

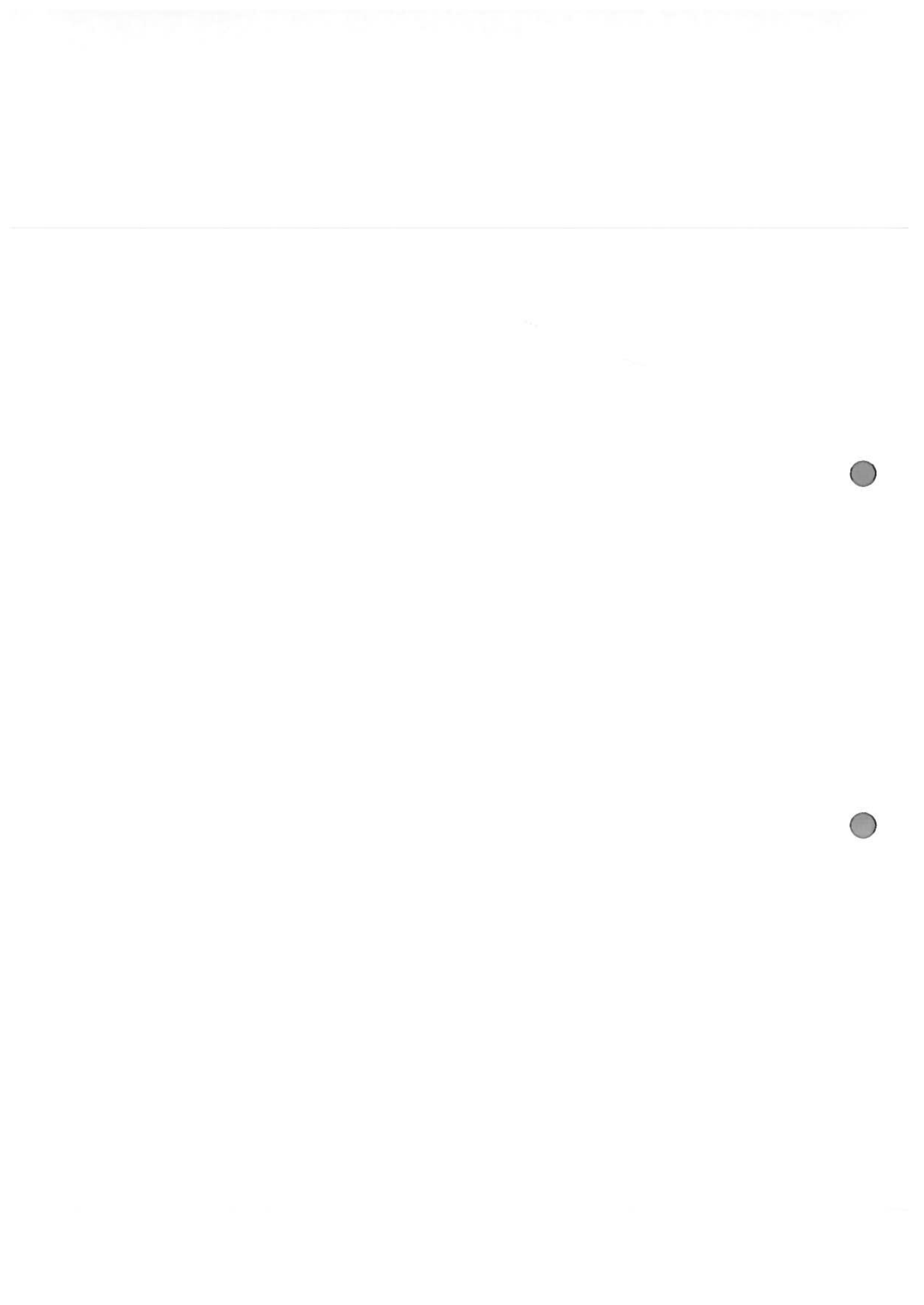
**INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES  
INER**

**PROYECTO :**  
**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO  
EN CONDICIONES EXTREMAS**  
**CUP: 915.10000.1484.6234**

**AUSPICIANTE(S) RESPONSABLE(S):**  
**Gonzalo GUERRON / Coordinación General Técnica INER**

**INFORME PARCIAL ELABORADO POR :**  
**Emmanuelle QUENTIN**  
**Con la colaboración de :**  
**Jorge MALDONADO, UNL**  
**Elizabeth VELASCO, INER**

**Quito, Agosto de 2013**



## **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO EN CONDICIONES EXTREMAS**

### **Informe de actividad para GPR**

**Actividad** : Informe técnico de fuentes de información para el sistema geomático.

**Actividad anterior (GPR)** : Delimitación de la zona de estudio para la modelación del viento.

**Resultado** : min. X : 675000; max. X : 709000; min. Y : 9535000; max. Y : 9579000 (UTM-17S WGS84)

**Definición** : a lo largo de los informes del proyecto, se define el concepto de "zona de estudio" como el rectángulo geográfico en el cual se llevará a cabo la modelación del viento y los análisis espacio-temporales en el SIG y con el modelo CFD. En el caso de Villonaco, incluye la zona del parque eólico (que en realidad no tiene fronteras legales precisas, se define más por la ubicación de los aerogeneradores) y su zona de influencia.

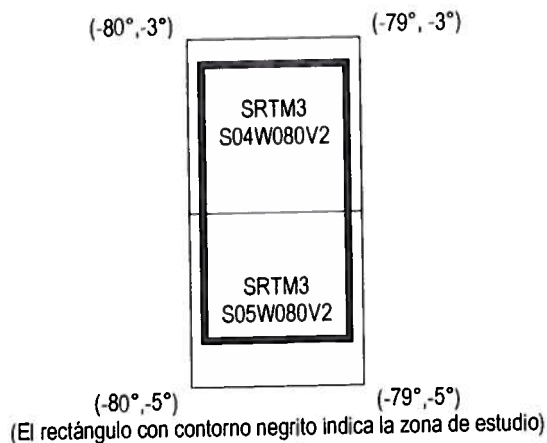
### **Contenido**

1. Obtención de una capa de altitud .....	3
2. Obtención de una capa adicional para la base de geodatos del SIG .....	6
3. Obtención de una capa satelital para derivar rugosidad .....	7
4. Obtención de otras capas adicionales para la base de geodatos del SIG .....	12

## 1. Obtención de una capa de altitud

Una de las capas más importantes en la mayoría de los proyectos que involucran el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) es la capa que representa la altitud de la zona de estudio y que se suele llamar Modelo Numérico de Altitud (MNA, o *Digital Elevation Model, DEM*, en inglés). La fuente, probablemente de las más utilizadas según la literatura, es una imagen radar de la *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, obtenida por medio de una misión del transbordador espacial *Endeavour*, realizada del 11 al 22 de febrero de 2000, con 2 sensores radar: SIR-C (*Space borne Imaging Radar*, banda espectral C : 5.8 cm) y X-SAR (*Synthetic Aperture Radar*, banda espectral X : 3 cm). La misión cubrió más del 80% del planeta entre 60°N y 56°S, con valores cada 1 segundo de arco (unos 30 metros).

Cada cuadrante disponible cubre un cuadro de 1 grado por 1 grado. Para la zona de estudio se tiene que seleccionar :



Los datos se pueden descargar del sitio : <http://earthexplorer.usgs.gov/>

En la pestaña *Data Sets*, dentro del rubro *Digital Elevation*, se selecciona la opción *SRTM Void Filled*

Los resultados de imágenes disponibles son :

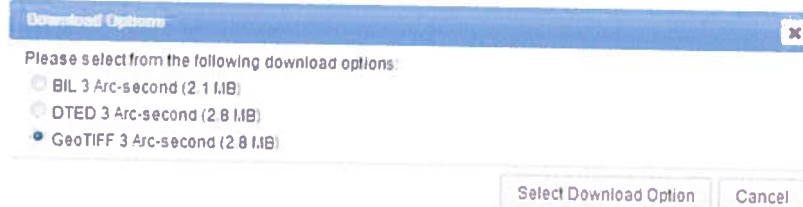
Data Set  
SRTM Void Filled

« First » « Previous » 1 « Next » « Last »

Displaying 1 - 2 of 2

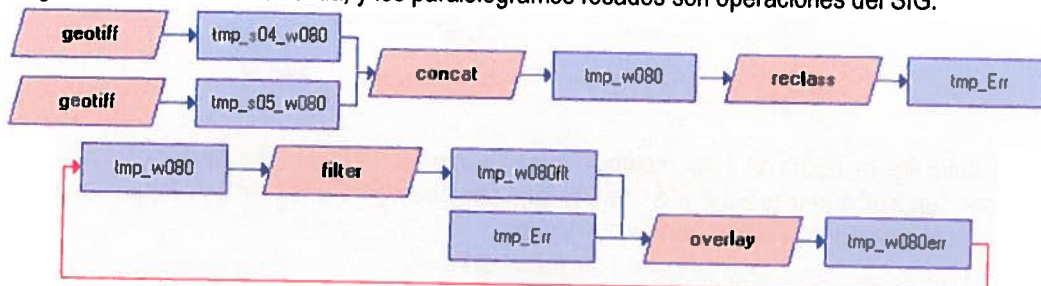
1		<p>Entity ID: SRTM3S05W080V2            Publication Date: 01-OCT-12            Resolution: 3-ARC            Coordinates: -5 , -79</p>
2		<p>Entity ID: SRTM3S04W080V2            Publication Date: 01-OCT-12            Resolution: 3-ARC            Coordinates: -4 , -79</p>

Al dar clic sobre el icono para descargar cada uno de los cuadrantes, se debe seleccionar uno entre 3 formatos: el formato .tif incluye la georeferenciación del cuadrante, lo que puede facilitar su importación.



Estas 2 imágenes, descargadas en formato .tif, requieren ser importadas en el SIG, concatenadas, corregidas (para dar valores a los píxeles con ausencia de información), proyectadas (de latitud/longitud a UTM zona 17 Sur con Datum WGS84) y cortadas a la zona de estudio seleccionada. Al momento de proyectar, se puede seleccionar la resolución final, es decir el tamaño en X y Y del píxel (o celda) de la matriz. Originalmente, estas imágenes fueron obtenidas con resolución de 1 segundo de arco (unos 30 m), pero para zonas fuera de Estados Unidos, son disponibles en Internet a 3 segundos de arco (unos 90 m).

Los procesos se pueden conservar como macro-modelos en el software Idrisi, lo que permite repetirlos adecuando parámetros, o aplicar a otras zonas. Los rectángulos morados son las imágenes de entrada o de salida, y los paralelogramos rosados son operaciones del SIG.

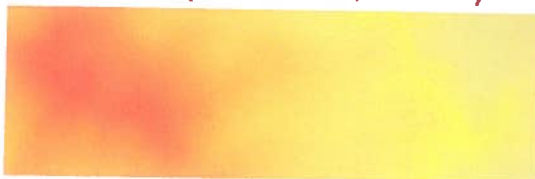


La flecha roja indica un bucle: en caso de la imagen resultante de la concatenación, hay que repetir el proceso 5 veces para que se completen los huecos (celdas con valor de -32767 indicando que no se midió valor de altitud) por un proceso de filtro adaptivo, el cual llena una celda sin valor con la media de sus celdas vecinas que tengan valores válidos.

Para fines de pruebas ulteriores, se genera el MNA a varias resoluciones: 100 m (número redondo más cerca de la resolución de descarga) y 5 m para poder combinar con la imagen satelital RapideEye de la cual se pretende obtener la cobertura de suelo y luego la rugosidad del terreno.

Visualmente, las imágenes en sus varias resoluciones se ven muy similares, pero al dar un zoom en una zona particular, en la imagen a 100m se nota la división en píxeles mientras que en la imagen a 5m, se sigue viendo más continuidad.

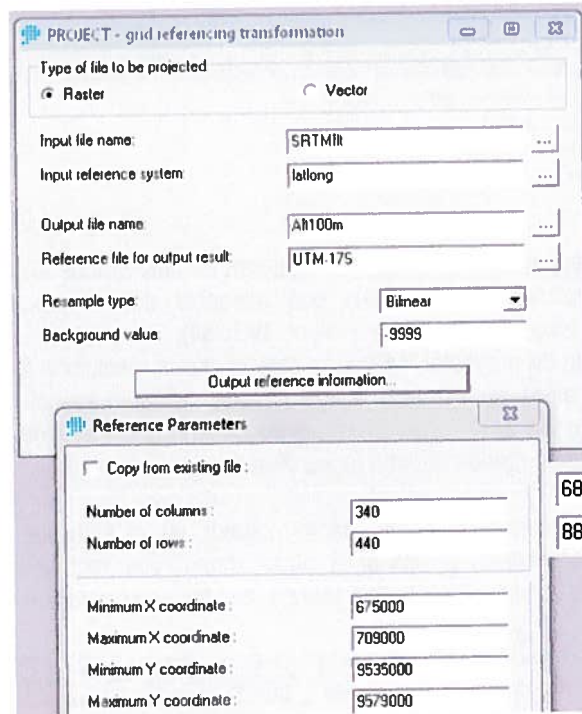
**Altitud (m, res:5m, SRTM)**



**Altitud (m, res:100m, SRTM)**



Los parámetros para aplicar la operación de proyección de la imagen SRTM completada son los siguientes :



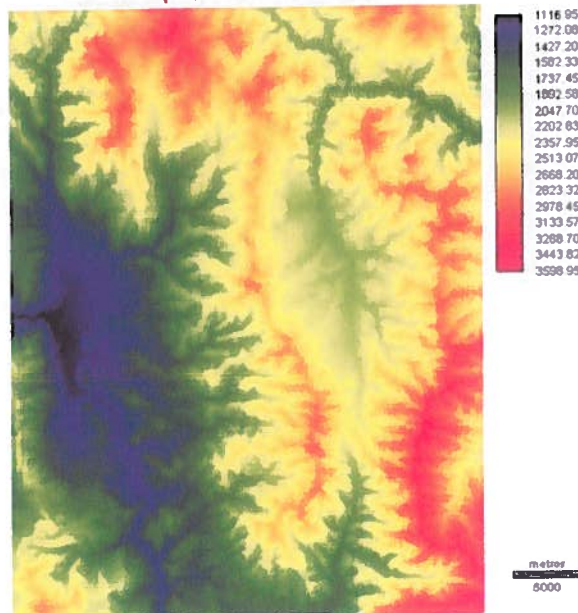
Valores a colocar  
para generar la  
imagen a 5  
metros  
de  
resolución.

6800

8800

La siguiente figura ilustra el MNA obtenido para la zona de estudio. Se aprecian el valle de Catamayo (en azul a la izquierda) y la hoya de Loja (en verde claro a la derecha) separados por el filo en el cual se encuentra el parque eólico Villonaco.

**Altitud (m, res:100m, SRTM)**





## 2. Obtención de una capa adicional para la base de geodatos del SIG

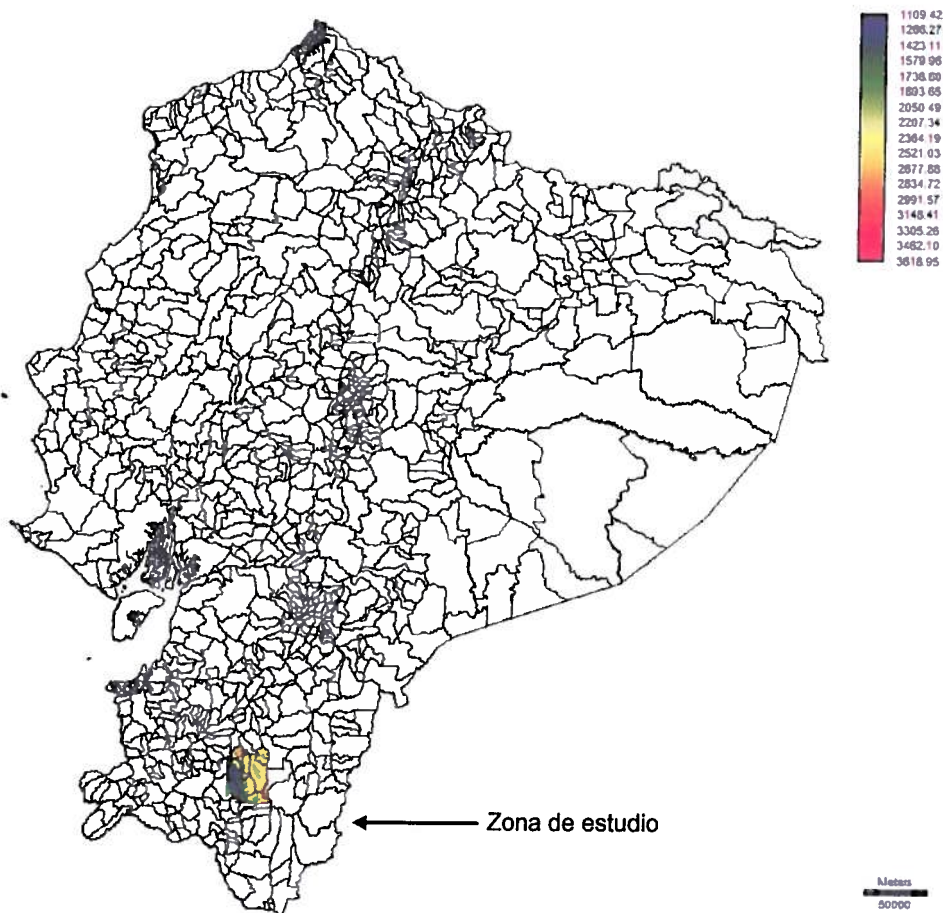
Para completar la base de geodatos, se tiene que conseguir varias capas adicionales.

Primero se consideran las capas de límites administrativos dado que permiten completar las composiciones cartográficas que se realizarán a lo largo del proyecto.

Organismo fuente	Capas	Formato	Fecha del dato
INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)	Límites de provincias / cantones / parroquias	Vectorial (Shapefiles)	Diciembre 2012

La información más fina consiste en polígonos que delimitan las parroquias. Estas se agrupan en cantones que a su vez se agrupan en provincias.

Hay que indicar que estos límites permiten enlazar con información de los censos recabados por el INEC, pero no son límites oficiales (los cuales son de acceso restringido y a cargo de la Comisión Especial de Límites Internos del Ministerio del Interior).



Límites parroquiales de Ecuador continental (INEC, 2012)

### 3. Obtención de una capa satelital para derivar rugosidad

Una fuente de datos que puede permitir obtener la rugosidad del terreno, tal como se requiere en la modelación del viento, es una imagen satelital multiespectral (es decir que proporciona la reflectancia del suelo en diversas bandas del espectro electromagnético).

Existen imágenes disponibles en Internet (Landsat a 30 m de resolución), pero para tener un modelo más fino, se compraron imágenes del satélite RapidEye (constelación de 5 satélites alemanes enviados en 2008), el cual captura los datos a 5 m de resolución en 5 bandas espectrales y se proporciona por escenas de aproximadamente 77 x 60 km<sup>2</sup>. Para cubrir la zona, se necesita una parte de 6 escenas. Y para minimizar las zonas cubiertas con velo nuboso o nubes opacas, se tuvo que escoger imágenes del año 2011 (antes de la colocación de los 11 aerogeneradores del parque Villonaco).

El siguiente esquema indica cómo se tendrán que pegar las 6 sub-escenas, indicadas por su número de identificación seguido en negrita de la fecha de toma. El marco delimitado en negrita representa la zona de estudio.

1737322 <b>13/08/2011</b>	1737323 <b>13/08/2011</b>
1737222 <b>13/08/2011</b>	1737223 <b>21/11/2011</b>
1737122 <b>13/08/2011</b>	1737123 <b>21/11/2011</b>

El nivel de tratamiento, codificado "3A" significa que la información obtenida es ortorectificada sin control local. Así, no se debería tener que aplicar correcciones geométricas (a menos de encontrar inconsistencias de ubicación con otras capas que estén georeferenciadas con alta precisión).

Para tener una primera visualización de la información adquirida, se pospone a una fase ulterior los procesos de correcciones radiométricas y sólo se procede a la importación de las 6 escenas parciales en sus 5 bandas (30 imágenes) y a la conformación del mosaico de la 6 escenas para cada una de la banda espectral :

- 1) Azul : 440-510 nm
- 2) Verde : 520-590 nm
- 3) Rojo : 630-685 nm
- 4) Rojo fronterizo (*red-edge*) : 690-730 nm
- 5) Infrarojo cercano : 760-850 nm



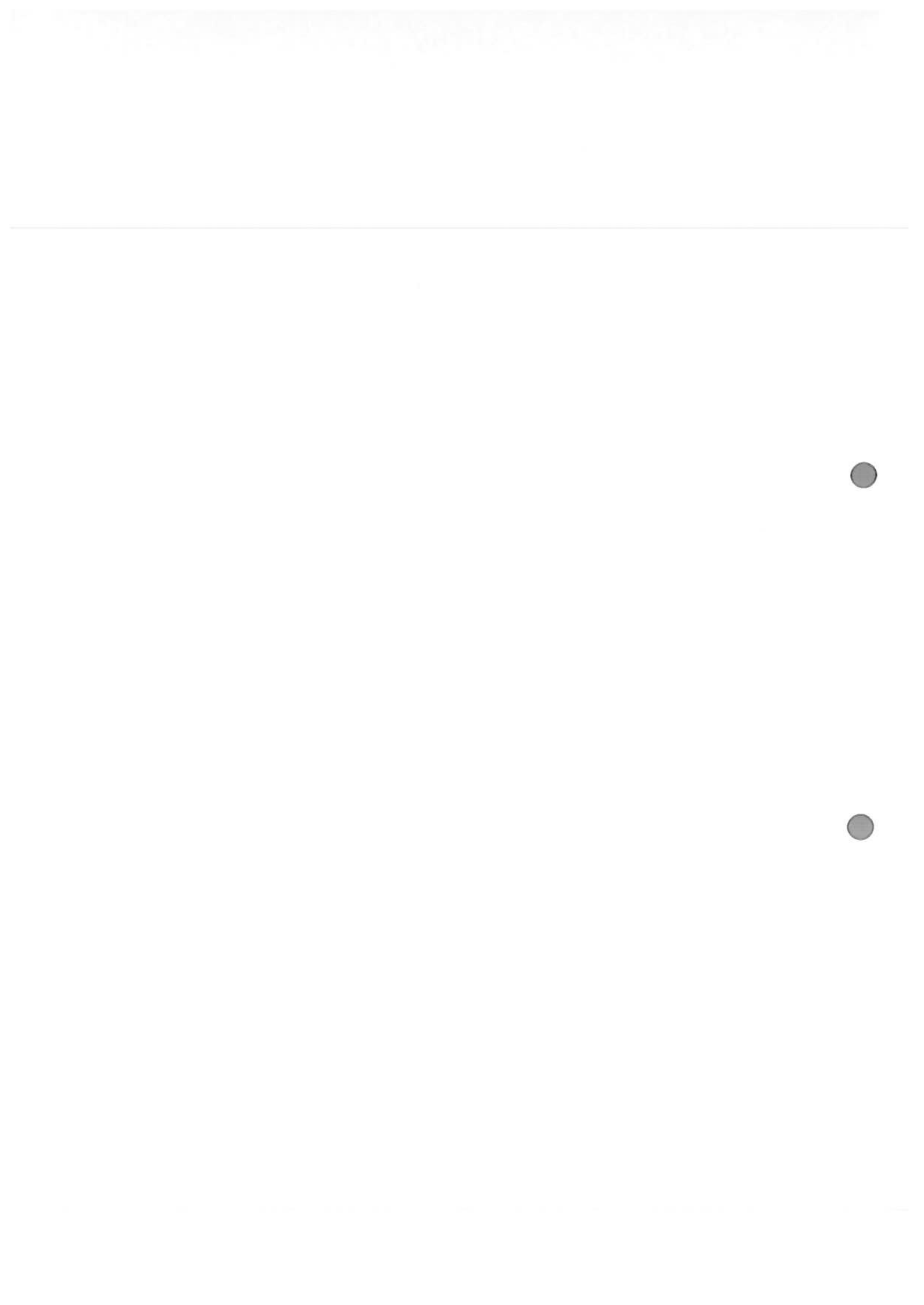
**INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES  
INER**

**PROYECTO :  
ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO  
EN CONDICIONES EXTREMAS  
CUP: 915.10000.1484.6234**

**AUSPICIANTE(S) RESPONSABLE(S):  
Gonzalo GUERRON / Coordinación General Técnica INER**

**INFORME PARCIAL ELABORADO POR :  
Emmanuelle QUENTIN  
Con la colaboración de :  
Jorge MALDONADO, UNL  
Elizabeth VELASCO, INER**

**Quito, Junio de 2013**



## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO EN CONDICIONES EXTREMAS

### Informe de actividad

**Actividad :** Determinar el marco de estudio que permita modelar el viento en las turbinas e identificar la zona de influencia según la orografía.

### Contenido

1. Introducción .....	2
2. Marcos de estudios anteriores .....	2
3. Metodología propuesta .....	3
4. Propuesta resultante .....	3
5. Conclusiones y recomendaciones.....	5
6. Referencias.....	5

#### 1. Introducción

El proyecto "Análisis del comportamiento de un parque eólico en condiciones extremas" tiene como objetivo principal estudiar en detalle el funcionamiento del parque eólico Villonaco, ubicado en la provincia de Loja, dado que es el primero a ser instalado en Ecuador continental, y particularmente en la sierra. Una primera fase del proyecto se tiene que enfocar a la caracterización tanto espacial como temporal de las variables eológicas que pueden afectar al comportamiento de las turbinas instaladas, en particular la variación de la velocidad y dirección del viento. Pero para la recopilación de datos georeferenciados y la modelación climática y ambiental, se necesita definir un marco o extensión espacial sobre la cual se efectuarán los análisis geomáticos en el Sistema de Información Geográfica (SIG). Con analogía a las cuencas hidrográficas, se busca definir la cuenca eólica, es decir toda la zona que puede afectar al lugar donde están ubicados los aerogeneradores.

Cabe destacar que la mayoría de los estudios para aprovechamiento energético del viento, hasta ahora, suelen efectuarse previo a la instalación de parques. En el caso del presente proyecto, se trata de un análisis a posteriori en el cual los aerogeneradores ya están instalados y en funcionamiento.

#### 2. Marcos de estudios anteriores

En estudios de prefactibilidad y factibilidad, se han generado mapas que podrían servir de base al estudio que se propone. En particular, se ha tenido acceso hasta la fecha a tres fuentes de mapas.

- a) Un marco previamente utilizado por el Gobierno Provincial de Loja (GPL), pero sin fuente y por lo tanto sin justificación, está delimitado por las siguientes coordenadas en el sistema de proyección UTM-17S con datum WGS84 (habitualmente utilizado en Ecuador) :

<b>Xmin</b>	686952.21	<b>Xmax</b>	703117.67
<b>Ymin</b>	9549867.10	<b>Ymax</b>	9565065.65

Lo que da una extensión de unos 16 km en X, y de 15 km en Y, es decir una superficie de 246 km<sup>2</sup> (ver figura abajo).

- b) También se puede considerar el área de influencia considerada en el Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para el Proyecto Parque Eólico Villonaco (Enerloja, 2004), pero es similar al dato anterior y tampoco se encuentra una justificación precisa.
- c) En documentos relacionados con el software de CFD (Computational Fluid Dynamics,) WindSim, el cual se utilizará en el proyecto para la modelación del recurso eólico, tampoco existe un dato preciso para decidir el tamaño de zona a modelar, sólo en unos ejemplos de aplicación se sugiere seleccionar una zona entre 10 y 15 km alrededor de los aerogeneradores (Walbank, 2008; Lee *et al.*, 2009)

### 3. Metodología propuesta

- En caso de un parque existente, el primer paso consiste en conseguir la ubicación geográfica precisa de las turbinas instaladas.
- Luego, hay que revisar los parámetros que influyen sobre el viento en la zona, principalmente la forma del terreno, la cual se deriva del Modelo Numérico de Altitud (MNA) en los Sistemas de Información Geográfica (SIG); y también la rugosidad, que depende de la ocupación del suelo. La orografía en zonas no planas puede dar indicaciones importantes sobre barreras a la circulación del viento.
- Para también considerar cuestiones de impactos, en particular en el campo social, se puede tomar en cuenta límites administrativos (parroquias) en la cercanía del parque instalado.

### 4. Propuesta resultante

Por lo cual, en esta etapa inicial del proyecto, se pretende utilizar una extensión más amplia que lo posiblemente necesario para asegurar que a lo largo del trabajo no se tendrá que volver a procesar una zona más grande. Resultará más fácil hacer un corte después de ver la zona verdaderamente impactante sobre el comportamiento del viento.

En cuanto a límites administrativos que se quieren incluir por completo en el marco, serían las parroquias de Loja, Catamayo, Tambo y Taquil puesto que todas colidan con el cerro Villonaco.

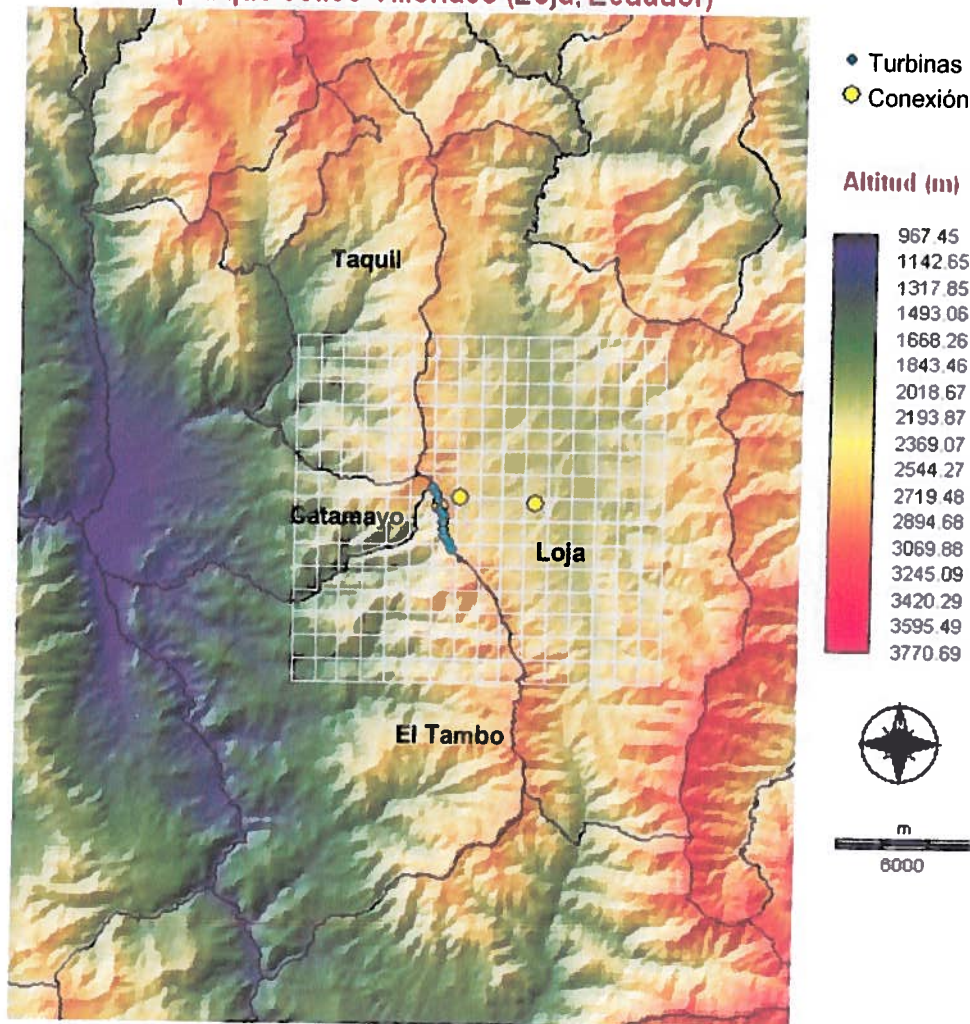
El marco recomendado se despliega a continuación : cubre un rectángulo de 1496 km<sup>2</sup> (34 km en X por 44 km en Y) con altitudes desde 967 m a 3770 m. Permite abarcar las dos cuencas que rodean al cerro Villonaco, es decir el valle de Catamayo y la hoya de Loja.

La característica de la capa matricial de altitud que se recortó de la imagen satelital SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) es la siguiente, en el sistema de proyección UTM-17S con datum WGS84 :

	mínimo	máximo	Resolución	100 m	50 m	10 m	5m
X	675000	709000	Columnas	340	680	3400	6800
Y	9535000	9579000	Renglones	440	880	4400	8800

Si se trabaja a la resolución de 100 m, la zona ocupa 340 columnas por 440 renglones, con un total de 149600 pixeles. Se podrá trabajar a resoluciones menores, probablemente en la vecindad de los aerogenerados una vez descartadas las zonas demasiado alejadas, considerando que el MNA original es a 30 m (pero no disponible en Internet) y se pueden conseguir imágenes satelitales 30 m (Landsat), hasta 5 m (RapidEye) para derivar la rugosidad. El cambio de resolución se puede obtener por métodos de interpolación u otras técnicas de "downscaling", sin olvidar que se pierde precisión. La resolución final de trabajo se podrá determinar en función de la precisión espacial de los datos recopilados, y del tiempo requerido para correr el modelo CFD (el cual depende también de las computadoras que serán utilizadas para la simulación).

### Marco inicial de estudio del parque eólico Villonaco (Loja, Ecuador)



(Nota : la rejilla gris claro es del marco GPL)

## 5. Conclusiones y recomendaciones

El marco seleccionado en esta etapa permitirá realizar la colecta de toda la información y datos georeferenciados disponibles en esta zona.

Este marco es probablemente más amplio de lo necesario. Por lo cual, en la fase de simulación con un modelo CFD, se podrá revisar si el área debe reducirse en función de dos criterios: la comprobación que los fenómenos eólicos se generan a una distancia definida de los aerogeneradores, y la cuestión del tiempo de procesamiento informático (más celdas implica una simulación más tardada).

Al final, se pretende llegar a una metodología genérica de definición de marco para que se pueda aplicar en otros proyectos de parques eólicos a futuro.

## 6. Referencias

Enerloja (2004). Estudio de Impacto Ambiental Definitivo (EIAD) Parque Eólico "Villonaco". Enerloja S.A. – Protocol Energy Inc. Preparado por Whistler Cia. Ltda.

Enerloja (2004). Estudio de Impacto Ambiental Definitivo de la Línea de Subtransmisión Villonaco – Loja de 69 kV, Subestación Villonaco y Subestación Loja. Preparado por Whistler Cia. Ltda.

Lee, M., S.H. Lee, N. Hur y C. Choi (2009). A numerical simulation of flow field in a wind farm on complex terrain. The 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, November 8-12, 2009, Taipei, Taiwan.

Wallbank, T. (2008). Windsim validation study CFD validation in complex terrain. Technical report, WindSim.