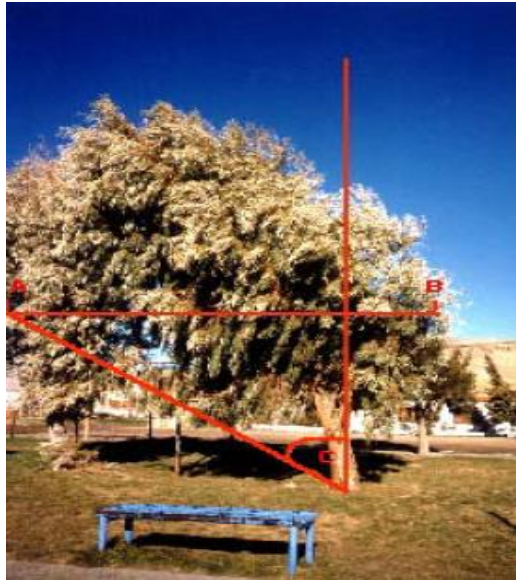


Fig.22. Ángulo medio del perímetro de la copa y el tronco, a sotavento en Eucalipto por (Comodoro Rivadavia- Chubut)

Por último cabe resaltar, que el procedimiento necesario para que se desarrollen valores de índice para cada árbol involucra ante todo un examen físico del árbol y su ambiente; que incluye frecuencia y dirección del viento que induce al abanderamiento, la vegetación resguardante cercana que puede afectar la forma del árbol, e influencias del terreno que puedan afectar la forma del tronco.

Para tal fin se deben realizar distintos reconocimientos de las áreas de trabajo, involucrando todas las especies fitogeográficas. De dichas visitas se llega a establecer que no todas las especies se comportan de la misma forma ante el efecto del viento. Por tal motivo se determinó que las que mejores se comportaban al abanderamiento producido por el viento eran las siguientes: la Casuarina, el Pino, el Eucalipto y el Ciprés. Se deben tomar fotografías perpendicularmente a la dirección en que el árbol se inclina para luego analizar en el laboratorio el grado de abanderamiento eólico, que determinará el índice de deformación (D) de cada una.

A su vez, se selecciona una rama de cada área resguardante y dos ramas de las áreas desprotegidas de pantallas o barreras. Estas ramas deberán ser dibujadas y descritas en las distintas planillas de muestreo. Se debe destacar que no debe tenerse en cuenta la



vegetación cercana al mar debido a que el daño de la sal en áreas costeras puede, por un lado, reforzar el grado de deformación y por el otro, producir un valor erróneo de la inclinación del árbol como consecuencia del rechazo al salitre. Los árboles costeros deformados por el viento pueden ser comparados unos a otros, pero no deben ser comparados con árboles con deformación eólica de localidades no costeras. Sobre un número limitado de muestras es posible que deban ser desechadas un porcentaje de las mismas. Los criterios que determinan su eliminación pueden ser:

- Falta de luminosidad, que determina una idea errónea de los ángulos de deformación.
- Falta de perpendicularidad al árbol, debido a falta de espacio en la toma de la foto.
- Árbol demasiado bajo.
- Falta de representación de abanderamiento.
- Dificultad en obtener los ángulos de deformación tanto de las copas como del tronco.
- Duda de la ubicación geográfica exacta del árbol.

#### 3.2.4.5.12.5. Determinación de la velocidad media anual del viento a 10 mts.

Una vez calculado el índice de Deformación, la velocidad media anual del viento a 10 mts de altura sobre el nivel del suelo surge de las siguientes ecuaciones de la tabla 5. Que las han determinado a partir de un modelo de regresión lineal.

**Tabla 5:** Valores de velocidades medias anuales, tomadas de un modelo de regresión lineal.

Tipo de árbol	Velocidad media anual	Rango de error.
<b>CASUARINAS.</b>	$V \text{ estimada.} = 4.075 + 1.135D$	(rms Error $\pm 0.147$ m/s)
<b>PINO.</b>	$V \text{ estimada.} = 3.13 + 1.64D$	(rms Error $\pm 0.34$ m/s)
<b>EUCALIPTO.</b>	$V \text{ estimada.} = 3.62 + 0.46D$	(rms Error $\pm 0.43$ m/s)
<b>CIPRÉS.</b>	$V \text{ estimada.} = 4.05 + 1.30D$	(rms Error $\pm 0.40$ m/s)

No se pudo encontrar una fórmula de deformación de arbustos que sea representativa de ésta en función de la velocidad media anual del viento. De las observaciones realizadas y de los estudios realizados por Mattio (1994), se ha llegado a la conclusión que las especies arbustivas de la Figura 23. Tienen la siguiente relación entre su abanderamiento y la velocidad media anual del viento:



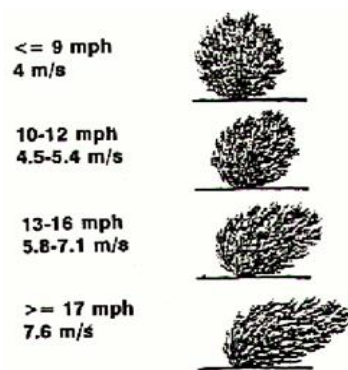


Fig.23. Índice de deformación de los arbustos.

También se ha encontrado que un observador adiestrado puede a simple vista encontrar la siguiente relación, de la Figura 24. Entre el abanderamiento de los pinos y la velocidad del viento; relación estrechamente ligada al índice Griggs-Putnam: ([igeográficapat.org](http://igeográficapat.org))

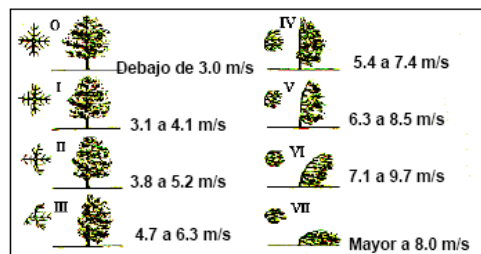


Fig.24. Relación entre el abanderamiento de los pinos y la velocidad del viento.

### 3.2.4.6. Energía hídrica.

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona pero para la que se necesita construir infraestructuras necesarias que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas. Por lo cual actualmente se está realizando estudios, que permitan construir sistemas minihidroeléctricas como, las que se indica en la figura 25. ([Wikipedia](https://es.wikipedia.org))



Fig.25. Mini hidroeléctrica Típica.

### 3.2.4.6.1. Hidrometría.

La hidrometría es una parte de la hidrología que mide el volumen de agua que circula por una sección de un conducto en un tiempo dado. El nombre deriva del griego hydro (agua) y metron (medida).

Además de medir la cantidad de agua que circula por la sección de un río, tubería o canal, también se ocupa de procesar la información sobre los sistemas de riego o la distribución de agua en una ciudad, con el fin de conocer la cantidad de agua disponible y la eficiencia de su distribución. Los procedimientos de empleo más generalizados para el aforo de corrientes de agua en sistemas de riego se basan en estimar la velocidad media en una sección correspondiente:

$$Q = A \times v \quad (10.0)$$

Donde:

Q= Caudal, medido en m<sup>3</sup> por segundo.

A= Área de la sección transversal, medida en m<sup>2</sup>.

v= Velocidad media del agua, medida en metros por segundo.

#### 3.2.4.6.1.1. Cuenca hidrográfica.

Una cuenca hidrográfica es un área de terreno que drena agua en un punto común, como un riachuelo, arroyo, río o lago cercano. Cada cuenca pequeña drena agua en una cuenca mayor que, eventualmente, desemboca en el océano, la cuenca hidrográfica se define como

una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados. También se define como una unidad conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve, como se puede observar en la figura 26. (Wikipedia)

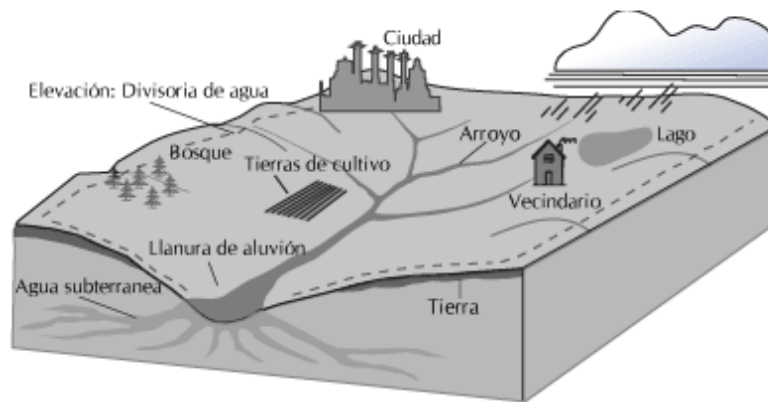


Fig.26. Sistema típico de una cuenca hidrográfica.

### 3.2.4.6.1.2. Valores de caudal mínimo para utilizar pico turbinas.

Un criterio utilizado para agrupar pequeños proyectos hidroeléctricos es el de la tabla 6. Que indica la potencia de generación.

**Tabla 6:** Potencia de generación de pequeños proyectos.

Tamaño / Potencia	Usos: Aplicaciones
Nano- o pico hidro: menos de 1 KW	Para uso familiar y aplicaciones mecánicas.
Micro- hidro: de 1 a 100 KW	Para una red eléctrica comunal (sistema aislado).
Mini- hidro: de 100 a 1.000 KW	Para varias comunidades dentro de un radio de 10 a 40 km, y/o conexión a la red nacional.
Pequeña central: de 1 a 5 MW	Para una pequeña ciudad y comunidades aledañas, además de conexión a la red.

### 3.2.4.6.2. Disponibilidad de recursos hidroenergéticos.

Para determinar la disponibilidad de los recursos hidroenergéticos, hay que determinar tres parámetros indispensables.



1. Apreciación cualitativa de:

- Precipitaciones e hidrología (caudal).
- Terreno (saltos).
- Características geológicas y geomorfológicas cualitativas del territorio (estudios geotécnicos que incluya un análisis de estudios de suelos y estudio de la forma de la corteza terrestre o geomorfología).
- Accidentes geográficos (fallas, zonas de deslizamiento, otros).

2. Estimación (si fuera posible) del orden de magnitud del potencial total de la cuenca.

3. Análisis por zonas o regiones. Como parte del análisis se debe hacer una evaluación del medio físico, es decir el conocimiento de las condiciones naturales del medio; se deben analizar los indicadores meteorológicos y las características físicas de toda la cuenca. Lo ideal sería contar con registros históricos de caudales provenientes de una estación hidrométrica, aunque existen metodologías especiales para los casos en que se desarrollen proyectos en una zona en que no se dispone de ningún tipo de registro hidrometeorológico.

Para nano- y micro-centrales usualmente se analizan caudales menores a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  y los estudios no deben ser muy exhaustivos. En el caso de mini y pequeñas centrales, los caudales deben tener mayores rangos.

#### **3.2.4.6.3. Ubicación de los recursos hídricos con respecto de la demanda.**

Para ubicar los recursos hídricos con respecto a la demanda se debe tener en cuenta los aspectos siguientes:

**Considerar**, que el aprovechamiento hídrico para pequeñas centrales aisladas debe ser próximo al punto de demanda.

**Evaluar**, potencial en zonas próximas a la demanda. Donde los costos de distribución de la energía producida deben equilibrarse con los costos de producción, por lo que se debe seleccionar para el emplazamiento de las obras un sitio que se ubique cerca de zonas con demanda de electricidad.



#### **3.2.4.6.4. Accesibilidad de los recursos disponibles.**

Para determinar la accesibilidad de los recursos disponibles, hay que evaluar: Vías de comunicación, Condiciones del clima, Salubridad de la zona y del agua del río. Como parte del estudio de un proyecto a pequeña escala, se deben realizar visitas a los lugares de emplazamiento de las obras para identificar el mejor sitio para el desarrollo del aprovechamiento del recurso hídrico y determinar la ubicación de los componentes de las obras: tubería de presión, sala de máquina, obras de bocatoma, etc. Además, se deben determinar los accesos de que dispone la zona para planificar los recursos disponibles y evitar destinar fondos en planes de infraestructura vial. Es por ello conveniente que se determinen distancias y estado de los caminos.

#### **3.2.4.6.5. Identificación del potencial para generación hidroeléctrica.**

La potencia de una instalación hidroeléctrica está en función de las siguientes variables o condiciones:

- El caudal del río o la cuenca o sea la cantidad de agua pasando en un periodo fijo, generalmente medido en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ).
- La caída, o la diferencia en altura entre la toma de agua y la turbina.
- Las pérdidas por fricción entre la toma de agua y la turbina.
- La eficiencia de la turbina y el generador.

El caudal puede variar considerablemente a lo largo del año, por lo que es necesario conocer la magnitud del caudal durante ese periodo para poder así fijar la potencia. Para proyectos grandes se debe conocer los datos de varios años anteriores, en el caso de proyectos pequeños, primero se debe determinar la necesidad de energía y potencia eléctrica para definir la necesidad de caudal y luego verificar si el río puede abastecer el flujo requerido. A continuación, se mencionan los elementos de análisis por considerar en la identificación del potencial hidroenergético en pequeña escala aprovechable para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica. (**bun-ca.org**)



### **3.3. Modelo de visualización.**

La visualización de datos dinámicos es junto con la interfaz de usuario gráfico, las bases de datos, el espacio navegable y la simulación, una de las formas culturales realmente nuevas que los ordenadores han hecho posible. Asimismo, ha posibilitado toda una serie de nuevas técnicas de visualización y de usos para éstas. Por medio del ordenador podemos visualizar conjuntos de datos mucho mayores; crear visualizaciones dinámicas (es decir, animadas e interactivas), introducir datos en tiempo real y basar la representación de datos en su análisis matemático, utilizando toda una variedad de métodos, desde la estadística clásica a la minería de datos, para mapear un tipo de representación sobre otro (por ejemplo, las imágenes sobre los sonidos, los sonidos sobre los espacios en tres dimensiones, etc.)

En las últimas décadas, el uso de ordenadores para la visualización ha permitido desarrollar nuevos paradigmas científicos, como las teorías del caos y la complejidad y la vida artificial.

Utilizaré el término visualización para las situaciones en las que unos datos cuantificados, que no son visuales en sí mismos, el resultado de sensores meteorológicos, la conducta del mercado de valores, el conjunto de direcciones que describen la trayectoria de un mensaje a través de una red de ordenadores, etc., se transforman en representaciones visuales.

El concepto de mapeado se parece mucho al de visualización pero vale la pena diferenciarlos. Al representar todos los datos utilizando el mismo código numérico, los ordenadores facilitan el mapeado de una representación sobre otra: una imagen en escala de grises sobre una superficie en tres dimensiones, una onda sonora sobre una imagen. Así pues, la visualización se puede entender como un subconjunto particular del mapeado en el que una serie de datos se mapea sobre una imagen.

#### **3.3.1. Sistemas de información geográfica en el campo de las energías renovables.**

Hoy en día son numerosos los proyectos que, desde el campo de las energías renovables, toman como base de su análisis a los sistemas de información geográfica. Muchos de ellos tienen un carácter sectorial y buscan la aplicación de los SIG a la resolución de problemas de localización o de evaluación de recursos para fuentes concretas. En este campo destacan

los estudios para la localización de emplazamientos de parques eólicos, la electrificación con energía solar fotovoltaica. En ocasiones, se han incorporado SIG comerciales (IDRISI) con los que se pretende realizar un análisis más global de las posibilidades de explotación de los recursos. En algunos casos, el estudio se centra en la propia evaluación de los recursos disponibles teniendo en cuenta las limitaciones para la instalación de parques y con el principal objetivo de elaborar un mapa de recursos eólicos. ([cvu.rediris.es](http://cvu.rediris.es))

### 3.3.2. Teledetección aplicada a los Recursos Naturales.

Como se detalla en la figura 27, la teledetección es una técnica que permite adquirir información de los elementos de la superficie terrestre a distancia, es decir, sin tomar contacto con ellos. En el caso de la teledetección espacial aplicada a la observación de la superficie terrestre, la adquisición se da a través de sensores montados sobre satélites que tienen un recorrido fijo sobre la tierra, en altitudes que varían entre los 400 y 900 kilómetros.

A través de las imágenes proporcionadas por los satélites que surcan el espacio, es posible obtener una cobertura de la tierra que de ninguna otra forma sería posible, logrando por esta vía identificar, analizar y estudiar fenómenos, cambios y alteraciones en el planeta

Las imágenes obtenidas a través de satélites ofrecen una perspectiva única de la Tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen las actividades humanas. Hoy, la teledetección satelital constituye una fuente de valiosa información con múltiples aplicaciones. ([mappinginteractivo](http://mappinginteractivo))



Figura.27. El sistema global de observación satelital.



### 3.3.3. Misión Topográfica de Radar Shuttle (SRTM) y sensor Modis.

La Misión Topográfica de radar a bordo del transbordador (acrónimo en inglés SRTM Shuttle Radar Topography Misión) que se detalla en la figura 28, es una misión para obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56 °S a 60 °N, de modo que genere una completa base de cartas Topográficas digitales de alta resolución de la Tierra.

Los modelos de elevación derivados de los datos del SRTM se usan con el software del GIS Sistema de Información Geográfica, que pueden accederse gratuitamente en internet.

La Misión Topográfica Shuttle Radar es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, NGA, y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA.

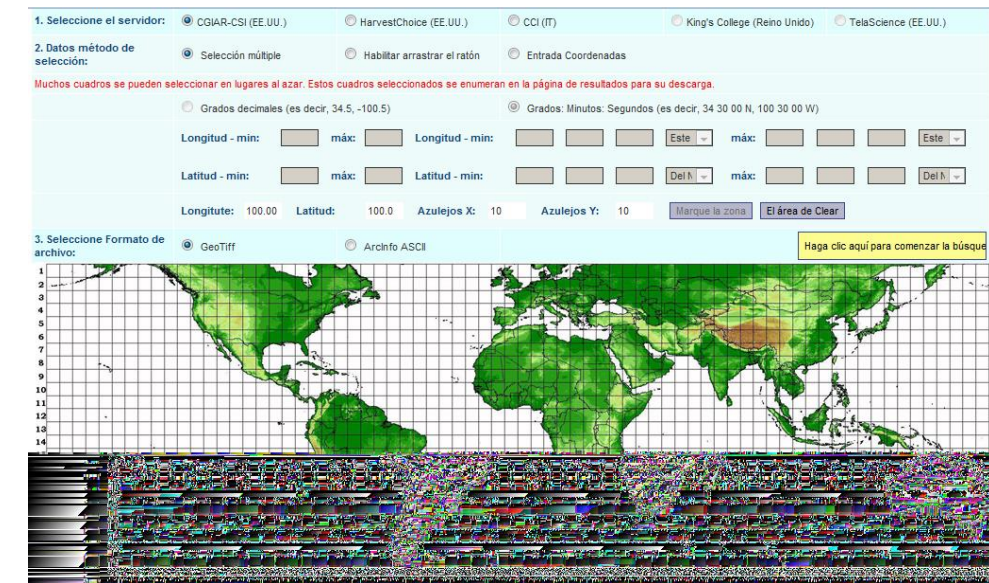


Fig.28. Pagina web de descarga del modelo numérico de altitud.

En diciembre de 1999, la NASA lanzó el satélite TERRA que tiene a bordo un sensor que se llama el Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer o MODIS, representado en la figura 29, el cual tiene varias aplicaciones (cobertura de la tierra, estudios meteorológicos, etc.)



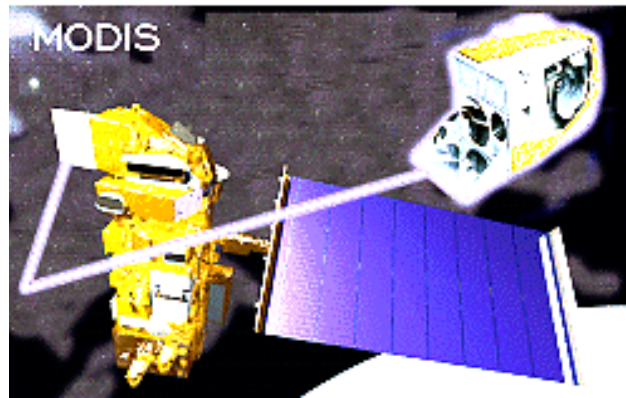


Fig. 29. Sensor MODIS a bordo del satélite TERRA.

### 3.3.4. Software Idrisi utilizado para el modelo de visualización.

IDRISÍ es una de las mejores herramientas analíticas y de modelaje en el mercado actual. Sigue su tradición de crear Modeladores para el análisis de variada información. Así como se hizo con el Land Change Modeler (LCM) de la versión Andes, el actual Earth Trends Modeler (ETM) nos permite obtener una visualización científica del comportamiento de nuestro planeta y sus cambios, tanto presentes como futuros, como se puede apreciar en la figura 30.

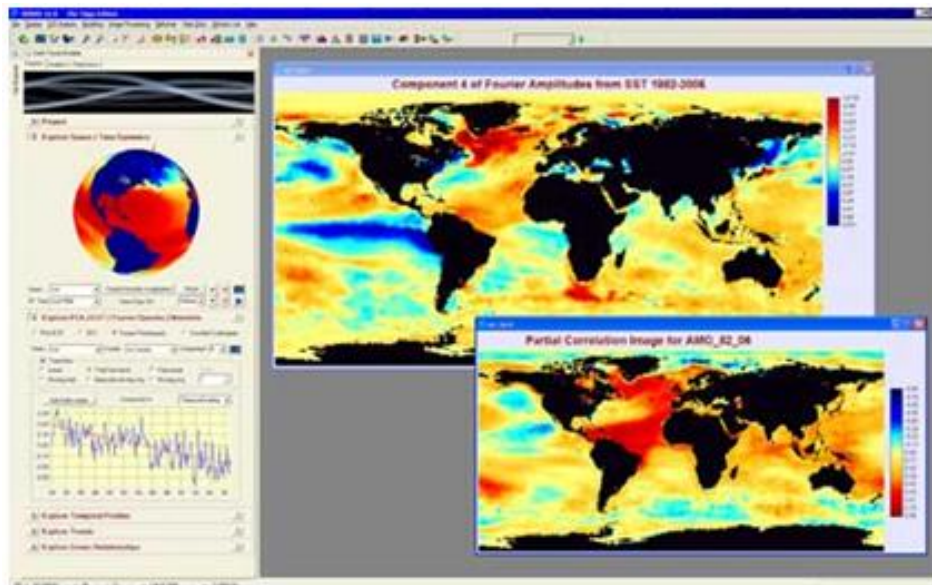


Fig.30. Procesamiento de imágenes en el módulo Earth Trends Modeler.

### 3.3.4.1. Proceso de Base de datos en Idrisi.

Una de las principales potencialidades del software es la de efectuar análisis de un territorio en función de los atributos que caracterizan dicha superficie. Usando métodos de reclasificación de los valores, utilizando la superposición de imágenes o a partir del cruce de tablas podemos llevar a cabo análisis multicriterio, que por ejemplo permiten establecer la mejor localización para un determinado servicio.

Podemos también cambiar el valor de nuestros datos así como calcular el área o el perímetro de superficies con un determinado valor. También podemos visualizar nuestros datos en forma de histograma, o estableciendo un perfil. La estructura de operación y trabajo, del software, la representamos en la figura 31. ([gisits.com](http://gisits.com))

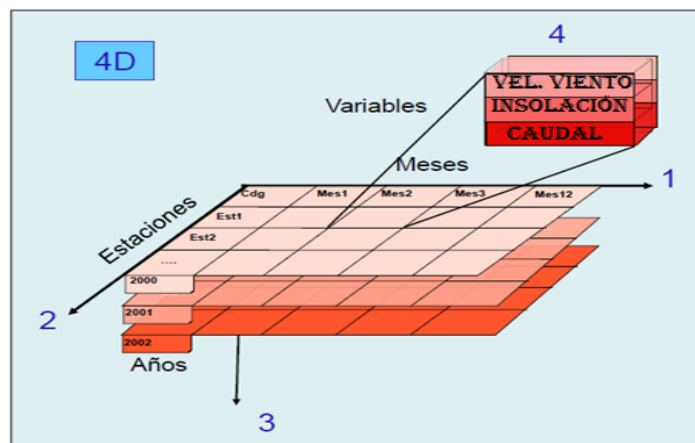


Fig.31. Estructura de la base de datos.

### 3.3.4.2. Tipos de formatos de imágenes utilizadas en IDRISI.

Los tipos de formatos más utilizados en el proceso de nuestra tesis para el tratamiento de imágenes como se indica en la figura 32, son:

**Vectorial,** Con la representación vectorial los límites o el curso de las características se definen por medio de una serie de puntos que, cuando se los une con líneas rectas, forman una representación de esa característica. Los puntos mismos están codificados en un par de números que forman las coordenadas X e Y en sistemas tales como la latitud/longitud o la grilla de coordenadas del Universal Transverse Mercator. Los atributos de las

características son almacenados entonces con un software tradicional de gestión de bases de datos. Por ejemplo, un mapa vectorial de parcelas de propiedad puede estar ligado a una base de datos de atributos con información que contiene la dirección, el nombre del dueño, el valor de la propiedad y el uso del suelo. El lazo entre estos dos archivos de datos puede ser un simple número de identificación que se le da a cada característica en el mapa.

**Raster,** La segunda forma de representación más importante es conocida como raster. Con los sistemas raster, la representación geográfica de características y de los atributos que éstas poseen se mezclan en archivos de datos unificados. En realidad, por lo general no definimos las características. Más aún, el área de estudio se divide en una fina red de una grilla de celdas en las que guardamos la condición o atributo de la superficie terrestre en ese momento. A cada celda se le da un valor numérico, el cual luego representará un identificador de característica, un código de atributo cualitativo o bien un valor de atributo cuantitativo. A pesar de que los datos que almacenamos en esta grilla de celdas no necesariamente se refieren al fenómeno que se puede observar en el ambiente, las grillas de datos pueden interpretarse como imágenes o capas, cada una ilustrando un tipo de información sobre la región comprendida en el mapa. Esta información puede ser visible a través de un visualizador raster. En un visualizador raster, tal como la pantalla de su computadora, también hay una grilla con pequeñas celdas llamadas pixeles.

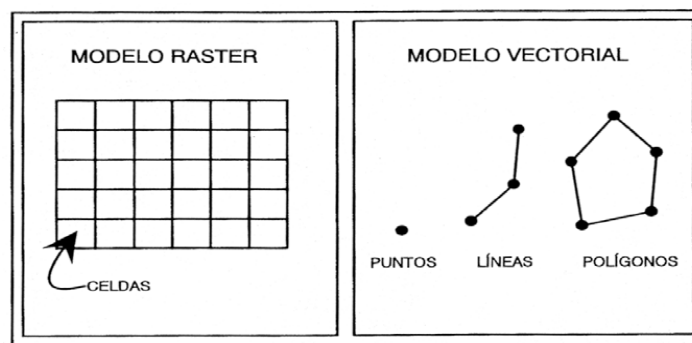


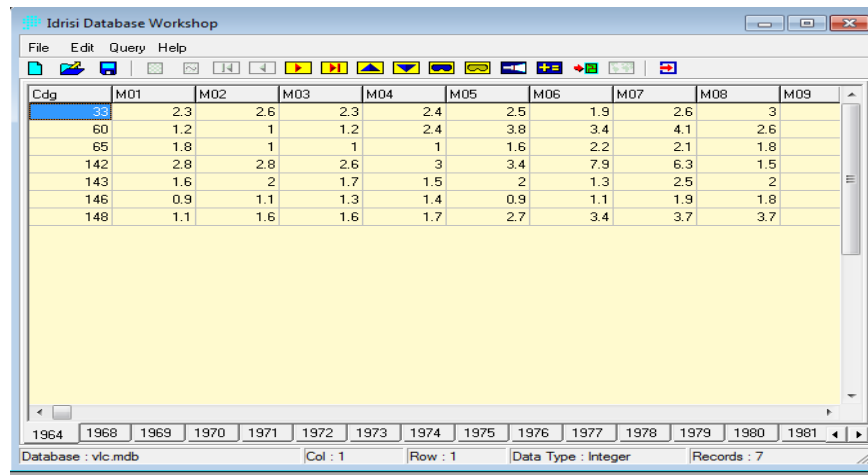
Fig.32. Las dos formas de representar objetos espaciales

### 3.3.4.3. Herramientas principales del software IDRISI.

Las principales herramientas del software IDRISI utilizadas en el presente trabajo las detallamos seguidamente.

### 3.3.4.3.1. Database Workshop.

Es el director de base de datos relacionados con IDRISI conecta archivos de característica de vector con base de base de datos, como se indica en la figura 33, provee la habilidad de crear, editar y analizar archivos dentro de IDRIS.



Cdg	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09
33	2.3	2.6	2.3	2.4	2.5	1.9	2.6	3	
60	1.2	1	1.2	2.4	3.8	3.4	4.1	2.6	
65	1.8	1	1	1	1.6	2.2	2.1	1.8	
142	2.8	2.8	2.6	3	3.4	7.9	6.3	1.5	
143	1.6	2	1.7	1.5	2	1.3	2.5	2	
146	0.9	1.1	1.3	1.4	0.9	1.1	1.9	1.8	
148	1.1	1.6	1.6	1.7	2.7	3.4	3.7	3.7	

Fig.33. Base de datos importada desde Idrisi.

### 3.3.4.3.2. Calculadora de imágenes.

Idrisi permite efectuar operaciones aritméticas (sumas, multiplicaciones, divisiones, etc.) o lógicas, mediante la calculadora de imágenes de la figura 34, con los valores de nuestras imágenes a fin de combinar determinadas características de nuestro territorio y hacer una lectura espacial de los resultados.

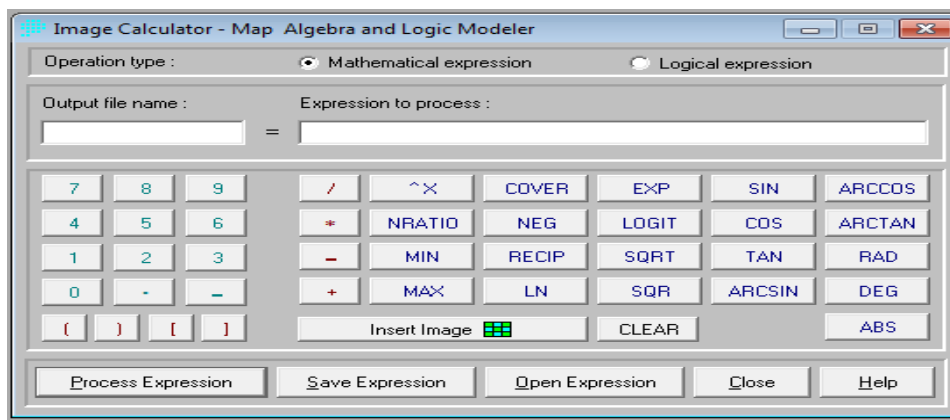


Fig.34. Calculadora de imágenes.

### 3.3.4.3.3. Earth Trends Modeler

Es una aplicación de IDRISI enfocada con el análisis de tendencias de la tierra con el tiempo, permite modelar y analizar las tendencias de la tierra y dinámica de los ecosistemas. El software está diseñado específicamente para la investigación del cambio global y el análisis, tales como la exploración de los fenómenos climáticos. Earth Trends Modeler de la figura 35, aprovecha el archivo extraordinario de los datos mundiales de imágenes de series de tiempo que está disponible actualmente. El ETM está especialmente diseñado para el análisis de series de imágenes procedentes de sistemas de observación terrestre, como por ejemplo NASA's Terra, Aqua Satellites o el satélite NASA/JAXA. Las herramientas implementadas en el ETM son fáciles de manejar.



Fig.35. Modelador de tendencias de la tierra y dinámica de los ecosistemas.



#### **3.3.4.4. Método de interpolación lineal: De Medias móviles con distancia ponderada (IDW).**

El método de interpolación de las medias móviles o Inverso de la distancia ponderada (Inverse Distance Weighting, IDW en sus siglas en inglés) asume que cada punto muestral tiene una influencia en su vecindad que disminuye con la distancia. Este método da más peso a los puntos más cercanos a la celda de la que se trata de obtener el valor que aquellos que están más alejados. Se puede utilizar, para la obtención de cada valor interpolado, los datos de un número específico de puntos conocidos o, por ejemplo, todos los puntos dentro de un radio preestablecido.

El método de interpolación del Inverso de la distancia ponderada o medias móviles es el método de interpolación más sencillo y además no lleva a cabo ningún análisis previo de autocorrelación de la variable a interpolar. Se identifica una vecindad alrededor de cada punto a interpolar y se toma una media ponderada que se aplica a los valores de observación dentro de esa vecindad. Los pesos decrecen en función de la distancia. El usuario tiene control, entre otros factores, sobre la expresión matemática o algoritmo que controla la interpolación, sobre la función de ponderación o sobre el tamaño de la vecindad (expresado como un número de puntos o un radio). A continuación se explican someramente cada uno de estos aspectos involucrados en este método de interpolación:

##### 1. Factor de ponderación:

La más sencilla función de ponderación es el inverso de la potencia:

$$d = \frac{1}{d^p} \quad (10.0)$$

Donde  $d$  es la distancia euclidiana entre el punto calculado y el punto muestral, y  $p$  es el factor de potencia, mayor que cero. El valor de  $p$  está especificado por el usuario. La elección más corriente, y la que aparece por defecto en el programa Idrisi, corresponde a un valor de  $p = 2$ . El exponente  $p$ , que afecta a la distancia, tiene el efecto de disminuir, al hacerse más grande, la influencia que en el cálculo de la interpolación ejercen los puntos maestres más alejados del punto a calcular.



2. La fórmula general utilizada para la interpolación de un punto determinado usando este método es la que se muestra a continuación: (**geográficagra.uah**)

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^p}} \quad (11.0)$$

Dónde:

Z es el valor del punto que se quiere interpolar

Z<sub>i</sub> es cada uno de los valores conocidos

N es el número de puntos conocidos utilizados en la interpolación.



## **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **4.1. Materiales.**

En el transcurso de la investigación se utilizó los siguientes equipos, softwares, e implementos.

- Anemómetro
- Piranómetro
- GPS
- Microsoft office Word
- Microsoft office Excel
- Microsoft office Access
- Microsoft office PowerPoint
- Bloc de notas.
- Traductores (Power Translator).
- Acrobat Reader 7.0
- Software Autocad
- Software Idrisi.





## 4.2. Métodos.

Se entrevistó al Ing. Jorge Maldonado responsable del "Programa de investigación en potencialidad y desarrollo de energías renovables a pequeña escala en los sectores rurales de la provincia de Loja que no disponen de electrificación." y al coordinador de investigaciones del AEIRNNR. Donde se recibieron orientaciones generales y se determinó las primeras actividades a realizar.

Aplicando el método sistemático se recolectó y sistematizó información de imágenes satelitales de altitudes presentadas por la Misión Topográfica de Radar Shuttle (SRTM), y de temperatura superficial terrestre (LST) del sensor Modis; un mapa de cobertura de la red eléctrica existente en la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A (EERSSA); bases de datos del atlas solar del Ecuador presentada por la Corporación de Investigación Energética (CIE); una base de datos de posiciones de estaciones meteorológicas e hidrométricas existente en el Centro de informática Agropecuaria de la Universidad Nacional de Loja (CINFA-UNL); como bases de datos de velocidad del viento existentes en estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en la Dirección de Aeronáutica Civil (DAC) y en el proyecto binacional Catamayo Chira, como también un mapa de vialidad existente en el departamento de Ordenamiento Territorial del Gobierno Provincial de Loja.

Asimismo, se identificó una metodología para estimar el potencial eólico en base a evidencias ecológicas, utilizada por la empresa Regional de Energías Renovables y desarrollo Humano (ENERSUR-EP) en el proyecto eólico Villonaco.

Mediante la técnica de observación de campo, se realizó visitas técnicas a los cantones de la provincia de Loja, que contenían sectores no electrificados según el mapa de cobertura de la EERSSA, con esto y con entrevistas realizadas en algunos municipios cantonales y secretarías de juntas parroquiales, se determinó los sectores de estudio.

Por medio del método sistemático, se determinó aplicar la metodología empírica de evidencias ecológicas en los sectores de investigación, donde se considere que existe el potencial eólico.



En los sectores de estudio, se inspeccionó y fotografió algunos árboles existentes para tratar de identificar deformaciones causadas por el viento en la vegetación.

Además se aplicó encuestas, se entrevistó a sus habitantes, y mediante la técnica de medición se recolectaron datos puntuales de velocidad del viento con el anemómetro digital, y de radiación solar con el piranómetro digital, para tratar de identificar los posibles potenciales existentes.

Con estos resultados se desarrolló el método empírico de evidencias ecológicas en el sector Miyugo.

Y finalmente para los sectores de investigación, mediante el método de la modelación en el software Idrisi, se realizó los modelos de visualización gráfica de los potenciales solar y eólico con datos existentes.



## **5. RESULTADOS.**

### **5.1. Resultados del desarrollo de los objetivos planteados.**

De la Misión Topográfica de Radar Suttle (SRTM) se obtuvo imágenes de altitudes de la provincia de Loja. Las imágenes permiten tener una perspectiva del relieve existente en los sectores de estudio.

Además del sensor (Modis) se obtuvo imágenes con información de la temperatura superficial terrestre.

En el mapa de cobertura eléctrica de la EERSSA se presenta información general de la red eléctrica correspondiente a la cobertura de electrificación, en la que se puede identificar qué sectores de la provincia de Loja no cuenta con electrificación. Dicho mapa ha sido realizado para ser presentado al CONELEC, con la finalidad que se financie su ejecución, con Fondos de Electrificación Rural y Urbano Marginal.

El Atlas solar elaborado por la CIE, presenta información de insolación difusa, directa y global del Ecuador correspondiente al período de 1985 a 1991. El referido Atlas tiene isohelias que permiten estimar el potencial solar en cualquier punto del Ecuador y especialmente en los sectores rurales de la provincia de Loja que son objeto del presente trabajo de tesis de grado. El atlas solar fue desarrollado por la CIE, la cual recolectó datos del laboratorio nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL), que los representó mediante un modelo numérico, formado de celdas con una resolución de 40 km<sup>2</sup>. El modelo numérico, mediante un SIG, fue procesado, hasta obtener celdas con una resolución de un 1km<sup>2</sup>.

La base de datos de ubicaciones de estaciones meteorológicas facilitada por el Centro de informática agropecuaria (CINFA-UNL) dispone nombres, coordenadas geográficas y decimales de ubicaciones de algunas estaciones instaladas en la provincia.

En las bases de datos proporcionadas por el Instituto Nacional de meteorología e Hidrología (INAMHI) existen de las estaciones: La Argelia, Catamayo, Saraguro, Malacatos, Cariamanga, Yangana, Celica, Amaluza, Zapotillo, Quilanga, durante el periodo



1982-2009. Estas bases de datos contienen información relacionada con el potencial eólico, solar, e hídrico.

Del proyecto Binacional Catamayo Chira, y de la dirección de aviación civil se obtuvo bases de datos meteorológicos, que contienen valores de velocidades medias del viento de las estaciones: La Argelia, Catamayo, Macara, Saraguro, Malacatos, Vilcabamba, Cariamanga, Celica, en el periodo 1964- 1988.

Y la información existente en el INAMHI, relacionada al potencial hídrico dispone bases de datos de caudales, donde la mayoría de estas se encuentran prácticamente vacías, y además no existen datos registrados en los sectores de investigación.

En tanto que en el mapa de vialidad existente en el departamento de ordenamiento Territorial del Gobierno provincial de Loja, se pueden identificar las diferentes vías, que comunican los cantones y parroquias de nuestra Provincia.

Las visitas técnicas planificadas y realizadas con el Ing. Jorge Maldonado a los sectores rurales no electrificados de los cantones: Zapotillo, Saraguro, Olmedo, Chaguarpamba, Catamayo, Gonzanamá, Quilanga, Espíndola, Cariamanga, Zosoranga, Macará, Pindal, y Celica; aunque permitieron verificar que ya estaban electrificados casi todos los sectores no electrificados según el mapa de cobertura de la EERSSA.

Sin embargo con estas visitas y con entrevistas realizadas a un treinta por ciento de los municipios cantonales, y secretarías de juntas parroquiales estadísticamente se determinó que los principales sectores rurales de la provincia de Loja no electrificados son: El sector Miyugo en la Parroquia el Cisne, y La Bucana en el Empalme, los cuales son detallamos seguidamente.

El sector Miyugo, representado en la figura 36, perteneciente a la parroquia el cisne, y situado a una altitud de 2159 msnm, a una latitud de (3°52'2'') y en la longitud (79°24'26''). Dispone de 10 viviendas que se encuentran muy alejados de las vías principales, y además no tienen el servicio de energía eléctrica, los cuales se encuentran habitados por personas de muy bajos recursos económicos.



Fig.36. Mapa guía de visita al sector Miyugo.

Y el sector la Bucana expuesto en la figura 37, perteneciente a la parroquia Celica, situado a una altitud de 641 msnm, en la latitud  $(4^{\circ}8' 48'')$  y en la longitud  $79^{\circ}50'33''$ . El cual también dispone de 10 viviendas que no tienen el servicio de energía eléctrica, los cuales se encuentran habitados por personas de muy bajos recursos económicos.



Fig.37. Mapa guía de visita al sector La bucana.

En las inspecciones realizadas a los sectores de investigación se capturó imágenes de algunos árboles, y viviendas donde se aplicó encuestas y se entrevistó a sus moradores como se observa en las figuras 38, 39, 40, 41, que permiten constatar la existencia de algunos domicilios, y las deformaciones que ha producido el viento en la vegetación, de estos sectores.



Fig. 38. Inspección realizada en el sector Miyugo.



Fig. 39. Casa comunal, y domicilios del sector Miyugo.



Fig.40. Inspección realizada en el sector la Bucana de la Parroquia Celica.



Fig.41. Aplicación de encuestas a moradores de los sectores de estudio.



Además se realizaron mediciones puntuales que son detalladas seguidamente.

**Tabla 7:** Datos puntuales en la parroquia del Cisne.

Nº	Cantón	Parroquia	Sector	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Radiación Solar ( $w/m^2$ )	Velocidad Del Viento (m/s)
1	Loja	El Cisne	Miyugo	2159	3°52'2''	79°24'26''	700	3.5

**Tabla 8:** Datos puntuales del Cantón Celica.

Nº	Cantón	Parroquia	Sector	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Radiación Solar ( $w/m^2$ )	Velocidad Del Viento (m/s)
1	Celica	Celica	Bucana	641	4°8' 48''	79°50'33''	900	0.1

Estos resultados permitieron determinar que los posibles potenciales existentes en el sector Miyugo son: El potencial solar, y el eólico. Mientras que en el sector la Bucana solamente existe el Potencial solar.

Por lo tanto se procedió a aplicar la metodología de evidencias ecológicas en el sector Miyugo.

Donde se considera que el viento existente se aproxima a una brisa ligera que se siente en el rostro, y que según la escala de Beaufort se estima una velocidad de viento aproximada de 2.37 m/s.

Además consideramos que en el sector Miyugo el viento ha deformado árboles de eucalipto y faique, de los cuales se utilizó un árbol de eucalipto como muestra para aplicar la escala de (Hewson, Wade, Baker, 1979) basada en los efectos del viento en la morfología y anatomía de árboles y arbustos, escala que permitió determinar que el viento que predomina este sector es regional.

Según la escala subjetiva basada en el grado de respuesta del árbol hacia el viento del Índice Grigg – Putnam desarrollado por (R. F. Grigg y P.C. Putnam), detallada en la figura



19 del marco teórico, el árbol de eucalipto tomado como muestra en el sector Miyugo de la figura 42, se encuentra en el índice ligeramente abanderado.

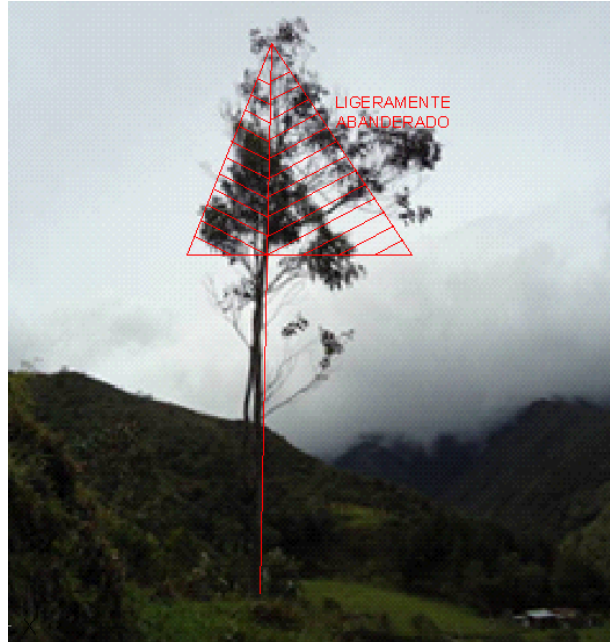


Fig.42. Según la escala subjetiva basada en el grado de respuesta del árbol hacia el viento del Índice Grigg – Putnam.

Y mediante la aplicación de la metodología de evidencias ecológicas en un árbol de eucalipto del sector Miyugo, se determinó la velocidad media anual aproximada.

Donde primeramente se determinó el índice de deformación aproximado de 4.9, según la figura 43, y mediante la sustitución de estos valores en la ecuación ( $D = \frac{A}{B} + \frac{C}{45^0}$ ) del (Relación Grigg – Putnam).



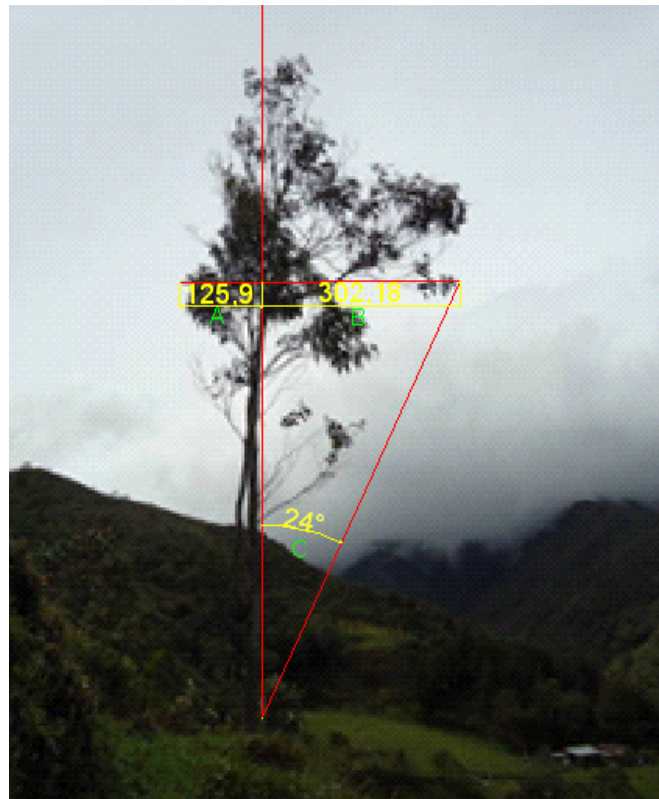


Fig.43. Ángulo medio del perímetro de la copa y el tronco, a sotavento en Eucalipto, existente en el sector Miyugo.

El valor de la deformación, fue llevado a la ecuación ( $V$  estimada. =  $3.62 + 0.46D$ ) perteneciente a los árboles de eucalipto, de la tabla 15 desarrollada por (Héctor F. Mattio, Graciela Ponce y Gabriela Roberts Agosto) con un margen de error de 0.43 m/s. Donde se obtuvo una velocidad promedio anual estimada, con un valor para árboles de eucaliptos de 4.9m/s.

La representación del potencial solar, existente en los sectores de investigación, se la indica en las figuras 44, 45, 46, 47, realizada en el software IDRISI, con la base de datos de insolación global, proporcionada por la CIE. Estos modelos de visualización del potencial solar, contienen ubicaciones geográficas y valores de insolación global, de promedios anuales de 4.9 kWh/m<sup>2</sup>/día, en el sector de Miyugo, y de 5.43 kWh/m<sup>2</sup>/día, en el sector la Bucana, durante el de 1985 a 1991.

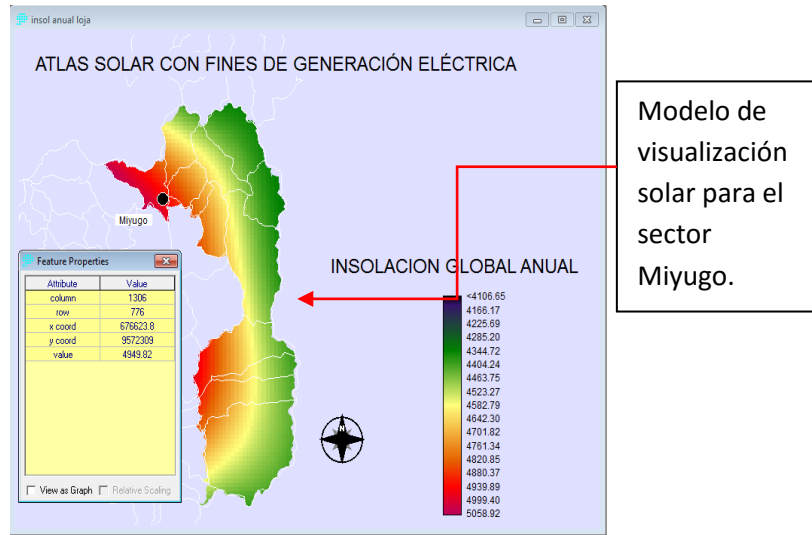


Fig.44. Modelo de visualización, de insolución global del sector Miyugo.

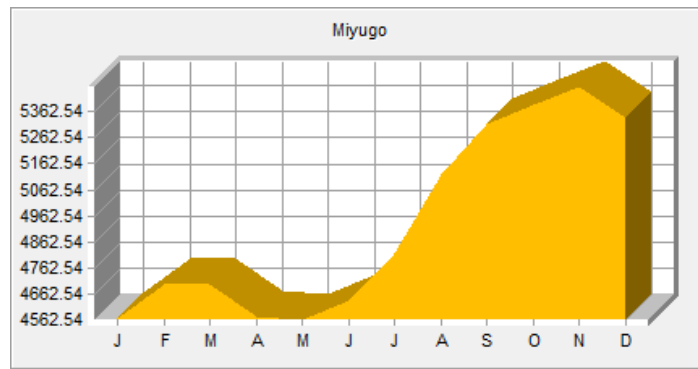


Fig.45. Histograma de insolución global del sector Miyugo, en el periodo 1985 a1991.

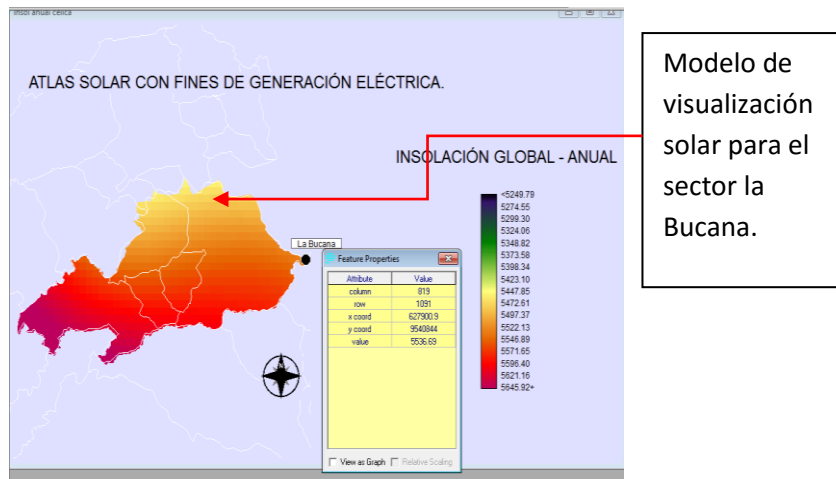


Fig.46. Modelo de visualización , de insolución global del sector La Bucana.

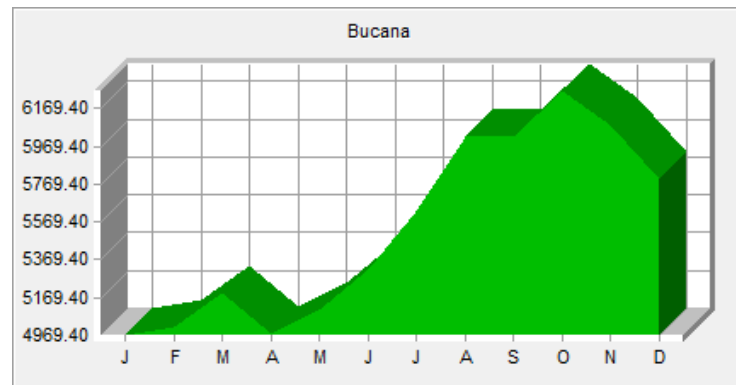


Fig.47. Histograma de insolación global del sector La Bucana, en el periodo 1985 a1991.

La temperatura tomada del sensor Modis y procesada en el software Idrisi, en la figura 48, presenta en el sector Miyugo 23 °C y en la Bucana 27°C.

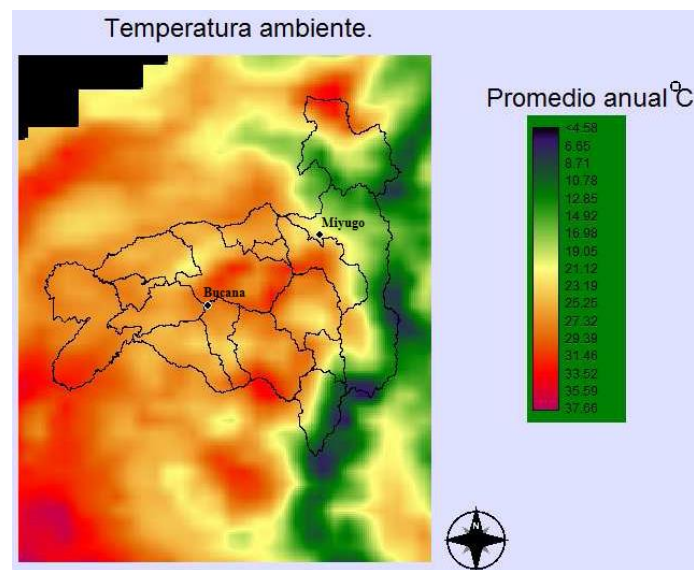


Fig. 48. Temperatura superficial terrestre (LST) tomado del sensor Modis.

En tanto que la visualización gráfica del potencial eólico, existente en los sectores de investigación, se indica en las figuras 49, 50, y 51, de la misma realizado en el software Idrisi, con la bases de datos de estaciones meteorológicas, proporcionadas por el proyecto Binacional Catamayo Chira y por la (DAC). Estos modelos de visualización gráfica del potencial eólico, contienen ubicaciones geográficas y valores de velocidades medias de promedios anuales, para el sector Miyugo se identificó un potencial de 4 m/s y la Bucana un promedio de 2,4 m/s.

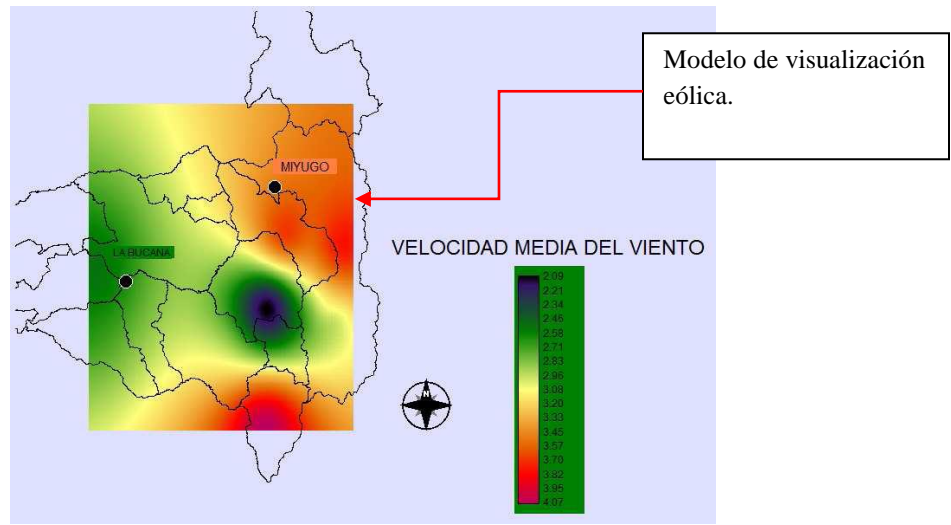


Fig.49. Modelo de visualización , de la velocidad media del viento del sector La Bucana.

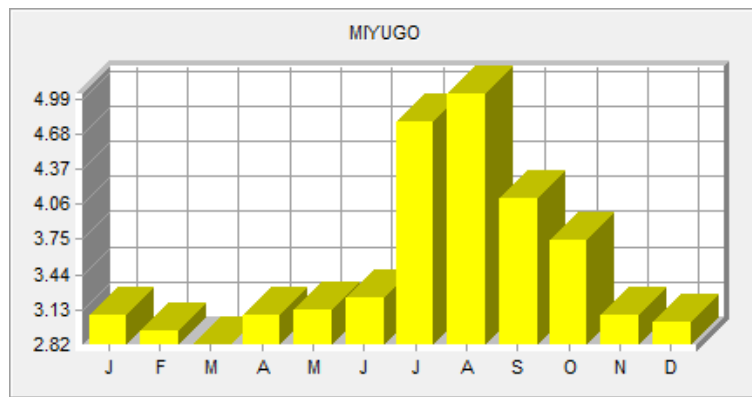


Fig.50. Histograma de velocidad media de viento en el sector Miyugo, en el periodo 1964 - 1988.

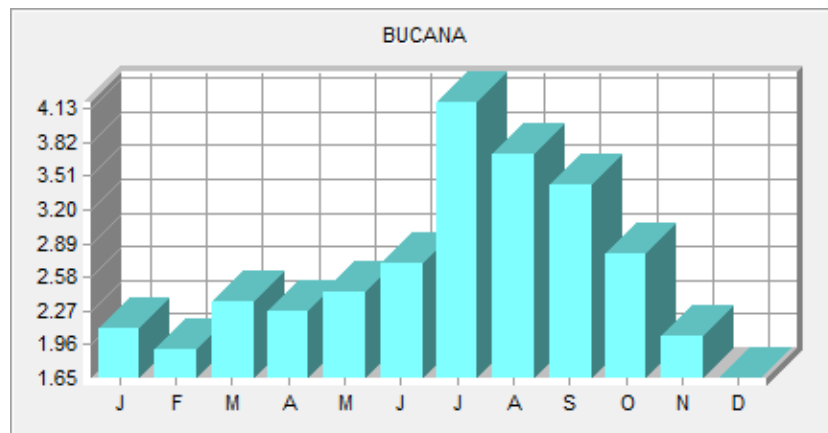


Fig.51. Histograma de velocidad media de viento en el sector La Bucana, en el periodo 1964 a1988.



## 6. DISCUSIÓN.

Aunque la CIE y el INAMHI presentan información del potencial solar, el INAMHI presenta datos con los que se podría calcular el potencial solar, pero son incompletos y no existen para los sectores rurales no electrificados de la provincia de Loja. La información que presenta la CIE es completa de buena calidad, e incluso para todo el país.

La información relacionada al potencial eólico de la provincia de Loja existe: en el INAMHI, en el proyecto Binacional Catamayo Chira, en la DAC, y en la Empresa ENERSUR-EP. Donde la información existente en el INAMHI es insuficiente para estimar el potencial eólico en los sectores de estudio, y además dispone únicamente datos de velocidades de viento máximas. En tanto que el proyecto Binacional Catamayo Chira a pesar de no tener información muy completa y actualizada, dispone datos de velocidades de viento medias, de algunas estaciones meteorológicas instaladas en la provincia de Loja, encontrándose algunas de estas cerca de los sectores de investigación, lo cual viabiliza la determinación del potencial eólico. En la DAC existe información de la estación meteorológica aeropuerto de Catamayo la cual es muy completa, y puesto que dicha estación se encuentra próxima a uno de los sectores de estudio se constituye una de las principales fuentes de información, para determinar el potencial eólico. Cabe destacar que la empresa ENERSUR-EP dispone de datos registrados en algunas estaciones meteorológicas a su cargo, información a la cual no se ha podido acceder a pesar de ser considerada importante para estimar el potencial eólico en los sectores de investigación.

En el INAMHI existen bases de datos de caudales de algunas estaciones hidrométricas de la provincia de Loja, información que es la única a la que se ha tenido acceso, y su mayoría está incompleta, lo cual imposibilita, estimar el potencial hídrico en los sectores de estudio.

En el mapa de cobertura eléctrica existente en la EERSSA, se presenta varios sectores rurales de la Provincia de Loja sin electrificación, sin embargo mediante visitas realizadas a estos sectores se verificó que la mayoría ya disponían del servicio de energía eléctrica. Inclusive mediante un acercamiento con municipios Cantonales y secretarías de juntas parroquiales, quienes realizan inspecciones constantes en la mayoría de los sectores rurales de la provincia de Loja y tienen conocimientos generales de los principales servicios



básicos que disponen estas comunidades, se determinó que los principales sectores rurales de la provincia de Loja no electrificados son: El sector Miyugo en la Parroquia el Cisne, y La Bucana en el Empalme, los cuales no constan en el mapa de cobertura eléctrica.

En los sectores de investigación durante las inspecciones realizadas se entrevistó a algunos de sus habitantes, ya que se considera que las personas que habitan en sectores rurales y especialmente las que se dedican a la agricultura, tienen conocimientos ancestrales en el comportamiento temporal y evidencias ecológicas, ya que de aquí depende la cosecha fuente de sobrevivencia. Esto se constituyó en una guía preliminar en el presente trabajo para identificar los posibles potenciales existentes en los sectores de estudio.

Las inspecciones y captura de imágenes en la vegetación en el sector Miyugo permitieron evidenciar la vegetación deformada por el viento, y techos de algunos domicilios afectados por los fuertes vientos presentes en el sector Miyugo, y en el sector la Bucana se constató que la vegetación no presenta índices de deformaciones realizadas por el viento.

Por lo tanto en el sector Miyugo se determinó aplicar la metodología empírica de evidencias ecológicas empleada por la empresa ENERSUR-EP en el proyecto eólico Villonaco. Ya que Según el artículo “bio indicadores, una útil herramienta en la prospección de velocidades medias del viento.” Basado en la Tesis de Grado para la Licenciatura en Geografía de Lic. Graciela Ponce y Lic. Gabriela Roberts, Dirigida por el Dr. Héctor F. Mattio, Agosto de 1996, de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Donde se manifiesta que desde una perspectiva global de conservación de la naturaleza, la energía eólica es considerada como una fuente energética renovable, limpia, segura, económica y generadora de empleo.

Sin embargo uno de los problemas para la determinación del potencial de energía eólica, es la ausencia de datos reales del viento en ubicaciones en donde se cree que hay vientos fuertes. Y para que resulte efectiva la utilización de la energía eólica, es necesario realizar una evaluación del potencial eólico de un sitio.

Las estimaciones de la velocidad media anual del viento basadas en la deformación eólica de los árboles, aunque sujetas a algunas imprecisiones son simples y rápidas para identificar



localidades donde los efectos más destacados del viento lo justifican, y son considerados como una guía preliminar para clasificar los sitios con potencial eólico.

Además en publicaciones de la organización Cuba Solar se manifiesta que con la escala de Griggs-Putnam se desarrolló el mapa de evidencias ecológicas del viento, el cual también se constituyó en la guía preliminar para instalar estaciones remotas, con cuyos registros se determinó el potencial eólico, en esta localidad.

Igualmente a decir de los técnicos del proyecto Villonaco, esta metodología es sencilla barata y los resultados de su aplicación en el sector de Villonaco, fueron aproximados a los resultados del monitoreo realizado posteriormente en el sector.

Idrisi en comparación con el programa Surfer, tiene más funciones para la creación de mapas temáticos, además permite el desarrollo de cálculo estadístico matemático y algebraico de imágenes, donde una aplicación muy importante es el earth trends modeler que sirve para tener una mayor visión de los cambios de las variables climatológicas en función del tiempo.

El modelo de visualización gráfica del potencial solar, desarrollado con una base de datos del atlas solar que se caracteriza por tener una precisión del 90%. Este modelo contiene datos de insolación global y de posiciones geográficas mediante celdas, lo cual se constituye en una buena aproximación para determinar el potencial solar en los sectores de investigación, y para corroborar estos datos se utilizó imágenes del sensor Modis que disponen información temperatura ambiente, sabiendo que las temperaturas de un territorio están en relación directa con varios factores pero especialmente con la radiación solar que recibe. Por lo cual consideramos que los datos de insolación en el sector Miyugo y la Bucana, son confiables para emplear cualquier tipo de tecnología a pequeña escala que aproveche la energía solar.

En lo concerniente al modelo eólico, se lo realizó mediante el método de interpolación lineal en el software Idrisi. Dicho modelo presenta valores de velocidades medias anuales del viento, y posiciones geográficas en los sectores de estudio mediante celdas. Los mismos que fueron aproximados a los resultados de las evidencias ecológicas.



## 6.1. VALORACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.

A continuación, en las tablas 9 y 10, se detalla los gastos realizados mediante el desarrollo de la presente investigación.

**Tabla 9:** Gastos de mano de obra.

Categoría	Cantidad	Tiempo de operación (días)	Tarifa Salarial \$/días (usd)	Importe USD
Alquiler de vehículo.	1	10	65	650
Hospedaje	3	3	10	90
Horas de descarga de internet.	1	60	0.5	30
Viáticos.	3	10	6	180
Otros	3	20	3	180
<b>Subtotal</b>				<b>1 130</b>

**Tabla 10:** Gasto de diseño e investigación.

Denominación	Tarifa (\$/h)	Cantidad	Tiempo (h)	Importe
Internet	0.5	2	150	75
Copias	0,02	1000	50	20
Diseño	20	2	480	40
Licencia del Software IDRISI	60	2	-	120
Seminario-Taller de modelación espacio-temporal y otros retos científicos” (CINFA)	2	150	60	300
Materiales de oficina y otros	1	200	20	200
<b>Subtotal</b>				<b>755</b>





## 6.2. VALORACIÓN AMBIENTAL.

Con el estudio realizado se podrá fomentar el uso de energía alternativa ya sea eólica, solar, especialmente en los sectores rurales de la provincia de Loja, sin servicio eléctrico.

Puesto que el funcionamiento de un sistema fotovoltaico que tiene muy poco impacto negativo en el medio ambiente. A diferencia de la electricidad producida a partir de los combustibles fósiles, los sistemas fotovoltaicos producen electricidad sin las emisiones contaminantes del aire. Porque la energía del sol es gratis y una constante fuente de energía renovable.

Desde el punto de vista eólico esta energía no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura. La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo. Al no quemarse esos Kg. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de CO<sub>2</sub>. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO<sub>2</sub>- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno -NO<sub>x</sub>- principales causantes de la lluvia ácida.



## 7. CONCLUSIONES.

- ❖ En la presente investigación se utilizó información existente en la CIE que fue seleccionada, para determinar del potencial solar, y para el potencial eólico se consideró la información existente, en el Proyecto Binacional Catamayo Chira, y en la DAC.
- ❖ Para el potencial hídrico, existe información muy ineficiente relacionada a los sectores de estudio.
- ❖ Estadísticamente los sectores rurales más representativos de la provincia de Loja que no cuentan con electrificación son: el sector Miyugo en la parroquia del Cisne del cantón Loja y el sector la Bucana de la parroquia Celica del cantón Celica.
- ❖ Los conocimientos ancestrales de los habitantes en los sectores de estudio se constituyeron en una guía preliminar en la identificación de los posibles potenciales existentes en estos sectores.
- ❖ La metodología de evidencias ecológicas permitió identificar y estimar el potencial eólico existente en el sector de Miyugo.
- ❖ En el sector Miyugo la aplicación de la escala de Griggs-Putnam permitió estimar valores de velocidad media del viento de 2.37m/s, mientras que la metodología de evidencias ecológicas permitió estimar promedios de velocidades medias del viento aproximados de 4.9 m/s.
- ❖ El software IDRISI nos permitió desarrollar los modelos de visualización grafica de los potenciales solar y eólico, en los sectores de estudio.
- ❖ Mediante los modelos de visualización se determinó que en el sector Miyugo existe un potencial eólico aproximado de velocidad media anual del viento de 4m/s, y un potencial solar con un valor aproximado de insolación global de 4.9 Kwh/m<sup>2</sup>dia, y en el sector la Bucana un potencial eólico aproximado de velocidad media anual del viento de 2.4 m/s y un potencial solar aproximado de insolación global de 5.5 Kwh/m<sup>2</sup>dia.



## 8. RECOMENDACIONES.

- ❖ Se recomienda a las diferentes entidades públicas y privadas, vinculadas al desarrollo de energías renovables, que realicen convenios inter institucionales, para obtener información meteorológica, confiable, la misma que tenga un libre acceso.
- ❖ Para futuros estudios de estimación de la velocidad del viento, en ciertas localidades donde no existan registros de estaciones meteorológicas, sugerimos que se utilice la metodología de evidencias ecológicas y conocimientos ancestrales, ya que constatamos que tiene una buena aproximación, en la determinación del potencial eólico.
- ❖ Para la realización de posteriores modelos de visualización de estos potenciales, sugerimos revisar las respectivas metodologías, descritas en el presente trabajo investigativo.
- ❖ Realizar la explotación de los potenciales eólico, y solar, por medio de la implementación de sistemas eólicos y fotovoltaicos, a pequeña escala, en los sectores de investigación.
- ❖ Sugerimos a los organismos competentes, que realicen proyectos, que permitan dotar del servicio eléctrico, a los sectores en estudio, ya se ha por medio de la extensión de la red eléctrica existente, o por medio de la implementación de sistemas autónomos a pequeña escala.
- ❖ A medida que se obtenga más información meteorológica, realizar nuevamente los modelos de visualización de los potenciales, eólico y solar.



## 9. BIBLIOGRAFÍA.

### SITIOS WEB.

Manejo de aguas. Obtenido de [http://apramat.iespana.es/MANEJO DE AGUAS/CAUDAL Y CARGA CONTAMINANTE.pdf](http://apramat.iespana.es/MANEJO_DE_AGUAS/CAUDAL_Y_CARGA_CONTAMINANTE.pdf)

bun-ca.org. Recuperado el 18 de noviembre de 2010, de <http://www.bun-ca.org/publicaciones/SOLARTERMICO.pdf>

bun-ca.org. Recuperado el 16 de Febrero de 2011, de <http://www.bun-ca.org/publicaciones/SOLARFOTOVOLTAICO.pdf>

bun-ca.org. Recuperado el 15 de Febrero de 2011, de <http://www.bun-ca.org/publicaciones/EÓLICA.pdf>

bun-ca.org. Recuperado el 15 de Febrero de 2011, de <http://www.bun-ca.org/publicaciones/HIDRÁULICAAPEQUEÑAESCALA.pdf>

Conelec. Recuperado el 22 de Marzo de 2011, de [www.conelec.com](http://www.conelec.com)

cvu.rediris.es. Recuperado el 20 de Marzo de 2011, de <http://cvu.rediris.es/pub/bscw.cgi/d758627/Introducci%C3%B3n%20a%20los%20SIG%20aplicados%20al%20campo%20de%20las%20renovables.pdf>

ecovida.pinar.cu. Recuperado el 26 de febrero de 2011, de [www.ecovida.pinar.cu/energía/.../Diez%20preguntas%20y%20respuestas%20sobre%20energía%20eólica.pdf](http://www.ecovida.pinar.cu/energía/.../Diez%20preguntas%20y%20respuestas%20sobre%20energía%20eólica.pdf)

Scrib. Recuperado el 5 de 1 de 2011, de <http://es.scribd.com/doc/35793770/generalidades-sobre-las-secadoras-solares-de-granos>

Energía Eolica. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_e%C3%B3lica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica)

Wikipedia. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Meteorolog%C3%ADa>

Wikipedia. Recuperado el 20 de Septiembre de 2010, de ([http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica))

Wikipedia. Recuperado el 22 de Noviembre de 2010, de ([http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable))

Wikipedia. Recuperado el 08 de Enero de 2011, de <http://www.eumed.net/libros/2005/jmfb-h/1u.htm>

SIG. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/t0446s/T0446S08.htm>

Gisits.com. Recuperado el 17 de Marzo de 2011, de <http://www.gisits.com/Idrisi.html>



- Interpolacion Espacial. Obtenido de [http://gis.uca.edu.sv/swera/potencial\\_eolico.html](http://gis.uca.edu.sv/swera/potencial_eolico.html)
- Windpower. Obtenido de <http://guidedtour.windpower.org/es/tour/wres/wndsprac.htm>
- igeográficapat.org. Recuperado el 20 de Abril de 2011, de  
[www.igeográficapat.org/index.php?option=com\\_docman&task=doc...gid...](http://www.igeográficapat.org/index.php?option=com_docman&task=doc...gid...)
- Meteorología. Recuperado el 22 de Julio de 2010, de  
[http://index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=10&Itemid=29](http://index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=10&Itemid=29).
- Potencia Eólica. Obtenido de [http://oa.upm.es/1855/1/HUMBERTO\\_OYARZO\\_PEREZ.pdf](http://oa.upm.es/1855/1/HUMBERTO_OYARZO_PEREZ.pdf)
- Proyectos fin de carrera. Recuperado el 22 de Julio de 2010, de  
<http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/meteorologia.htm>.
- Puera estelar. Obtenido de • <http://puertaestelar.mforos.com/1247107/6549013-evolucion-historica-de-las-energias-renovables/>
- Guia tecnológica. Obtenido de  
[http://www.tudiscovery.com/guia\\_tecnologia/energía\\_alternativa/energía\\_hidraulica/index.shtml](http://www.tudiscovery.com/guia_tecnologia/energía_alternativa/energía_hidraulica/index.shtml)
- <http://www.utpl.edu.ec/revistacortocircuito/RECURSOS/Revistas/revista20.pdf>



## **10. ANEXOS.**

## ANEXO 1. PROCEDIMIENTO DEL MODELO SOLAR.

- ✓ Para realizar el modelo de visualización gráfica primeramente, se consiguió todos los datos meteorológicos existentes en la CIE donde nos pudimos dar cuenta que, estas instituciones disponían de una base de datos de insolación global, de muy buena calidad, la cual la exponemos y se realizará la visualización en IDRISI.

	Norte	p_anual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio
9744088	4364.97	4440.41	4597.81	5060.8	4826.16	4659.57	3924.16	3924.16	
9744088	4371.51	4441.58	4599.71	5062.76	4830.83	4668.72	3929.17	3929.17	
9744088	4378.84	4443.69	4602.21	5065.66	4836.4	4679	3934.91	3934.91	
9744088	4386.91	4446.64	4605.24	5069.4	4842.75	4690.27	3941.31	3941.31	
9744088	4395.63	4450.29	4608.71	5073.85	4849.76	4702.38	3948.33	3948.33	
9744088	4404.94	4454.51	4612.54	5078.89	4857.3	4715.19	3955.88	3955.88	
9744088	4414.74	4459.19	4616.64	5084.38	4865.23	4728.55	3963.92	3963.92	
9744088	4424.96	4464.17	4620.92	5090.21	4873.42	4742.31	3972.36	3972.36	
9744088	4435.51	4469.33	4625.29	5096.22	4881.74	4756.32	3981.14	3981.14	
9744088	4446.3	4474.55	4629.66	5102.3	4890.06	4770.42	3990.18	3990.18	
9744088	4457.26	4479.69	4633.94	5108.31	4898.26	4784.47	3999.41	3999.41	
9744088	4468.3	4484.65	4638.04	5114.12	4906.21	4798.33	4008.76	4008.76	
9744088	4479.36	4489.29	4641.9	5119.62	4913.79	4811.87	4018.18	4018.18	
9744088	4490.36	4493.53	4645.42	5124.68	4920.89	4824.96	4027.59	4027.59	
9744088	4501.24	4497.26	4648.53	5129.18	4927.4	4837.47	4036.95	4036.95	
9744088	4511.95	4500.39	4651.17	5133.03	4933.23	4849.31	4046.2	4046.2	
9744088	4522.45	4502.84	4653.27	5136.12	4938.27	4860.36	4055.3	4055.3	
9744088	4532.69	4504.53	4654.77	5138.35	4942.45	4870.55	4064.22	4064.22	
9744088	4542.64	4505.41	4655.62	5139.65	4945.69	4879.78	4072.93	4072.93	
9744088	4552.27	4505.41	4655.78	5139.95	4947.93	4888.02	4081.39	4081.39	
9744088	4561.58	4504.51	4655.21	5139.18	4949.11	4895.19	4089.6	4089.6	

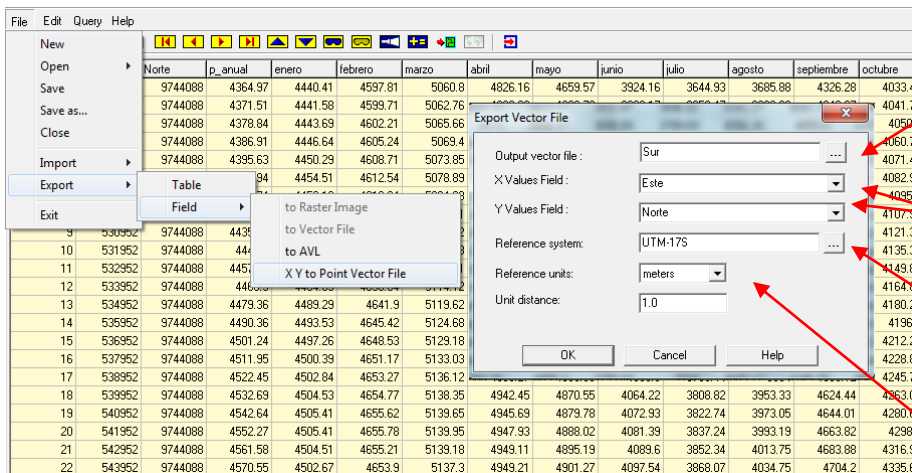
Base de datos de Insolación difusa.

- ✓ Esta base de datos fue importada al software Access, y de aquí, al software IDRISI.

UNI_ID	Este	Norte	p_anual	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre
1	522952	9744088	4364.97	4440.41	4597.81	5060.8	4826.16	4659.57	3924.16	3644.93	3686.88	4326.28	4033.49	4339.5
2	523952	9744088	4371.51	4441.58	4599.71	5062.76	4830.83	4668.72	3929.17	3650.47	3696.92	4342.27	4041.71	4346.7
3	524952	9744088	4378.84	4443.69	4602.21	5065.66	4836.4	4679	3934.91	3656.58	3708.69	4358.38	4050.8	4352.2
4	525952	9744088	4386.91	4446.64	4605.24	5069.4	4842.75	4690.27	3941.31	3663.27	3721.17	4374.65	4060.73	4358.0
5	526952	9744088	4395.63	4450.29	4608.71	5073.85	4849.76	4702.38	3948.33	3670.52	3734.34	4391.08	4071.45	4375.0
6	527952	9744088	4404.94	4454.51	4612.54	5078.89	4857.3	4715.19	3955.88	3678.32	3748.17	4407.71	4082.92	4387.0
7	528952	9744088	4414.74	4459.19	4616.64	5084.38	4865.23	4728.55	3963.92	3686.65	3762.62	4424.54	4095.1	4400.0
8	529952	9744088	4424.96	4464.17	4620.92	5090.21	4873.42	4742.31	3972.36	3695.49	3777.67	4441.59	4107.94	4414.7
9	530952	9744088	4435.51	4469.33	4625.29	5096.22	4881.74	4756.32	3981.14	3704.82	3793.27	4458.86	4121.38	4428.0
10	531952	9744088	4446.3	4474.55	4629.66	5102.3	4890.06	4770.42	3990.18	3714.62	3809.38	4476.36	4135.38	4444.0
11	532952	9744088	4457.26	4479.69	4633.94	5108.31	4898.26	4784.47	3999.41	3724.87	3825.97	4494.07	4143.89	4460.0
12	533952	9744088	4468.3	4484.65	4638.04	5114.12	4906.21	4798.33	4008.76	3735.95	3843	4512.02	4164.87	4476.0
13	534952	9744088	4479.36	4489.29	4641.9	5119.62	4913.79	4811.87	4018.18	3746.65	3860.44	4530.19	4180.28	4493.0
14	535952	9744088	4490.36	4493.53	4645.42	5124.68	4920.89	4824.96	4027.59	3758.19	3878.27	4548.68	4196.1	4510.0
15	536952	9744088	4501.24	4497.26	4648.53	5129.18	4927.4	4837.47	4036.95	3770.15	3896.47	4567.2	4212.29	4527.0
16	537952	9744088	4511.95	4500.39	4651.17	5133.03	4933.23	4849.31	4046.2	3782.96	3915.05	4586.04	4228.84	4544.0
17	538952	9744088	4522.45	4502.84	4653.27	5136.12	4938.27	4860.36	4055.3	3795.44	3934	4605.12	4245.75	4561.0
18	539952	9744088	4532.69	4504.53	4654.77	5138.35	4942.45	4870.55	4064.22	3808.82	3953.33	4624.44	4263.01	4579.0
19	540952	9744088	4542.64	4505.41	4655.62	5139.65	4945.69	4879.78	4072.93	3822.74	3973.05	4644.01	4280.63	4597.0
20	541952	9744088	4552.27	4505.41	4655.78	5139.95	4947.93	4888.02	4081.39	3837.24	3993.19	4663.82	4298.6	4614.0
21	542952	9744088	4561.58	4504.51	4655.21	5139.18	4949.11	4895.19	4089.6	3852.34	4013.75	4683.88	4316.94	4632.0
22	543952	9744088	4570.95	4502.67	4653.9	5137.3	4943.21	4901.27	4097.54	3868.07	4034.75	4704.2	4336.65	4650.0
23	544952	9744088	4579.16	4499.88	4651.82	5134.3	4948.21	4906.24	4105.21	3884.46	4056.19	4724.76	4354.74	4668.0
24	545952	9744088	4587.42	4496.14	4648.98	5130.16	4946.1	4910.09	4112.59	3901.49	4078.07	4745.54	4374.18	4687.0
25	546952	9744088	4595.33	4491.47	4645.39	5124.91	4942.91	4912.85	4119.7	3919.16	4100.34	4766.52	4393.96	4705.0
26	547952	9744088	4602.88	4489.88	4641.08	5118.57	4938.66	4914.54	4126.54	3937.43	4122.99	4787.66	4414.05	4723.0
27	548952	9744088	4610.07	4479.42	4636.07	5111.19	4933.42	4915.19	4133.12	3956.24	4145.95	4808.92	4434.41	4742.0
28	549952	9744088	4616.92	4472.13	4630.41	5102.94	4927.25	4914.88	4139.43	3975.53	4163.16	4830.26	4455	4760.0
29	550952	9744088	4623.44	4464.06	4624.13	5093.59	4920.21	4913.64	4145.51	3995.24	4192.58	4851.62	4475.76	4778.0

Seleccionamos database

- ✓ Para graficar los puntos se realiza el siguiente procedimiento tomando en cuenta que se sigue trabajando en Database Workshop.



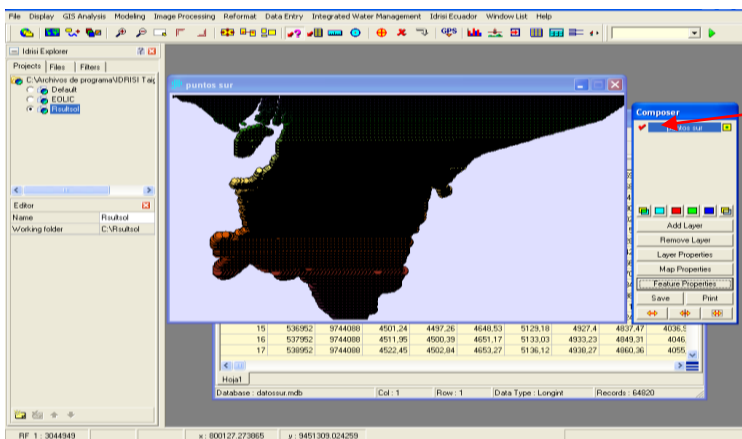
Salida: Archivo de liga vectorial y de la base de datos.

Exportar XY al archivo de vector de punto

Seleccionar un sistema de referencia. (UTM-17S)

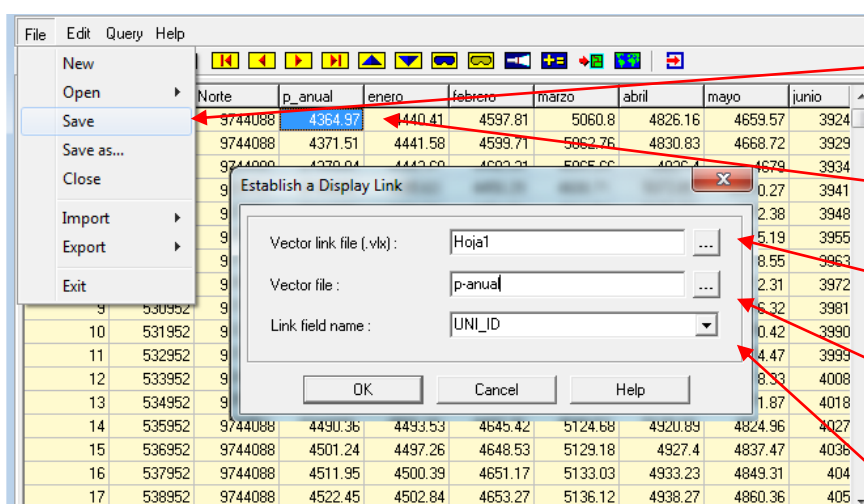
Unidad de referencia (metros)

✓ En la siguiente imagen se representa los puntos geográficos que se procesó en la opción de vectores punto.



Representación gráfica definida por puntos en formato vectorial.

✓ Para realizar la vinculación entre los puntos y los promedios de insolación mensual y anual se procede de la siguiente manera.



Obtenida la imagen vectorial se guarda.

Marca la celda que desea atribuir.

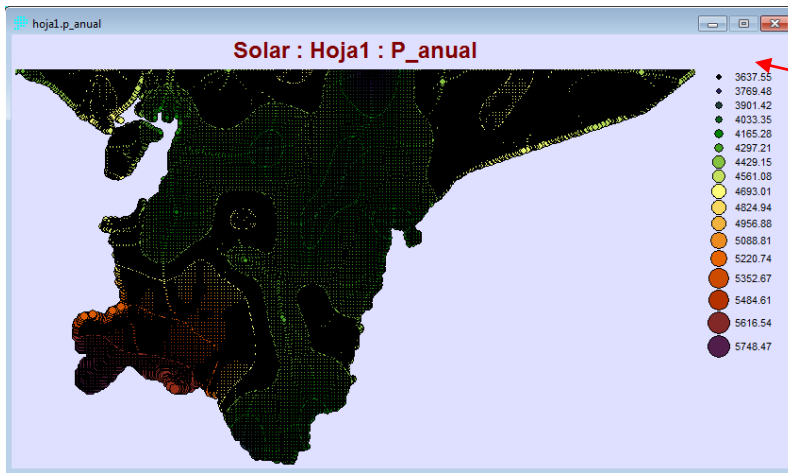
En Establish Display Link se realiza el vínculo

Se da un nombre a la imagen.

Se ubica en el nombre de campo de enlace.

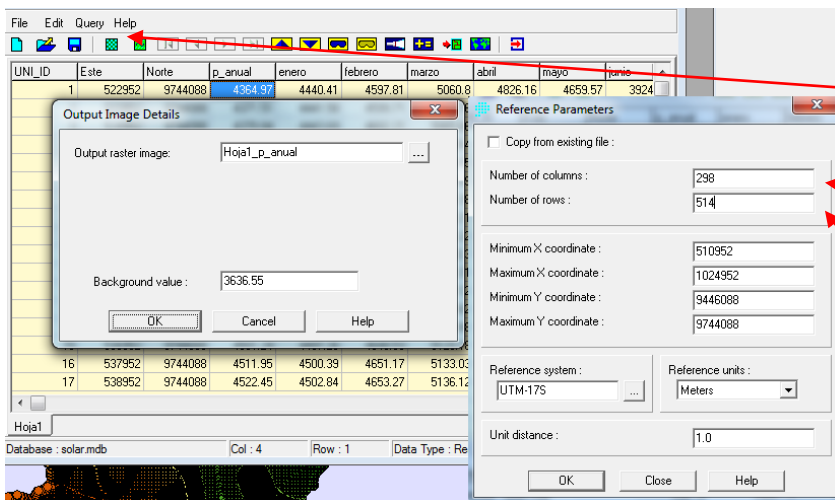
✓ Siguiendo la secuencia anterior nos da como resultado una imagen en formato vectorial la misma que no tiene una buena visualización.





Se obtiene la imagen vinculada con la insolación en formato vectorial.

- ✓ Para dar una mejor visualización procedemos a convertir nuestra imagen de vector a raster como se indica a continuación.

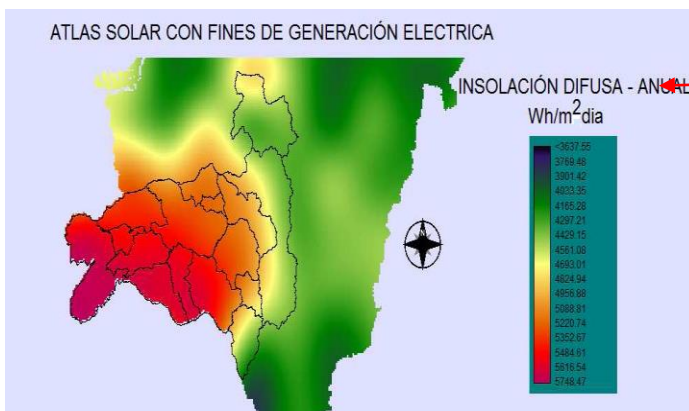


Seleccionamos la opción Raster.

Para obtener las columnas  $(\text{MaxY}-\text{MinY})/1000$

Para las filas  $(\text{MaxX}-\text{MinX})/1000$

- ✓ Finalmente obtuvimos un mapa, que lo denominamos, de visualización gráfica del potencial solar existente la provincia de Loja, donde se puede apreciar el valor de la Insolación difusa de promedios anuales, en los diferentes sectores.



Modelo de visualización solar

## ANEXO 2. PROCEDIMIENTO DEL MODELO EÓLICO.

- ✓ Primeramente se recolecto todos los datos de estaciones meteorológicas existentes, los cuales fueron procesados y exportados de Excel hacia Access quedándonos de la siguiente manera.

Cdg	M01	M02	M03	M04	M05	M06
60	6	8	16	8	20	
142	12	14	14	12	12	
143	10	10	10	10	14	
146	7	8	11	8	9	11
147	20	14	12	18	16	16
148	8	8	6	10	10	14
150	6	6	7	6	7	6
151	6	8	8	10	8	9
241						

Tabla de los años que contiene la base de datos clasificada.

El Cdg es muy importante ya que es la vinculación entre los puntos georeferenciados y la base de datos.

- ✓ Además vale recalcar que para poder exportar las bases de datos, a IDRISI debemos construir una tabla de las ubicaciones de las estaciones meteorológicas tomando en cuenta que el vínculo que lo vamos a denominar Cdg.

Cdg	LngDcr	Ltt	Nmb	LngGrd	LngMni	LngSgn	LngOrn	LttGrd
33	-79.2011	-4.0	Argelia	79	12	4 W		4
60	-79.3669	-4	Catamayo	79	22	1 W		3
142	-79.2339	-3.6	Saraguro	79	14	2 W		3
143	-79.2711	-4.2	Malacatos	79	16	16 W		4
146	-79.5544	-4.3	Cariamang	79	33	16 W		4
147	-79.1747	-4.4	Yangana	79	10	29 W		4
148	-79.9514	-4.1	Celica	79	57	5 W		4
150	-79.4306	-4.6	Amaluza	79	25	50 W		4
151	-80.2364	-4.4	Zapotillo	80	14	11 W		4
241	-79.3992	-4.3	Quilanga	79	23	57 W		4

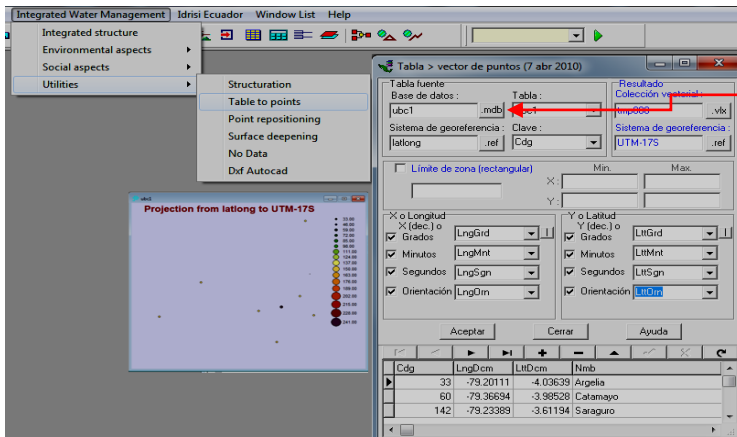
En esta tabla se ubica toda la información de la estación meteorológica.

- ✓ Una vez que tuvimos las bases de datos procesadas, procedimos a importarlas desde Access a IDRISI de la siguiente manera:

Cdg	Nmb	LngGrd	LngMni	LngSgn	LngOrn
33	Argelia	79	12	4 w	
60	Catamayo	79	22	1 w	
142	Saraguro	79	14	2 w	
143	Malacatos	79	16	16 w	
146	Cariamanga	79	33	16 w	
147	Yangana	79	10	29 w	
148	Celica	79	57	5 w	
150	Amaluza	79	25	50 w	
151	Zapotillo	80	14	11 w	
241	Quilanga	79	23	57 w	

Nos ubicamos en database workshop y elegimos el archivo de las estaciones.

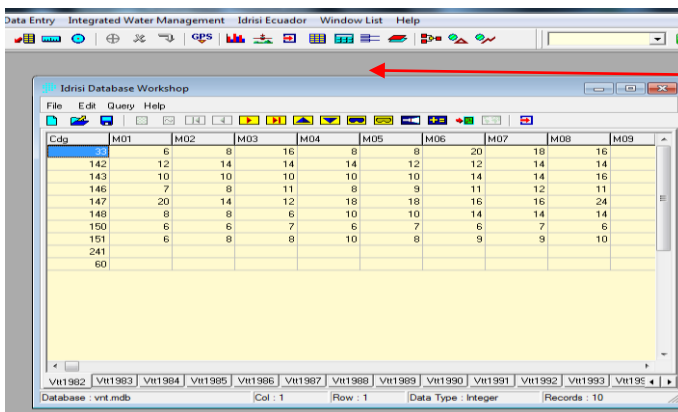
- ✓ Luego, proyectar los puntos de las estaciones, vamos a herramienta Integrated Water Management, table de points, y aquí señalamos la tabla de ubicaciones mdb, obteniendo el siguiente resultado.



**Entrada:** Elegimos en mdb el archivo de estaciones, en clave nos ubicamos en el vínculo.

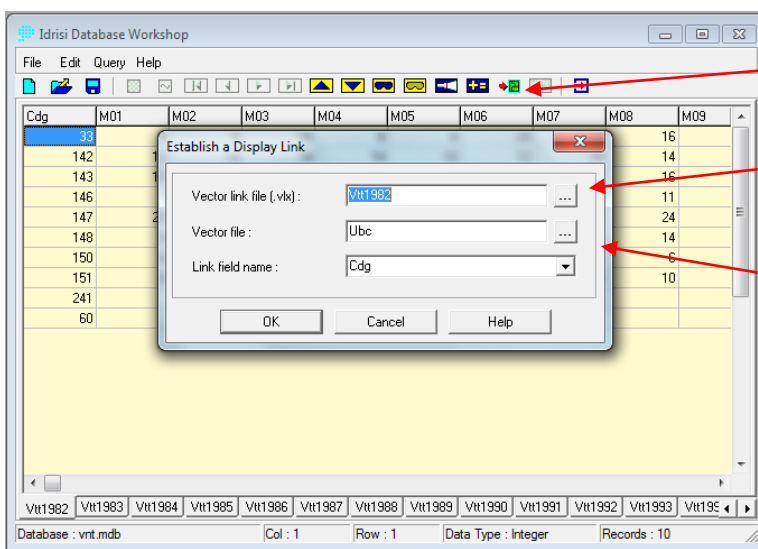
**Salida:** En resultados ponemos un nombre y en sist de georeferencia seleccionamos Utm 17s

- ✓ Seguidamente, vamos al database Workshop, y señalamos abrir las bases de datos meteorológicas.



Elegimos el icono database workshop y busca el archivo de datos de velocidad del viento.

- ✓ De esta manera realizamos una vinculación entre las ubicaciones y los datos, mediante la opción establish a display link.

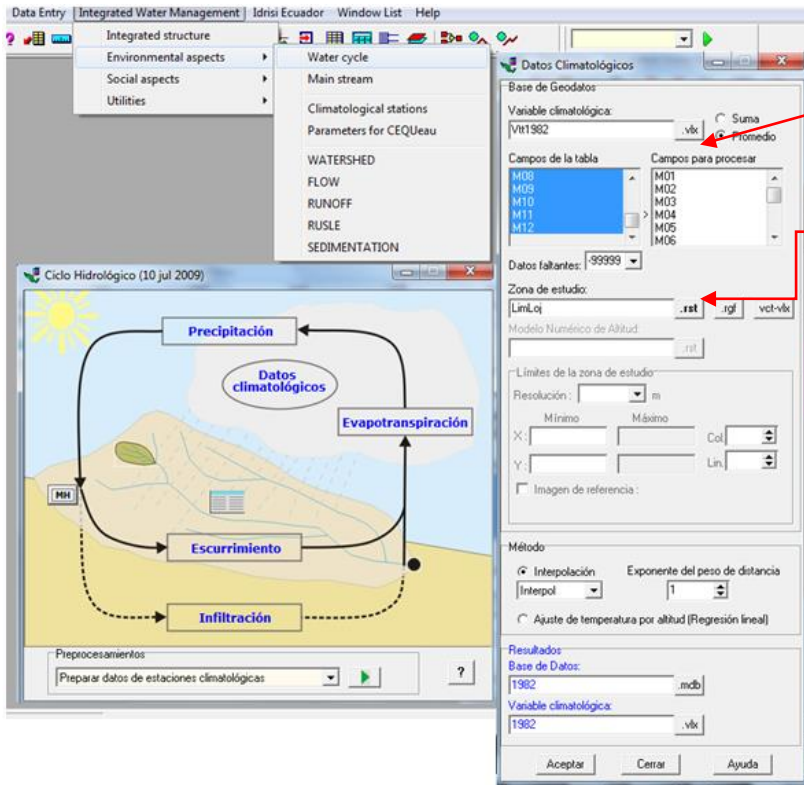


Nos colocamos en el icono establish a Display Link.

Se selecciona en la tabla del año que va a vincular.

Se selecciona el archivo del vector punto

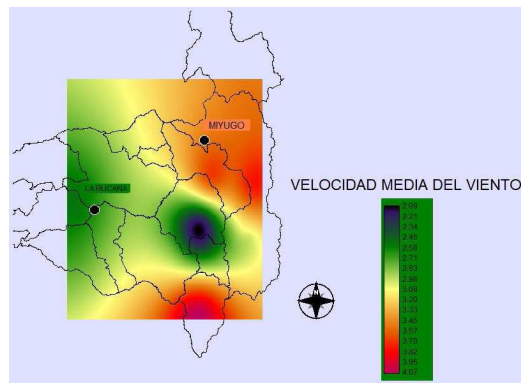
- ✓ El siguiente paso a realizar es la interpolación, mediante Integrated water Mangement, environmental aspects, water cycle, y en la ventana que aparece seleccionamos datos climatológicos.



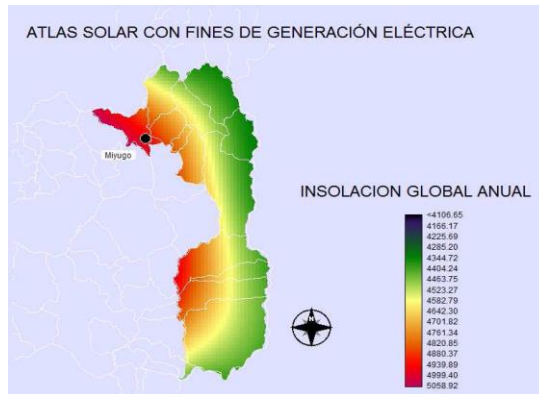
En variable climatológica escogemos el archivo a procesar.

La opción zona de estudio es muy importante ya que se limita el lugar de estudio.

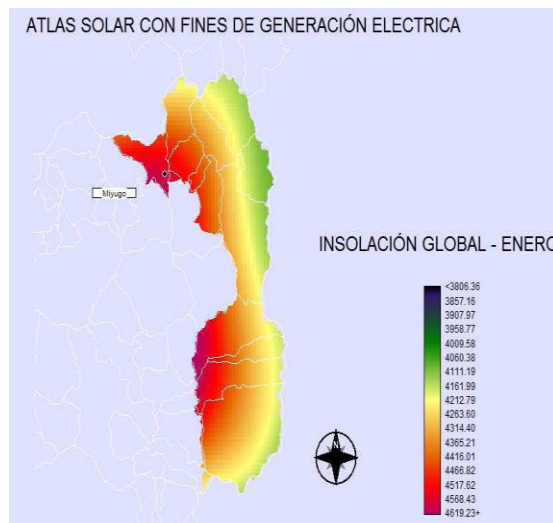
- ✓ De esta manera se obtiene el mapa anual interpolado como lo mostramos a continuación.



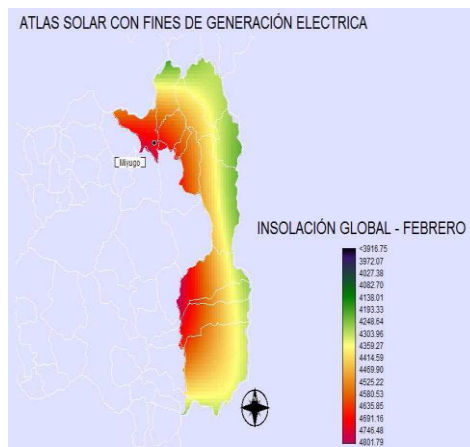
### ANEXO 3. Insolación Global Anual del cantón Loja.



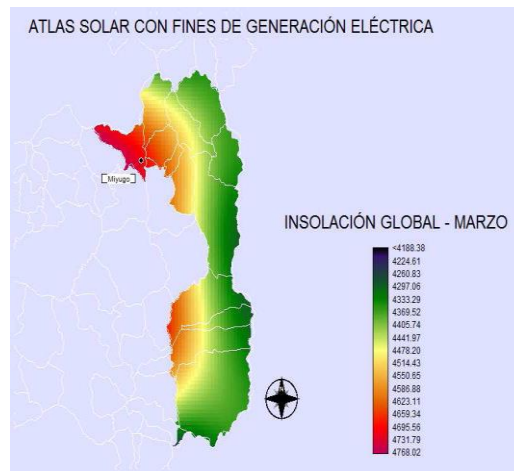
### ANEXO 3.1. Insolación Global para el mes de Enero del cantón Loja



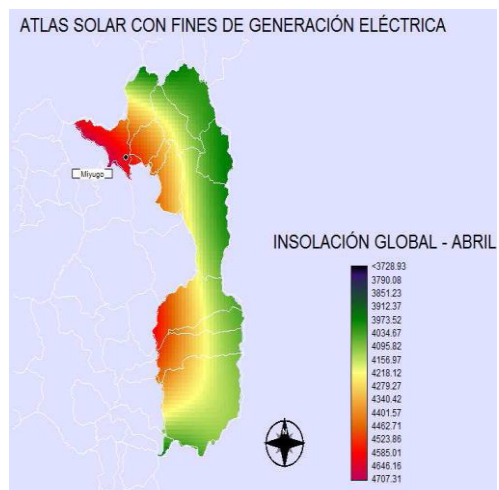
### ANEXO 3.2. Insolación Global para el mes de Febrero del cantón Loja.



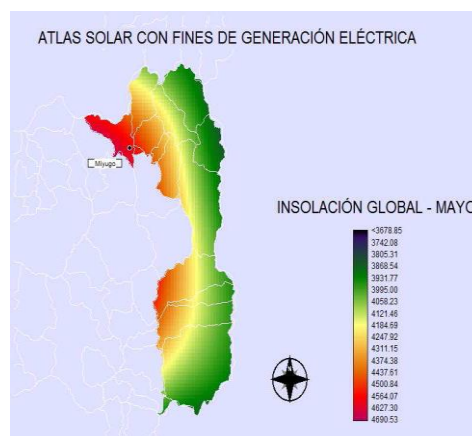
### ANEXO3.3. Insolación Global para el mes de Marzo del cantón Loja.



### ANEXO 3.4. Insolación Global para el mes de Abril del cantón Loja.

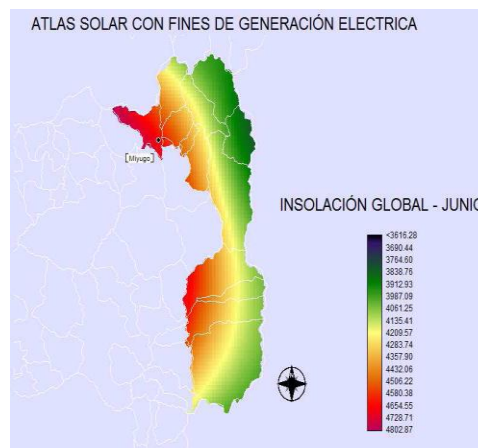


### ANEXO 3.5. Insolación Global para el mes de Mayo del cantón Loja.

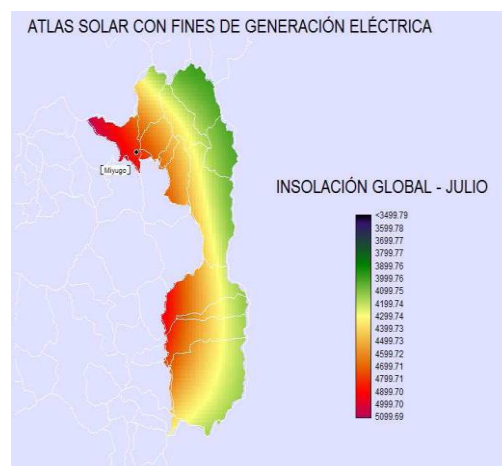




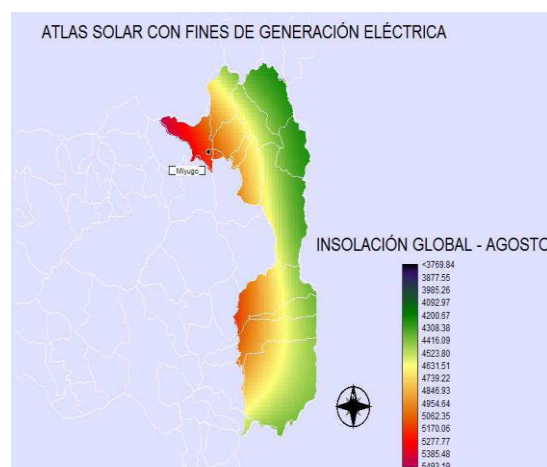
### ANEXO 3.6. Insolación Global para el mes de Junio del cantón Loja.



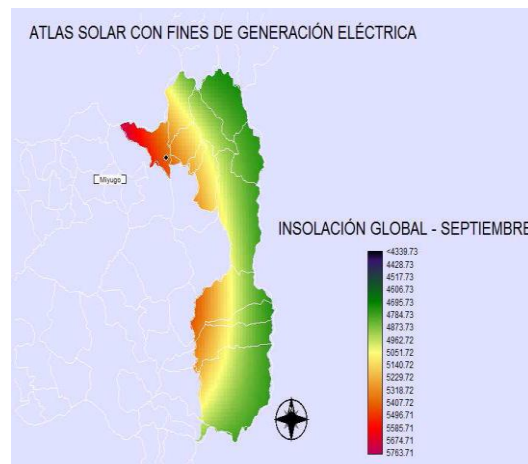
### ANEXO 3.7. Insolación Global para el mes de Julio del cantón Loja.



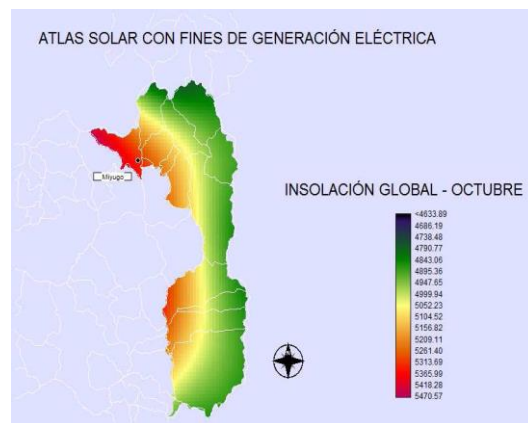
### ANEXO 3.8. Insolación Global para el mes de Agosto del cantón Loja.



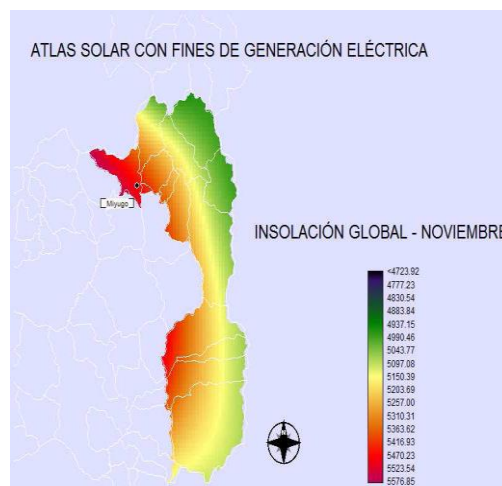
### ANEXO 3.9. Insolación Global para el mes de Septiembre del cantón Loja.



### ANEXO 3.10. Insolación Global para el mes de Octubre del cantón Loja.

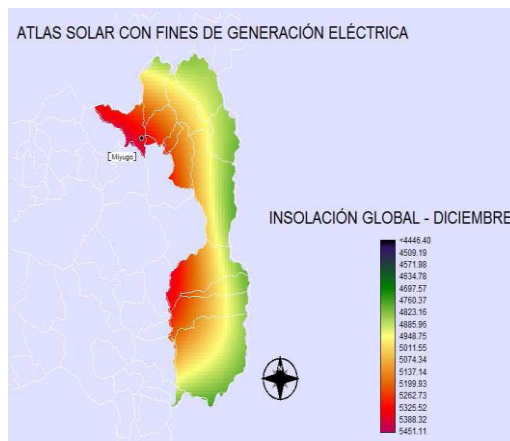


### ANEXO 3.11. Insolación Global para el mes de Noviembre del cantón Loja.

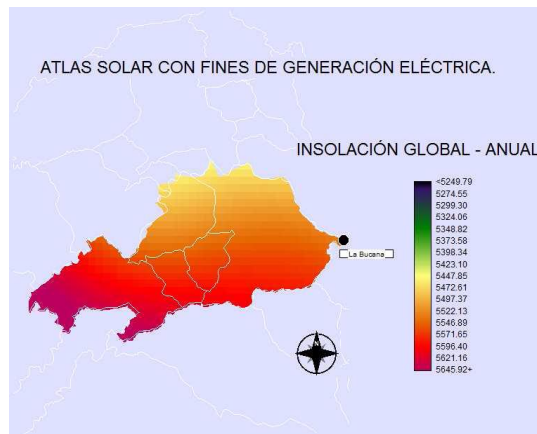




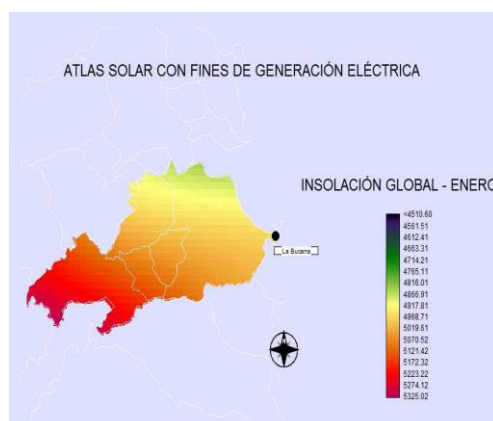
### ANEXO 3.12. Insolación Global para el mes de Diciembre del cantón Loja.



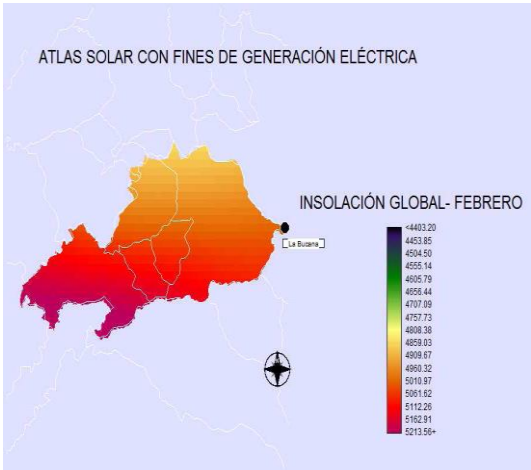
### ANEXO 4. Insolación Global Anual del cantón Celica.



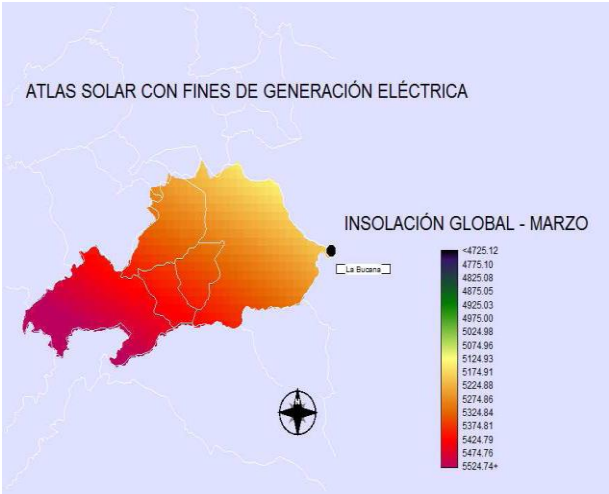
### ANEXO 4.1. Insolación Global para el mes de Enero del cantón Celica.



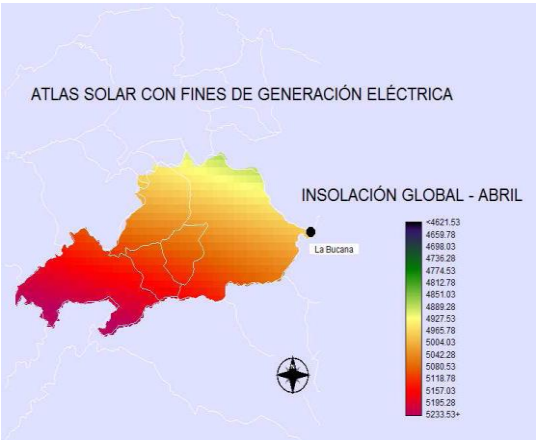
**ANEXO 4.2. Insolación Global para el mes de Febrero del cantón Celica.**



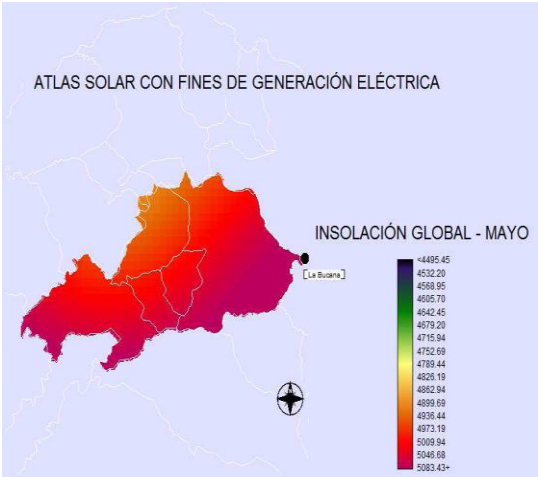
**ANEXO 4.3. Insolación Global para el mes de Marzo del cantón Celica.**



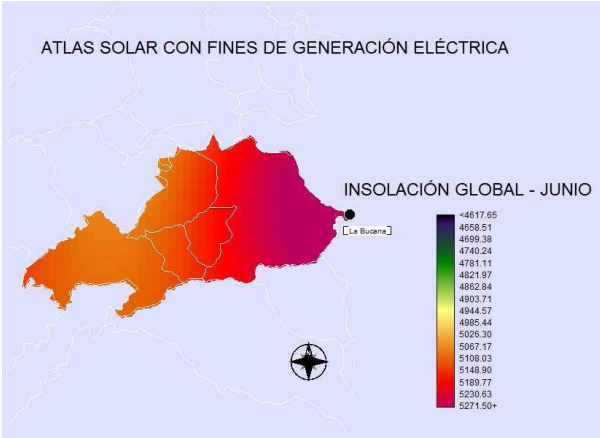
**ANEXO 4.4. Insolación Global para el mes de Abril del cantón Celica.**



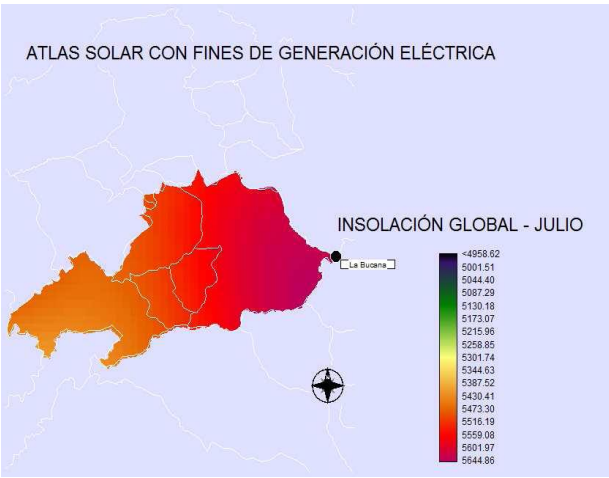
**ANEXO 4.5. Insolación Global para el mes de Mayo del cantón Celica.**



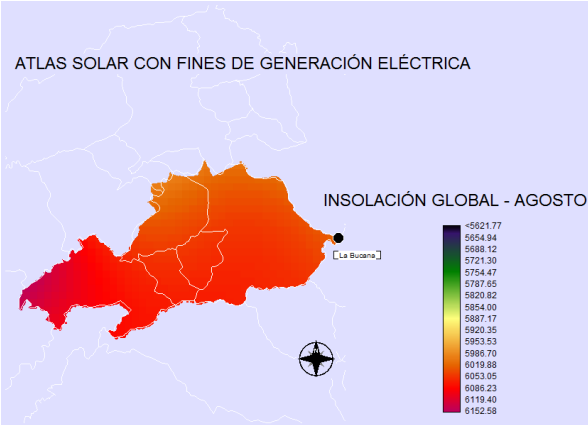
**ANEXO 4.6. Insolación Global para el mes de Junio del cantón Celica.**



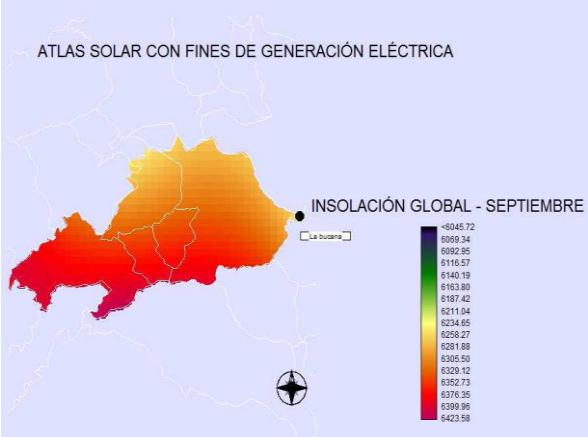
**ANEXO 4.7. Insolación Global para el mes de Julio del cantón Celica.**



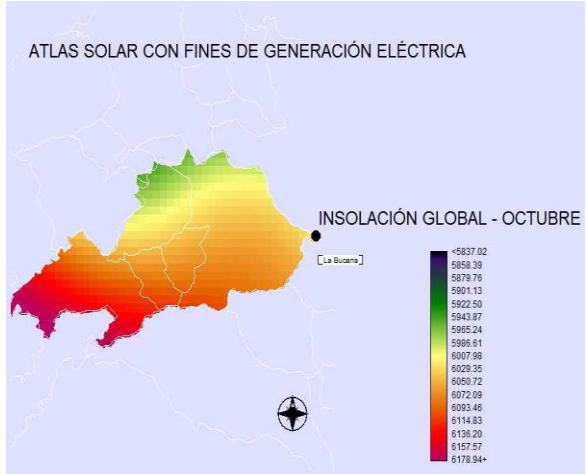
**ANEXO 4.8. Insolación Global para el mes de Agosto del cantón Celica.**



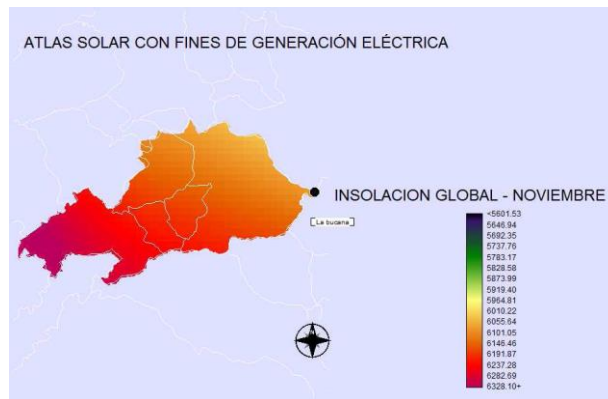
**ANEXO 4.9. Insolación Global para el mes de Septiembre del cantón Celica**



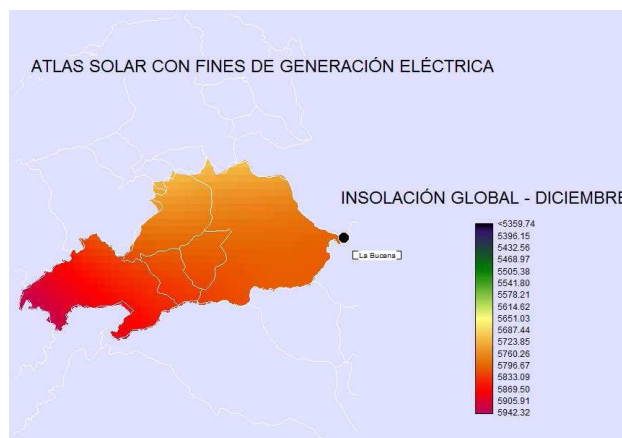
**ANEXO 4.10. Insolación Global para el mes de Octubre del cantón Celica.**



**ANEXO 4.11. Insolación Global para el mes de Noviembre del cantón Celica.**



**ANEXO 4.12. Insolación Global para el mes de Diciembre del cantón Celica.**



**ANEXO 5. Encuesta aplicada en los sectores rurales.**

**ANEXO 5.1. ENCUESTA SOBRE EL VIENTO EN LOS SITIOS DE INTERÉS.**

**Nombre:**..... **Fecha:** .....

**Cantón:** ..... **Lugar:**.....

**PATRÓN ESTACIONAL.**

**1. Subrayar los meses con mayor intensidad de viento.**

Enero	Mayo	Septiembre
Febrero	Junio	Octubre
Marzo	Julio	Noviembre
Abril	Agosto	Diciembre.

**2. Subrayar los meses con menor intensidad de viento.**

Enero	Mayo	Septiembre
Febrero	Junio	Octubre

Marzo

Julio

Noviembre

Abril

Agosto

Diciembre.

**3. Durante los meses con más viento, el rumbo de donde viene el viento la mayor parte del tiempo es del.**

Norte ( )

Este ( )

Sur ( )

Oeste ( )

**4. Durante los meses con menos viento, el rumbo de donde viene el viento la mayor parte del tiempo es del.**

Norte ( )

Este ( )

Sur ( )

Oeste ( )

### **PATRÓN DIARIO.**

**Durante los meses de viento.**

**5. Periodos del día en que hay viento:**

En la madrugada ( )

Por la mañana ( )

Al medio día ( )

Por la tarde ( )

Por la noche ( )

**6. Periodos del día en que el viento es más fuerte:**

En la madrugada ( )

Por la mañana ( )

Al medio día ( )

Por la tarde ( )

Por la noche ( )

**7. Rumbos de donde vienen los vientos más fuertes:**

Norte ( )

Este ( )

Sur ( )

Oeste ( )

Cambia constantemente ( )

**8. Según la escala de Beaufort, qué magnitud se aplica a los vientos fuertes más constantes.**

.....

**9. Número de horas al día, estimadas con vientos intensos:**

.....

**10. Los periodos sin viento ocurren:**

En la madrugada ( )

Por la mañana ( )

Al medio día ( )

Por la tarde ( )

Por la noche ( )

No hay un periodo definido ( )

**ANEXO 5.2. ENCUESTA SOBRE EL SOL EN LOS SITIOS DE INTERÉS.**

**Nombre:**..... **Fecha:** .....

**Cantón:** ..... **Lugar:**.....

**PATRÓN ESTACIONAL.**

**1. Subrayar los meses en que existe mayor, horas de sol.**

Enero	Mayo	Septiembre
Febrero	Junio	Octubre
Marzo	Julio	Noviembre
Abril	Agosto	Diciembre.

**2. Subrayar los meses en que existe menor, horas de sol.**

Enero	Mayo	Septiembre
Febrero	Junio	Octubre
Marzo	Julio	Noviembre
Abril	Agosto	Diciembre.

**PATRÓN DIARIO.**

**Durante los meses de invierno.**

**3. Periodos del día en que hay sol:**

Por la mañana ( ) ( )

Al medio día ( ) ( )

Por la tarde ( ) ( )

**4. Cuál es la temperatura promedio en el día.**

Alta ( ) Baja ( ) Irregular ( )

**5. Cuál es la temperatura promedio en la noche.**

Alta ( ) Baja ( ) Irregular ( )

**6. Periodos del día en que el sol es más fuerte:**

Por la mañana ( ) ( )

Al medio día ( ) ( )

Por la tarde ( ) ( )

**Durante los meses de verano.**

**7. En la mañana a qué hora sale el sol:**

( )

**8. Periodos del día en que el sol es más fuerte:**

Por la mañana ( ) ( )

Al medio día ( ) ( )

Por la tarde ( ) ( )

**9. En la tarde a qué hora se oculta el sol:**

( )

**10. Cuál es la temperatura promedio en el día.**

Alta ( ) Baja ( ) Irregular ( )

**11. Cuál es la temperatura promedio en la noche.**

Alta ( ) Baja ( ) Irregular ( )

**12. Número de horas al día, estimadas de sol**

( )



## ANEXO 6. Dimensionamiento de panel solar.

El estudio se realizó para una vivienda unifamiliar en el sector Miyugo de la parroquia el Cisne, cuyo consumo energético se lo presenta en la tabla la cual muestra los valores de una vivienda diseñada en función del interés social del sector.

	[W]	[h/día]	[Wh/día]
2 focos ahor.	40.00	4.00	160.00
Un radio	20.00	2.00	40.00
Televisor pequeño.	50.00	2.00	100.00
<b>Total</b>	<b>110.00</b>		<b>300.00</b>

Consumo energético de los artefactos.

Para el dimensionamiento de los paneles hemos tomado los valores del atlas solar un mes con más baja insolación, en la tabla muestra los valores de la insolación promedio de los datos satelitales de todos los meses durante un año en el sector Miyugo.

Mes	Insolación [kWh/m <sup>2</sup> día]
<b>Enero</b>	<b>4.5</b>
Febrero	4.6
Marzo	4.67
Abril	4.56
Mayo	4.56
Junio	4.6
Julio	4.7
Agosto	5.1
Septiembre	5.3
Octubre	5.36
Noviembre	5.4
Diciembre	5.3

Como se puede observar en la tabla, el mes de Enero tiene un valor más bajo de  $I_{solar} = 4.5 \text{ kWh/m}^2\text{día}$ .

Los valores para el cálculo de la potencia necesaria de los paneles FV son como sigue:

- Insolación  $I_{solar} = 4.5 \text{ kWh/m}^2\text{día}$
- Consumo energético de un día  $E_{consumo} = 380 \text{ Wh/día}$
- Factor de seguridad de  $f_s = 40 \%$
- Performance Ratio PR = 70 %
- Irradiación estándar  $1 \text{ kW/m}^2$

Con estos postulados la potencia pico para los paneles FV autónomos se calcula una aproximación de la potencia necesaria.

$$P = \frac{(1 + 0,4) * 300Wh}{0,7} \cdot \frac{1 \frac{kW}{m^2}}{4,5 \frac{kWh}{m^2}} = 133.3 W$$

Se va a trabajar con paneles de la empresa *EXMORK*. Estos paneles son de poli-cristalino y tienen una potencia de operación ( $P_o$ ) = 50 Wp (con AM = 1,0 y T = 25 °C).

Por lo tanto, el número de los paneles necesarios se calcula así:

$$n = \frac{133W}{50W} = 2,66$$

Así resulta, que hay que aplicar tres paneles con una potencia de 50 Wp para la región escogida. Los paneles son inclinadas con un ángulo de 15° y están ajustados hacia el norte.

### **Baterías.**

Con la formula (14), que incluye en este caso  $d_R = 3$  días de autonomía, una profundidad de descarga de  $PD = 50 \%$  y una tensión de  $U_{Bat} = 12 V$  la capacidad de las baterías sería:

$$C = \frac{300Wh}{12V * 0,5} \cdot 3 = 150 Ah$$

Con esta capacidad se puede elegir por ejemplo la batería de la empresa *CAPSA* “SP 100”, que es una batería plomo-ácido y tiene una capacidad de 100 Ah/12V. El número de los baterías con este modelo sería en este caso:

$$n = \frac{150Ah}{100Ah} = 1,5; 2 \text{ Baterías}$$

El mismo proceso se realizó para sector Miyugo.

DATOS		SIMBOLOGÍA	VALOR	UNIDADES
Insolación global		I	4.9	kWh/m <sup>2</sup> día
Consumo energético de un día		E	300	Wh/día
Factor de seguridad		fs	0.4	
Performance Ratio		PR	0.7	
Irradiación estándar		i	1	kW/m <sup>2</sup>
Cálculo de la potencia necesaria.		PMPP		
Potencia	122.4			W
Potencia de operación		Po	50	Wp
Número de paneles necesarios		n		
n	2.45	→	3	
Se necesita 3 paneles de 50 wp				

## **ANEXO 7. Diseño de Anteproyecto**