

**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 :
Elizabeth VELASCO, INER
Ibeth JAIME, INER
Jorge MALDONADO, UNL

Quito, Octubre de 2013

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO EN CONDICIONES EXTREMAS

Informe de obtención de la capa de rugosidad

Contenido

1. Introducción.....	2
2. Capa de rugosidad a 500 m de resolución	2
3. Capa de rugosidad a 200 m de resolución	3
4. Capa de rugosidad a 5m de resolución	4
4.1. Obtención de una capa satelital para derivar rugosidad	4
4.2. Procedimiento tradicional para clasificación	5
4.3. Propuesta nueva para obtener la rugosidad	6
5. Referencias	7
6. Anexo : metadatos de la imagen satelital RapidEye	7

1. Introducción

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.

En un informe anterior, se delimitó la zona de estudio para la modelación del viento con las siguientes coordenadas:

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

Para la modelación de viento, se requiere la información de rugosidad del terreno, la cual representa una fricción al movimiento del aire.. Esta variable suele expresarse como longitud de rugosidad en metros con valores entre 0 y ligeramente superior a 1.

2. Capa de rugosidad a 500 m de resolución

En una primera instancia, se consiguió una fuente de información libremente accesible (https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mcd12q1), es decir un producto generado a partir del sensor MODIS.

El producto seleccionado tiene como siglas MCD12Q1 y es un mapa de cobertura de suelo anual, basado en la clasificación de los índices de vegetación.

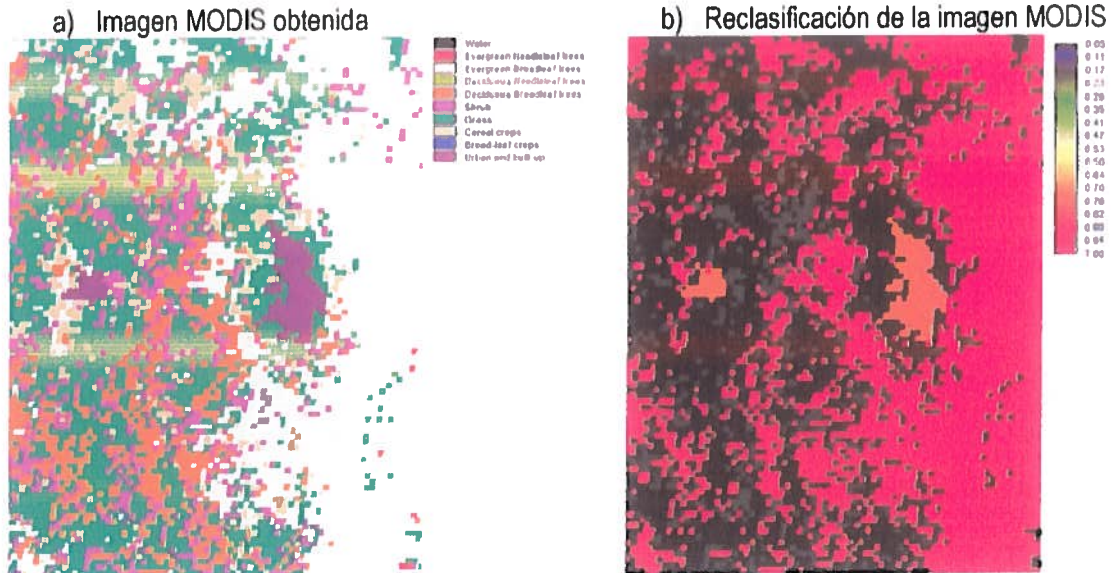
En la siguiente tabla, se indica la leyenda original en inglés, su correspondiente en español y el factor de rugosidad que se puede asignar a cada clase, según las clasificaciones habituales encontradas en la literatura.

MCD12Q1 Clasif 5	Nombre (inglés)	Nombre (español)	Factor de rugosidad
0	Water	Agua	0.0001
1	Evergreen Needleleaf trees	Bosque siempreverde (agujas)	1
2	Evergreen Broadleaf trees	Bosque siempreverde (hojas)	1
3	Deciduous Needleleaf trees	Bosque caducifolio (agujas)	1
4	Deciduous Broadleaf trees	Bosque caducifolio (hojas)	1
5	Shrub	Arbustos (matorral)	0.2
6	Grass	Pasto	0.05
7	Cereal crops	Cultivos (cereales)	0.05
8	Broad-leaf crops	Cultivos	0.06
9	Urban and built-up	Urbano y construido	0.75
10	Snow and ice	Nieve y hielo	0
11	Barren or sparse vegetation	Desnudo o vegetación dispersa	0.03
254	Unclassified	No clasificado	
255	Fill Value		0.5

Los mapas presentados a continuación ilustran :

- la capa de cobertura 2010 ajustada a la zona de estudio (por medio de una proyección desde el sistema de referencia modis-sinusoidal a UTM17S-WGS84

b) la capa de rugosidad obtenida por reclasificación de la imagen anterior según los valores de la tabla

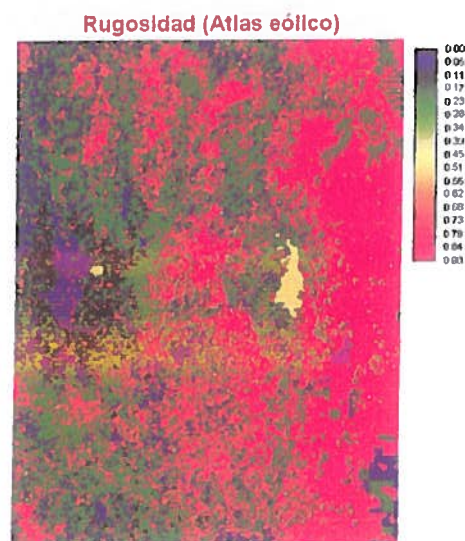


Se nota que para la zona de estudio la información podría no ser suficientemente fina. Estos datos disponibles al nivel mundial suelen servir para análisis más regionales o globales.

3. Capa de rugosidad a 200 m de resolución

Otra fuente directa de rugosidad proviene del Atlas eólico del Ecuador (MEER, 2013), el cual reclasificó a 200 m los usos del suelo de la base GeoCover-LC, elaborada por MDA Federal, con una resolución de 28,5 m.

Esta capa que cubre todo Ecuador sólo requiere ser cortada a la zona de estudio :



4. Capa de rugosidad a 5m de resolución

A fin de poder realizar análisis de sensibilidad, se consiguió otra fuente satelital a 5 metros para obtener una capa de rugosidad más detallada.

4.1. 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 km². Para cubrir la zona, se necesita una parte de 6 escenas. Y para minimizar las zonas cubiertas con velo nubloso 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 13/08/2011	1737323 21/11/2011
1737222 13/08/2011	1737223 21/11/2011
1737122 13/08/2011	1737123 21/11/2011

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).

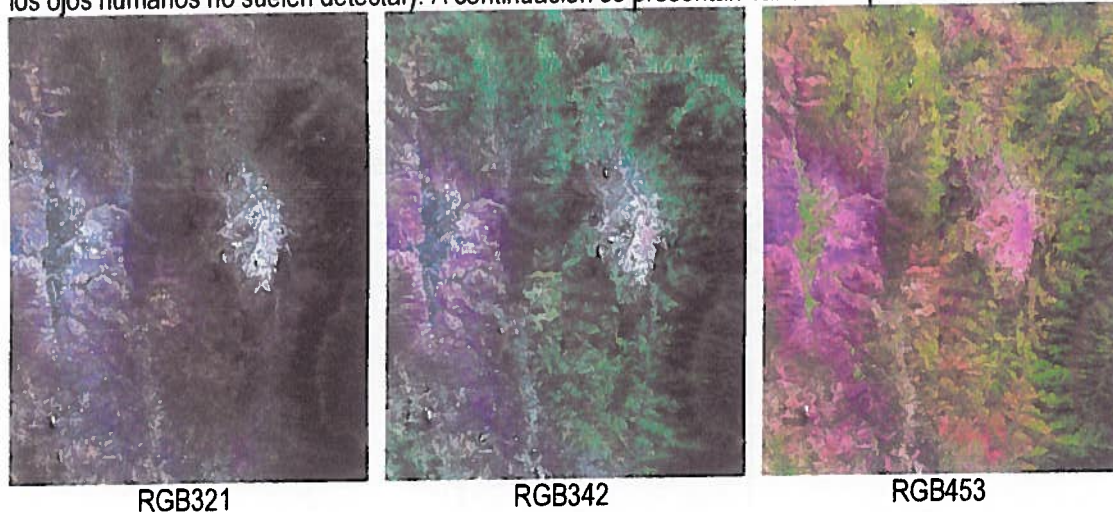
Los valores de las imágenes son proporcionados como DN (Digital Number). Para convertir DN a radiancia, se tiene que multiplicar por el factor de escala radiométrica 0.01 para obtener un valor en watts per steradian per metro cuadrado per micrometro ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)



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

Dado que se consiguieron varias bandas, se suele realizar compuestos colocando una banda en cada uno de los 3 canales de color (RGB por su inicial en inglés : *Red* – rojo, *Green* – verde, *Blue* – azul). El compuesto que corresponde a la visión por los ojos humanos utiliza las bandas correspondientes a los canales RGB. Pero este compuesto no suele diferenciar mucho las clases de cobertura de suelo, mientras que el uso de una banda infra-rojo proporciona más información (que los ojos humanos no suelen detectar). A continuación se presentan varios compuestos :



Este compuesto muestra una mejor diferenciación visual de las distintas clases de ocupación del suelo, porque utiliza la banda infra-rojo. También se observa el problema de continuidad entre las imágenes de fechas diferentes (unas son de agosto, otras de noviembre de 2011). Cabe indicar que, en la operación de clasificación de la imagen, se utilizan todas las bandas disponibles.

4.2. Procedimiento tradicional para clasificación

El proceso de clasificación de imágenes satelitales en una imagen de cobertura del suelo requeriría aplicar los siguientes tratamientos a las sub-escenas :

- 1) Corrección atmosférica (de las 30 imágenes por separado)
- 2) Conformación del mosaico de las 6 sub-escenas para cada banda espectral
- 3) Extracción de la sub-ventana correspondiente a la zona de estudio
- 4) Corrección topográfica (para quitar el cambio en la reflectancia debida al relieve)
- 5) Clasificación de la imagen resultante (implica varias sub-etapas)

6) Conversión de las clases de ocupación del suelo a valores de rugosidad

En anexo, se indican los parámetros requeridos para la corrección atmosférica. El resultado obtenido en una primera prueba no dio un resultado suficientemente satisfactorio. Además el proceso completo de clasificación es largo.

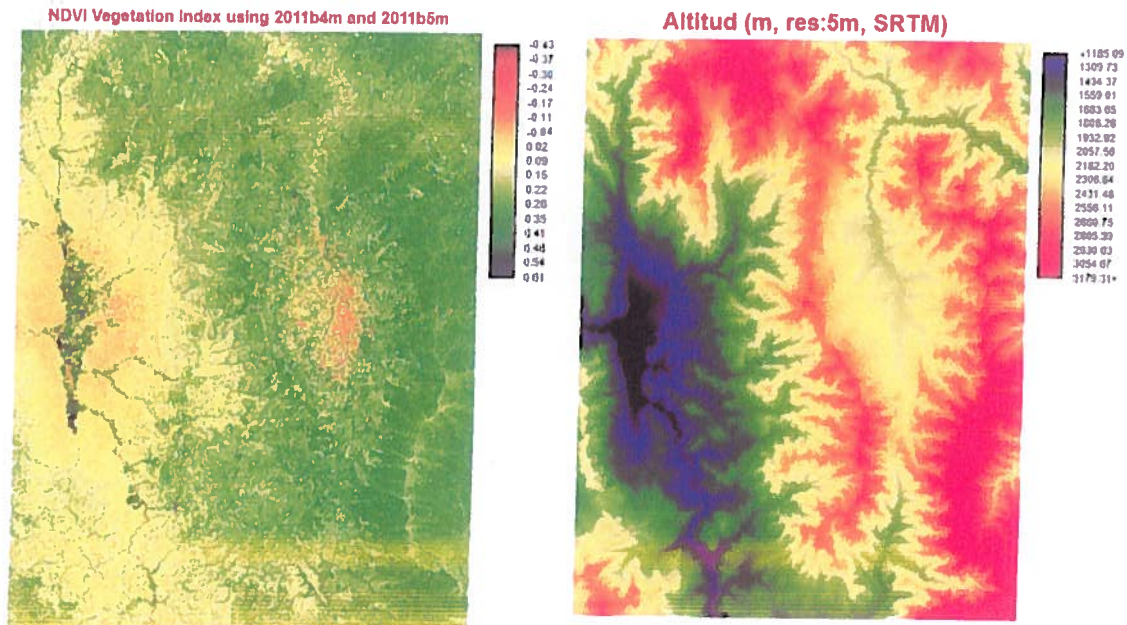
Dado que se busca un valor cuantitativo como resultado final (rugosidad) y no tanto cualitativo (clases de ocupación de suelo, que es sólo una capa intermedia), se buscó otra metodología alternativa de obtención de la capa de rugosidad.

4.3. Propuesta nueva para obtener la rugosidad

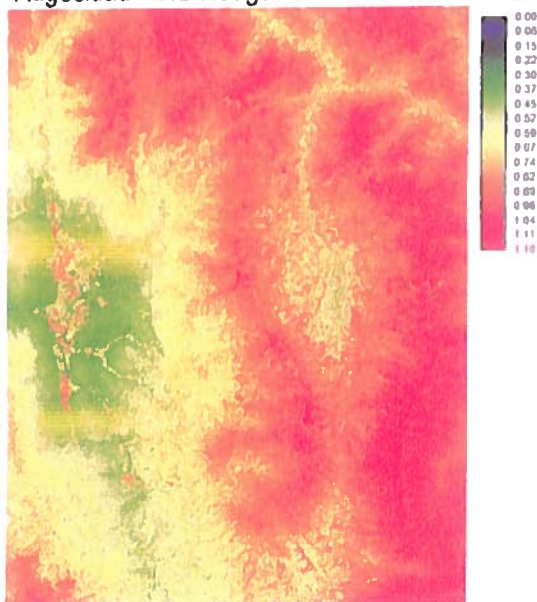
Hipótesis : la rugosidad depende de la vegetación y de la altitud.

Método : el índice de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) puede servir de indicador para obtener la rugosidad; utilizando la capa de rugosidad del atlas eólico, se obtiene una aproximación de la regresión entre NDVI y altitud (variables independientes) y la rugosidad del terreno (variable dependiente).

La ecuación de regresión se expresa de la siguiente forma : $(NDVI_{edge} \times 0.9) + (Alt \times 0.0002) + 0.14$
Se ha probado con el NDVI basado en la banda roja ($IR - R / IR + R$), y con el NDVI basado en el rojo fronterizo ($IR - R_{edge} / IR + R_{edge}$), el último dando mejor resultado porque diferencia mejor los cultivos del bosque.



$$\text{Rugosidad} = \text{NDVI}_{\text{edge}} * 0.9 + \text{Alt} * 0.0002 + 0.14$$



Esta propuesta de nueva metodología necesitará validaciones ulteriores para ser publicada pero ofrece una alternativa interesante más precisa que la clasificación de imágenes.

5. Referencias

MEER (2013). Atlas eólico del Ecuador, con fines de generación eléctrica. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. 56 p. (.pdf)

MODIS (2012). User Guide for the MODIS Land Cover Type Product (MCD12Q1). Last Updated : Aug 8, 2012. http://www.bu.edu/lcsc/files/2012/08/MCD12Q1_user_guide.pdf, https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mcd12q1

RapidEye (2012). Satellite Imagery. Product Specifications. Version 4.1. 44 p. (.pdf)

6. Anexo : metadatos de la imagen satelital RapidEye

Parámetros requeridos para la corrección atmosférica

Escena	Year	Month	Day	GMT	Hora decimal	Sun elevation	
1737322	2011	08	13	16:36:59739389	16.6165942747222	68.43016	31.22101
1737222	2011	08	13	16:37:03.176510	16.617549030555	68.25309	30.90812
1737122	2011	08	13	16:37:06.617380	16.61850482777	68.07536	30.60033
1737323	2011	11	21	16:33:44.774652	16.56243740333	72.38132	157.1143
1737223	2011	11	21	16:33:48.208026	16.563391118333	72.58551	156.8895
1737123	2011	11	21	16:33:51.641401	16.5643448336111	72.78944	156.6593

Banda	Min (nm)	Max (nm)	Mid (nm)	Radiometric Scale Factor
Blue	440	510	475	0.01
Green	520	590	555	0.01
Red	630	685	657.5	0.01
Red Edge	690	730	710	0.01
NIR	760	850	805	0.01

Nivel digital del velo atmosférico (Dn haze) :
se identificó el valor DN en cuerpos de agua de cada banda y fecha

Banda	Imagen Agosto (08)	Imagen Noviembre (11)
Celda	c: 3735; r: 4583	c: 3640; r: 10688
1	4424	3682
2	3048	2216
3	1643	1116
4	1581	776
5	1301	798

Informe de actividades del proyecto "Análisis del comportamiento de un parque eólico en condiciones extremas", agosto-octubre de 2013

Elaborado por :



Emmanuelle Quentin, Ph. D.
Investigadora
INER

Revisado por :



Gonzalo Guerrero, M. Sc.
Director del proyecto
Coordinación General Técnica, INER

Quito, 31 de octubre de 2013