

MAPEO EÓLICO DEL VALLE DE LERMA (SALTA – ARGENTINA)

Silvina Belmonte¹, Julia Tügel de Monrós², Judith Franco³, Virgilio Núñez⁴, Silvina Manrique⁵, Héctor Mattio⁶
CONICET - Universidad Nacional de Salta
CIUNSa - IRNED – INENCO - GEONORTE
Avda. Bolivia 5150 – B° Castañarez – CP 4400 - Salta
Tel.: 0387-4255438 –
E-mail: silvibel@unsa.edu.ar

RESUMEN

Se planteó el mapeo del recurso eólico del Valle de Lerma en el marco de un proyecto de Ordenación Territorial y como estudio de caso para el desarrollo de un modelo general de potencial eólico de la Provincia de Salta. El mapa eólico se generó con el programa ArgentinaMap, que requiere como insumos: modelo digital de elevación, mapa de rugosidad (asociado a la cobertura del suelo), registros de vientos de estaciones meteorológicas y estimaciones de vientos para cubrir zonas sin registros. Los mapas de vientos generados indican velocidades moderadas para la zona baja del valle (media aproximada 2.5 m/seg), pero que se incrementan con la altura, hasta alcanzar sus valores máximos en los sectores de abras y filos (7 m/seg). Esto permite definir como áreas con mayores potencialidades de aprovechamiento energético del recurso viento a los sectores altos del Valle de Lerma.

PALABRAS CLAVES: Mapeo eólico, Potencial eólico, Argentina Map, Valle de Lerma, SIG, Ordenación territorial.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de alternativas para el uso de energías renovables en un contexto de Ordenación Territorial, requiere del mapeo de los recursos disponibles (solar, eólico, hidráulico, etc.), los que son incorporados como insumos para la valoración de aptitudes, impactos, riesgos y restricciones del territorio. Partiendo de esta consideración, y enfocando en particular el estudio de uno de estos recursos, se plantea la generación de mapas eólicos del Valle de Lerma, que puedan ser utilizados en los procesos de Evaluación Multicriterio y toma de decisiones asociados a la alternativa de aprovechamiento energético de dicho recurso.

Por otra parte, el modelado espacial del potencial eólico en escala de reconocimiento para un área montañosa, permite sentar las bases para el modelado del recurso eólico en toda la provincia de Salta⁷, la que resulta especialmente compleja por su variabilidad topográfica y tipos de cobertura del suelo.

La utilización de herramientas SIG y de software específicos para la estimación y mapeo de vientos (Argentina Map) permite realizar un modelado espacial en formato raster⁸ de este recurso.

ÁREA DE TRABAJO

El Valle de Lerma es un valle intermontano que, considerado desde el punto de vista geológico como una fosa tectónica, se encuentra flanqueado por las Sierras Subandinas y la Cordillera Oriental; se ubica en el centro de la Provincia de Salta y es asiento de la Ciudad Capital. Se encuentra entre los 25° 17' y 26° 22' de latitud sur y los 65° 25' y 65° 42' de longitud oeste. Con una longitud máxima de 132 km y un ancho de 56 km, tiene una superficie total de aproximadamente 4.690 km². Se considera como límite de la zona de trabajo la divisoria de aguas, planteándose un análisis integrado a nivel de cuencas hidrográficas.

¹ Becaria CONICET

² Docente Universidad Nacional de Córdoba.

³ Investigador adjunto CONICET.

⁴ Director Instituto de Recursos Naturales y Ecodesarrollo (IRNED).

⁵ Becaria CONICET

⁶ Director Centro Regional de Energía Eólica (CREE) – Chubut.

⁷ Proyecto de investigación N°1140 “EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE LA PROVINCIA DE SALTA” CIUNSa.- Director: Dra. Judith Franco.

⁸ Espacio segmentado en celdas, en el que cada una de ellas, contiene el valor del atributo que representa la variable en estudio.

El sistema ambiental Valle de Lerma incluye básicamente dos grandes unidades de paisajes bien diferenciadas:

- *Zona de VALLE INTERMONTANO*: Se circunscribe específicamente al sector bajo de valle. En él se concentran la mayoría de los centros urbanos y poblados, las actividades productivas agroganaderas intensivas y las principales vías de comunicación.
- *Zona MONTAÑOSA*: Comprende las laderas de los cordones montañosos que rodean al valle propiamente dicho, hasta la divisoria de aguas. Las vertientes que enmarcan la zona de valle por el oeste, superan los 4500 m.s.n.m., mientras que las serranías ubicadas hacia el este alcanzan los 2000 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar población dispersa, actividades productivas extensivas y unidades ambientales naturales diversas.

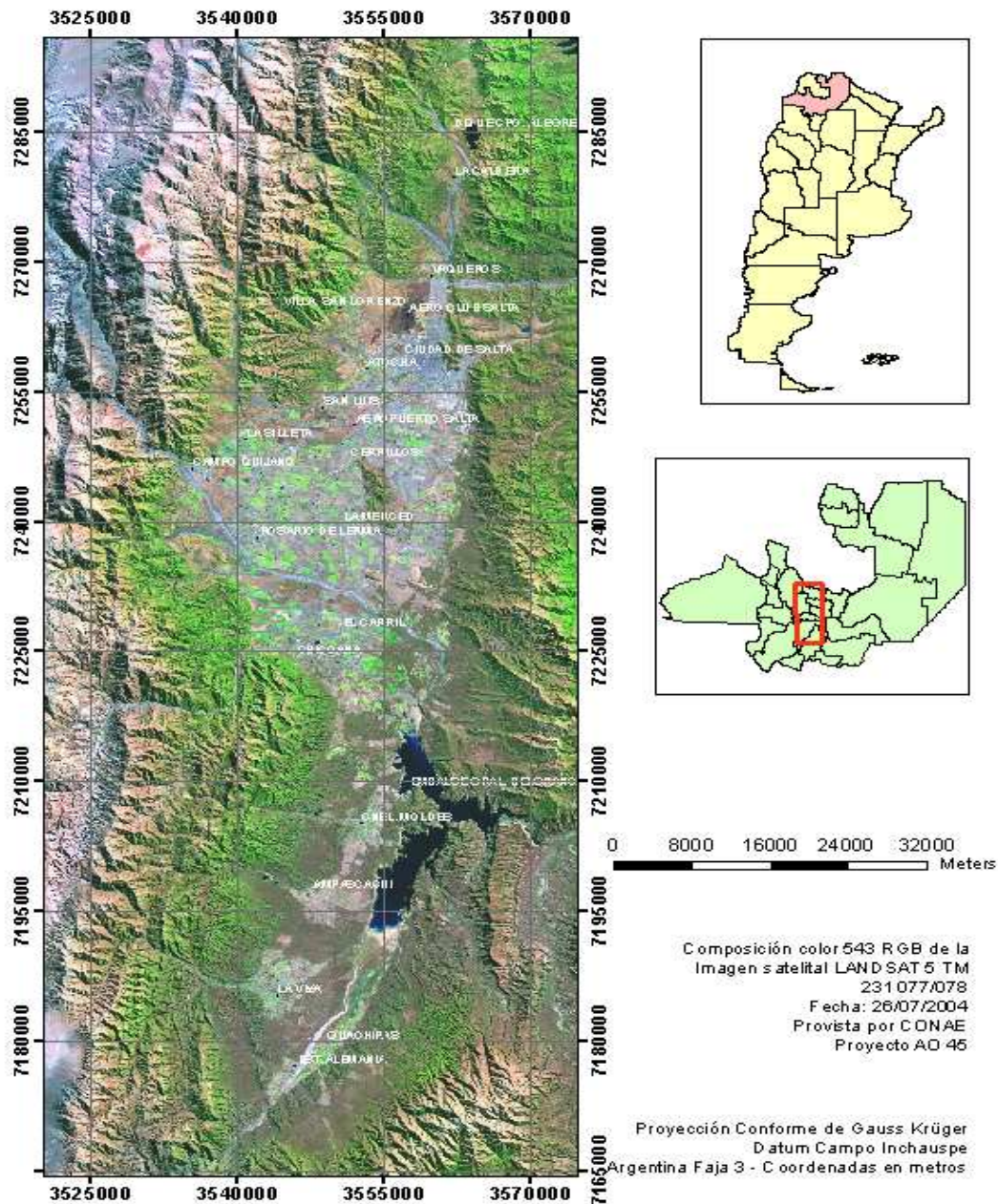


Figura 1: Área de trabajo. (Núñez, V et al, 2006)

METODOLOGÍA

El mapeo eólico fue realizado con el programa Argentina Map, versión adaptada para Argentina a partir del software NOAL desarrollado en la década del 70 por el Departamento de Energía de los EEUU. Está basado en un modelo de conservación de masas que pretende encontrar campos de velocidad del viento de libre divergencia en base a vientos iniciales observados (Mattio, 2006).

Los insumos necesarios para el desarrollo de los modelos eólicos en este programa son: MDE (modelo digital de elevación), mapa de rugosidad, registros de vientos de estaciones meteorológicas y estimaciones de vientos a partir del Programa Rosa de los Vientos para áreas sin mediciones locales.

El MDE utilizado fue generado a partir de datos de la NASA (<http://srtm.usgs.gov>) con resolución 90m (Cartografía digital - Proyectos 1001 y 1345 “Ordenación Territorial del Valle de Lerma” – CIUNSa).

La capa de rugosidad fue elaborada a partir de un mapa de cobertura del Valle de Lerma, resultante de una clasificación supervisada trabajada con imágenes Landsat 5 - resolución 30m (Menéndez, Moreno y Núñez, 2001). El mapa base de cobertura del área de valle y sectores limítrofes, fue ajustado para el mapeo eólico a las condiciones presentes del sistema con imágenes satelitales del año 2004 y capas temáticas actualizadas de las urbanizaciones. Las diferentes coberturas del suelo fueron reclasificadas por su rugosidad con el programa Idrisi Kilimanjaro, siguiendo la Tabla 1.

Clase de rugosidad	Índice	Característica superficie del terreno	Clase de cobertura Valle de Lerma
3	1.00	Bosque	Bosque montano húmedo
			Bosque montano subhúmedo
			Chaco serrano y transición
	0.75	Ciudad – Suburbios ⁽¹⁾	Áreas urbanas
2	0.20	Muchos árboles y/o arbustos	Arbustales y matorrales
1	0.05	Campos de apariencia abierta	Parcelas agrícolas y pecuarias
			Pastizales serranos
	0.03	Zona aeropuertos con árboles y edificios	Aeropuerto y aeródromos
	0.03	Suelo desnudo ⁽²⁾	Suelo desnudo y playas de río
	0.02	Césped segado ⁽³⁾	Vegetación rala de laderas
0	1 * 10 ⁻⁴	Zonas de agua	Cursos naturales de agua
			Represas, embalses y diques

⁽¹⁾ La clase de cobertura “áreas urbanas” incluye la ciudad de Salta (mayor núcleo urbano con edificaciones de importancia) y concentraciones urbanas del valle (pueblos) con construcciones bajas que podrían considerarse como “suburbios” siguiendo la clasificación de la tabla de rugosidad original. Dadas estas características de las áreas urbanas, se decidió asignar como valor de rugosidad un punto intermedio (0.75).

⁽²⁾ Las superficies de suelo desnudo (liso) en la tabla original adoptan un valor de rugosidad de 0.003. Sin embargo, en el área de estudio la clase de cobertura “suelo desnudo y playas de río” no es lisa sino muy irregular, por la presencia de material rocoso en superficie (afloramientos rocosos - regolito y material de arrastre). Por este motivo, se asigna una valoración de rugosidad mayor (0.03).

⁽³⁾ De la misma manera la clase de cobertura “vegetación rala de laderas” no puede asimilarse directamente a superficies de césped, por la presencia de afloramientos rocosos que aumentan su rugosidad. El valor original 0.01 es duplicado a 0.02 dadas estas condiciones de sitio.

Tabla 1: Clases de rugosidad (Fuente: Modificada de Mattio, 2006)

Mediante los módulos “project”, “resample” y “contract” del programa Idrisi Kilimanjaro, las capas temáticas MDE y rugosidad fueron ajustadas a las condiciones de entrada requeridas para el modelado por el programa Argentina Map (coordenadas planas, cantidad de filas y columnas < 700). Se utilizó el sistema de referencia Gauss Krüger Faja 3, datum WGS84 (GK3 WGS84) (utilizado en las capas temáticas del SIG del Valle de Lerma), con una resolución final de 240 m (623 filas, 229 columnas).

Las estaciones de vientos con registros horarios de velocidad y dirección del Servicio Meteorológico Nacional incorporadas al sistema (registros “vientos de superficie”) fueron: Salta Capital- Aeropuerto (única estación de referencia dentro del área de trabajo), Jujuy – Aeropuerto, Orán y Tucumán. Sus coordenadas geográficas fueron obtenidas del listado de estaciones

para Argentina del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), corroborando su ubicación mediante cartas topográficas. Estas coordenadas geográficas (datum Campo Inchauspe) fueron convertidas al sistema GK3 WGS84 para su incorporación en el modelado eólico de Argentina Map, mediante los programas Global Mapper y Geocalc. La descripción de las estaciones de vientos utilizadas en el mapeo se presenta en la Tabla 2.

La dirección predominante de los vientos de las estaciones complementarias fue ajustada a 60° (dirección predominante de los vientos de la estación de referencia – Salta-aero) en la opción Rosa de los Vientos del programa Argentina Map.

Estación SMN	Localidad	Coordenadas geográficas		Proyección gk3_wgs84		Altitud SMN
		Latitud	Longitud	x	y	
10012 - 87047	Salta Capital (aero) **	24 51.82'	65 29.4'	3551464	7250987	1221
10339 - 87016	Orán (aero)	23 9.03'	64 19.51'	3671457	7439851	357
10500 - 87046	Jujuy (aero)	24 23.45'	65 6'	3591224	7303170	905
10017 - 87121	Tucumán (aero)	26 49.595'	65 6.061'	3589292	7033302	450

**Estación de referencia

Tabla 2: Estaciones de viento - SMN

Dada la escasez de estaciones con registros eólicos dentro del área de estudio y aledañas, fue necesario incorporar valores estimados de vientos en base a otras fuentes. De esta manera, a partir de datos satelitales y del programa Rosa de los Vientos se obtuvieron nuevos datos de entrada para completar espacialmente el modelado de vientos.

Siendo el factor topográfico el que define particularmente las características del área de trabajo (por la amplitud del rango altitudinal que va desde 930 a 5300 m.s.n.m - Valle de Lerma, como unidad de cuencas), se realizó un muestreo estratificado por altitud de 34 puntos para generar la información eólica complementaria mediante el programa Rosa de los Vientos. El muestreo estratificado se realizó sobre el MDE, utilizando el módulo estadístico “sample” (spatial sampling) del programa Idrisi Kilimanjaro. Estos puntos se exportaron con el formato “xyz” (en coordenadas geográficas y GK3 WGS84) para el cálculo de los vientos en el programa Rosa de los Vientos y su incorporación en el Argentina Map.

Con el programa Rosa de los Vientos, incorporando datos de posición (latitud y longitud en coordenadas geográficas) y la definición de presión atmosférica para cada punto, se calcularon las velocidades y frecuencias para las 12 direcciones de vientos de las 31 estaciones de muestreo. Los valores de presión utilizados fueron: 1000 mb para la zona más baja del valle (<2000 m.s.n.m.) y 700 mb para los sectores más elevados (>2000 m.s.n.m.)⁹.

Una vez incorporados los parámetros topográficos, de rugosidad y vientos superficiales, se definieron en el programa Argentina Map, las opciones para la inicialización del modelado. Finalmente se ejecutaron los módulos “vientos iniciales” y “vientos finales”. Las dificultades y variaciones introducidas para generar estos mapas se describen en los resultados.

RESULTADOS

Correspondiendo a lo señalado en la metodología, cada uno de los insumos necesarios para el mapeo eólico, debió ser trabajado en forma independiente y analizado en sus particularidades, a fin de evaluar su adecuación y su posterior incorporación en el modelado final.

MODELO DIGITAL DE TERRENO O DE ELEVACIÓN

El modelo digital del terreno (o MDE) en 3D, que ha sido trabajado para la realización del muestreo estratificado según rangos altitudinales, se presenta en la figura 2. De su análisis a partir de histogramas, puede concluirse que un 61% del área total del valle se encuentra comprendida en un rango altitudinal de 1000 a 2000 m.s.n.m; un 25% presenta altitudes entre 2000 y 3000 m.s.n.m. y el resto, un 14%, supera los 3000 m.s.n.m. La altitud máxima del área alcanza los 4500 m.s.n.m.

⁹ Vale aclarar que para un ajuste más detallado del modelado eólico deberían considerarse presiones más bajas para alturas tan elevadas e incorporar información de vientos superiores (“upper air”), datos no registrados aún para la región. No obstante, trabajando en un contexto SIG dinámico con actualización de datos, los mismos podrán ser ingresados al sistema de mapeo eólico cuando estén disponibles para Argentina y Salta en particular.



Figura 1. Sector y áreas de valle intermontano indicadas en MDE-3D

MAPA DE RUGOSIDAD

Es dable pensar que, ante las diferencias topográficas observadas en la zona a partir de las imágenes satelitales y el MDE, las clases de cobertura existentes variarán en gran medida. Este razonamiento se corrobora, agregándole el elemento agrícola propio de valles templados. Las clases de cobertura del valle se especifican en la figura 3.

Por otro lado, dichas clases de cobertura, al expresarse como valores de rugosidad - paso necesario para el uso de estos datos en el modelado (figura 4), arroja los siguientes promedios de representación:

- El 43% del área de estudio, pertenece al rango de rugosidad de 0 a 0,1 (columna Índice de tabla 3), que corresponde a cursos naturales de agua, represas, diques, embalses, indicando una rugosidad mínima.
- Por otro lado, el 41% corresponde a un índice de rugosidad de 1 (el más elevado), que corresponde, según lo estipulado en la tabla 3, a vegetación boscosa (que contempla tanto bosque montano húmedo y sub-húmedo como chaco serrano y transición)
- En un lugar intermedio, con un valor de 14%, la clase de cobertura de suelo más representada (y expresada como índice de rugosidad), corresponde al rango de 0,2- 0,3, incluyendo suelo desnudo y playas de río, junto a vegetación rala de laderas.
- Los demás rangos de rugosidad, poseen valores de representación inferiores al 1%.

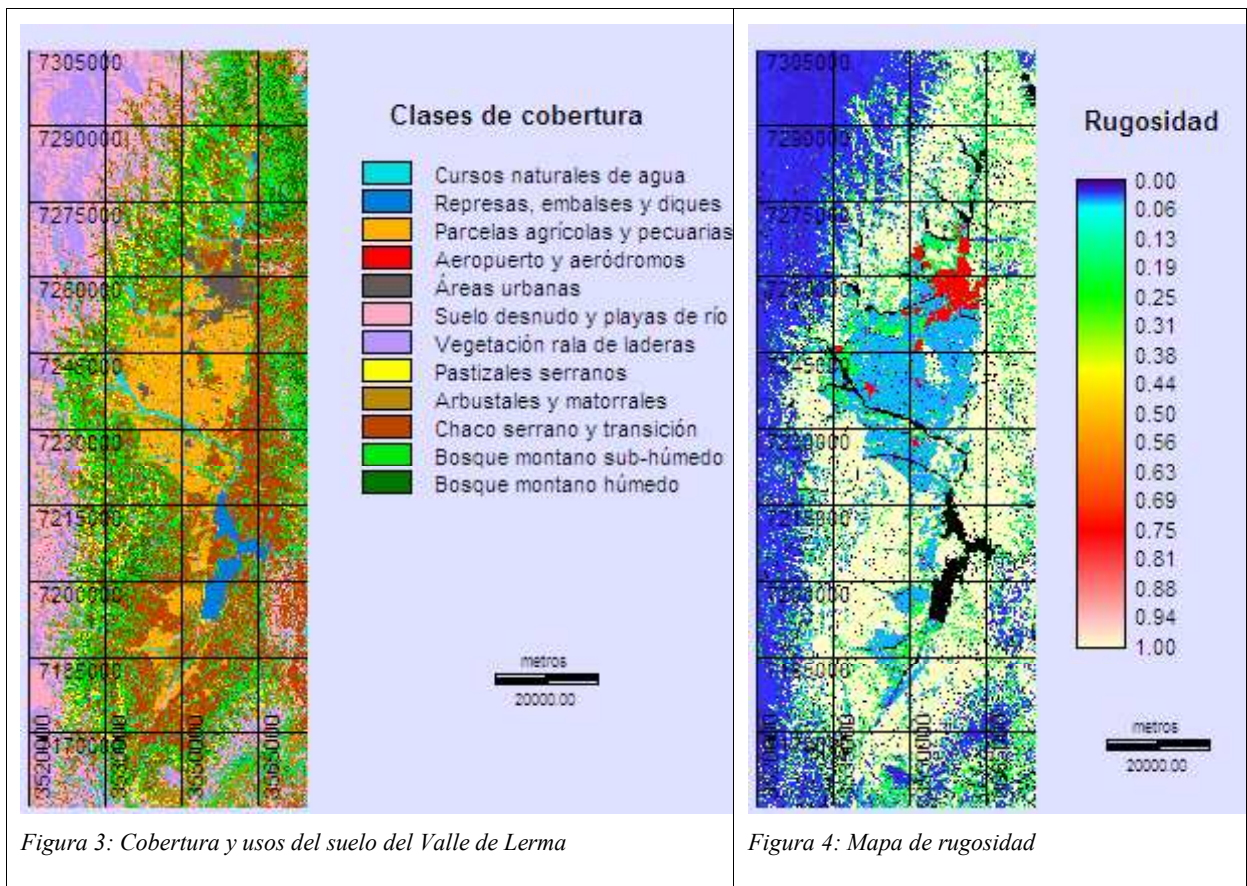


Figura 3: Cobertura y usos del suelo del Valle de Lerma

Figura 4: Mapa de rugosidad

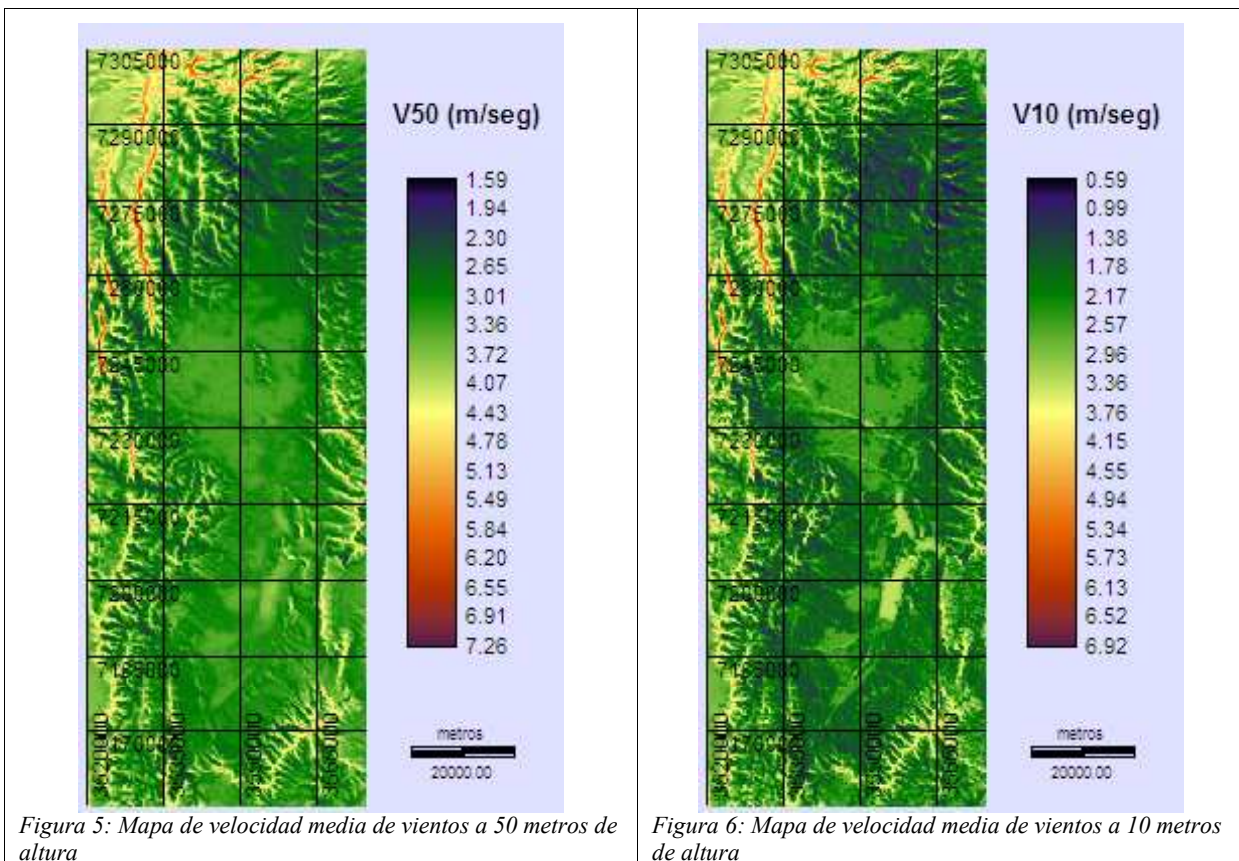
MAPEO EÓLICO

Para la inicialización de los modelos de vientos, se probaron diferentes opciones en el programa Argentina Map, hasta obtener los modelos finales para el Valle de Lerma presentados en las figuras 5 y 6. En la figura de la izquierda se observa el mapa de velocidad media de vientos a 50 metros de altura (dato necesario para conocer la posibilidad de instalación de aerogeneradores que requieren esta altura), mientras que en el de la derecha se grafica la velocidad media de los vientos a 10 metros desde el suelo (este dato permite hacer comparaciones con los registros de las estaciones meteorológicas).

Los mapas de vientos finales indican variaciones de velocidad entre 1.59 y 7.26 m/seg. a 50 m de altura y entre 0.59 y 6.92 m/seg. a los 10 m. Es importante destacar que las simulaciones realizadas con los programas informáticos, se corresponden – en el caso que existen- con los datos registrados en las estaciones meteorológicas correspondientes. Esto nos da una aproximación de la veracidad de los datos generados.

La velocidad del viento resulta moderada en la zona de valle, incrementándose con la altura, para alcanzar su máximo valor en los sectores de filos. En las laderas boscosas, la velocidad es menor que en el valle, lo que puede atribuirse a los efectos de rugosidad. Por el contrario en los espejos de agua importantes (Embalse General Belgrano - Dique Cabra Corral) la velocidad es mayor que en el resto del valle por su rugosidad casi nula.

En cuanto a la potencia máxima (Figura 7) de los vientos, el modelo arroja un valor de 632.5 W/m^2 , en los sectores de filos más elevados donde las velocidades de vientos son mayores. En el mapa de potencia eólica presentado, los valores máximos se encuentran incorporados en una única clase de color (rojo oscuro), ya que la escala original fue modificada mediante un stretch para facilitar la visualización en las variaciones de potencia.



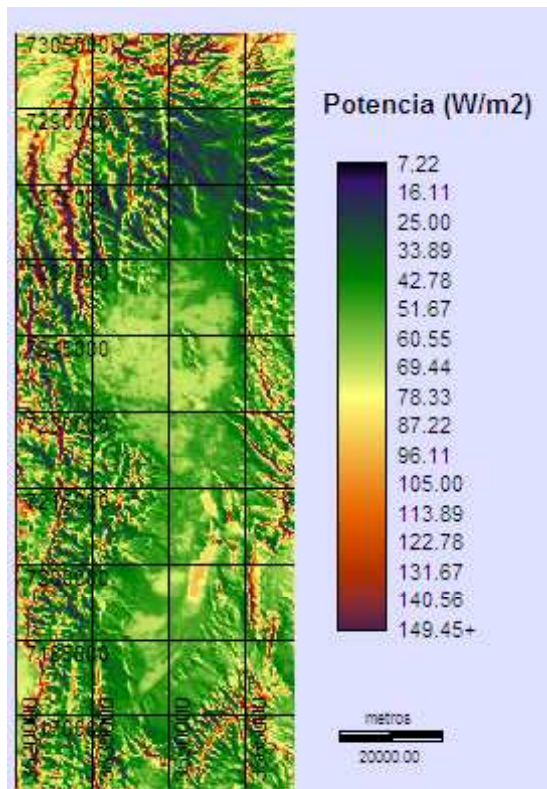


Figura 7: Mapa de potencia a 50 metros

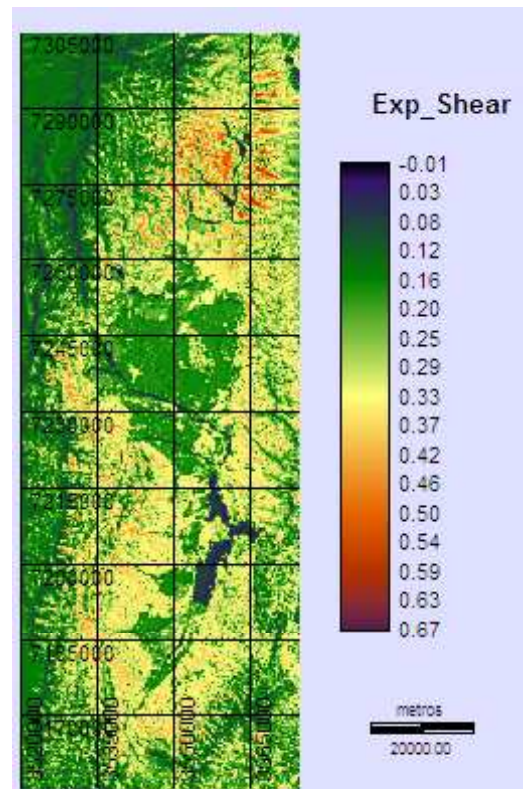


Figura 8: Exponente Shear

CONCLUSIONES

Los mapas eólicos permiten definir áreas con potencialidades de aprovechamiento energético del recurso viento. En la zona baja de valle intermontano, la discontinuidad temporal de los vientos sumada a velocidades inferiores a 5 m/s; permiten inferir pocas posibilidades de implementación de parques eólicos con aerogeneradores en la zona. Estudios más complejos, que contemplen las características del recurso eólico como así también una comparación con otras fuentes energéticas y los componentes económico-sociales, deberán tenerse en cuenta para evaluar la implementación de molinos de vientos (orientados a usos productivos y bombeo de agua) y/o de sistemas mixtos (solar-eólico, biodiesel-eólico, etc.) en estas áreas.

Por el contrario, el potencial eólico resulta más promisorio en los sectores altos (cumbres y filos montañosos), donde estudios de localización y factibilidad técnico-económico-social deberían encararse para evaluar la posible generación de energía a partir de este recurso.

Finalmente, la generación de mapas eólicos para zonas montañosas debe considerar diversos ajustes: de escala (con mayor detalle por las irregularidades topográficas que se pierden en escalas grandes), de las clasificaciones de cobertura, de los puntos de control para estimación de vientos en áreas sin registros y datos de vientos superiores. De esta manera es posible optimizar los modelos generados, aumentando la confiabilidad y precisión del mapeo en áreas complejas.

REFERENCIAS

- Mattio, H. F. 2006. Módulo Energía Eólica. Maestría y Especialización en Energías Renovables. Universidad Nacional del Nordeste. Universidad Nacional de Salta. Argentina
- Menéndez, M. A., Moreno, R. y V. Núñez. 2002. Clasificación de la Vegetación del Valle de Lerma a partir de Imágenes Landsat. Informe final. Proyecto N°697. CIUNSa. Salta.
- Núñez, V. et al. 2006. Ordenación Territorial del Valle de Lerma. Partes I y II – Proyectos N° 1001 y 1345 - Cartografía digital – IRNED - CIUNSa. Salta. Argentina.

ABSTRACT: One considers the map of the Aeolian resource of the Valley of Lerma including in a project of Territorial Arrangement and as study of case for the development of a general model of Aeolian potential of the Province of Jumps. The Aeolian map is generated with the program Argentina Map, it requires like incomes: digital model of elevation, map of rugosity (associate to the cover of the ground), wind registries of weather stations and wind estimations to cover zones without registries. The generated wind maps indicate moderate speeds for the low zone of the valley (average approximated 2,5 m/seg), but that is increased with the height, until reaching its maximum values in the sectors of you open and edges (7 m/seg). This allows defining as areas with greater potentialities of power advantage of the resource wind to the high sectors of the Valley of Lerma.