



## Nuevo atlas eólico de alta resolución del estado de Jalisco (México)

Joan Aymamí y José Vidal  
Meteosim TrueWind SL  
Baldiri Reixach 10-12 – Barcelona Science Park  
Barcelona, 08028 - SPAIN  
[jayami@meteosimtruewind.com](mailto:jayami@meteosimtruewind.com)  
[www.meteosimtruewind.com](http://www.meteosimtruewind.com)  
+34-93-4034523 Telf.  
+34-93-4490010 Fax

### Resumen

Meteosim TrueWind ha utilizado el sistema MesoMap™ para producir un atlas eólico de alta resolución para 200.000km<sup>2</sup> cubriendo la totalidad del estado de Jalisco, México. Los mapas muestran el viento medio a largo plazo a altura de buje sobre toda la región de interés con una resolución final de 100 m. Los mapas de viento – que se encuentran disponibles para desarrolladores y promotores de proyectos eólicos - a pesar que no eliminan la necesidad de disponer de medidas anemométricas de calidad, permiten reducir notablemente el tiempo y los costes necesarios para identificar y seleccionar áreas prometedoras para proyectos eólicos, al mismo tiempo que permiten estimar preliminarmente la producción prevista de los futuros parques eólicos. En este artículo, se describe el sistema MesoMap™ y se muestran ejemplos de los distintos mapas de recurso eólico para la provincia mejicana de Jalisco. Este documento es una síntesis de la metodología utilizada y muestra de resultados. Estos han sido reescalados a 1Km y sólo se muestran algunas regiones con la resolución real.

Tanto los resultados como una explicación extensa de la metodología serán expuestos en WINDEXPO LAWEA 2008, del 5 al 7 de Noviembre de 2008 en Jalisco, México.

### 1. Introducción

El sistema MesoMap™ fue desarrollado por AWS TrueWind LLC, socio de Meteosim TrueWind, a finales de los años 90 para estudiar el recurso eólico sobre grandes extensiones con alta resolución y un buen nivel de precisión. Este hito se consiguió combinando dos modelos: un primer modelo regional que simula los patrones meteorológicos y un modelo de flujo que simula el comportamiento del viento a nivel microescalar con las condiciones superficiales y de terreno.

MesoMap™ utiliza como datos de entrada datos de radiosondeo, satélites y estaciones meteorológicas y por tanto no requiere datos locales de viento para realizar predicciones precisas del recurso eólico. Esta es una ventaja clave para analizar regiones muy extensas como el estado de Jalisco, donde sólo existen unas pocas torres meteorológicas. Otra de las ventajas de MesoMap™ es que simula los fenómenos meteorológicos más importantes que no son capturados por modelos ordinarios de flujo de viento como la canalización de viento, los vientos convectivos, las brisas de mar y de lagos o los vientos catabáticos. Comparado con otros métodos mesoescalares, MesoMap™ cuenta con una alta potencia de cálculo para conseguir resultados de alta resolución con una buena precisión.

El sistema MesoMap™ se ha aplicado a lo largo de los últimos años en más de 50 países en los cinco continentes tanto para clientes públicos como privados. En particular, el *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) ha basado todos los estudios del recurso eólico de numerosos países en este sistema para producir atlas de viento, incluida toda China a través del programa UNEP/SWERA.

## 2. Metodología

El nuevo estudio del recurso eólico de alta resolución sobre el estado mejicano de Jalisco, puede ayudar a desarrolladores y promotores de proyectos eólicos a identificar emplazamientos prometedores con una mínima inversión en coste y tiempo. A pesar de que no reemplaza la necesidad de medir el viento a escala local, es un primer paso en el desarrollo de los proyectos. El desarrollo de los mismos incluye la selección de emplazamientos, las campañas de medición, los estudios de viabilidad, las estimaciones de producciones energéticas, *due diligence*, y toda una serie de estudios que pueden ser proporcionados por Meteosim TrueWind. A día de hoy, más de 15,000MW eólicos en funcionamiento han sido desarrollados mediante el uso de MesoMap™.

**100 m MesoMap  
Jalisco (Méjico)**

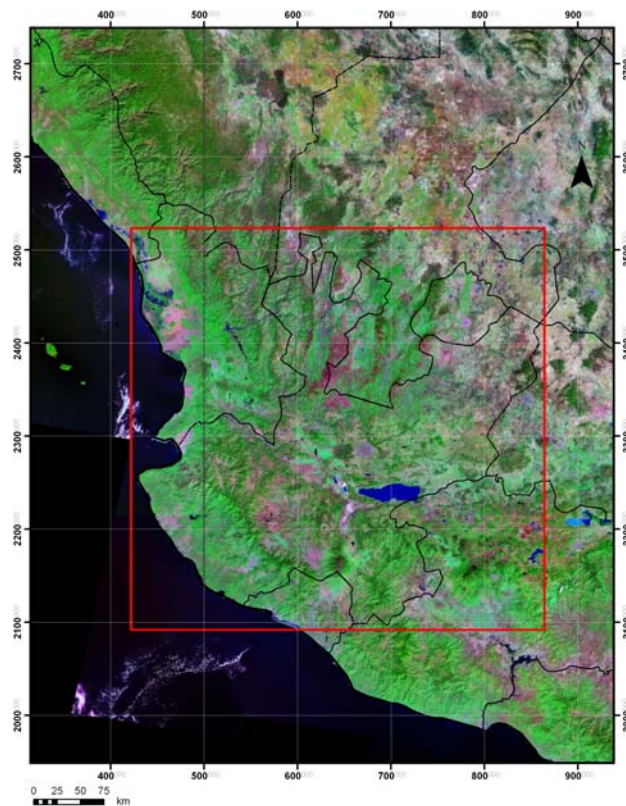


Fig.1: Región que incluye el estudio del recurso eólico mediante MesoMap™ con una resolución de 100m.

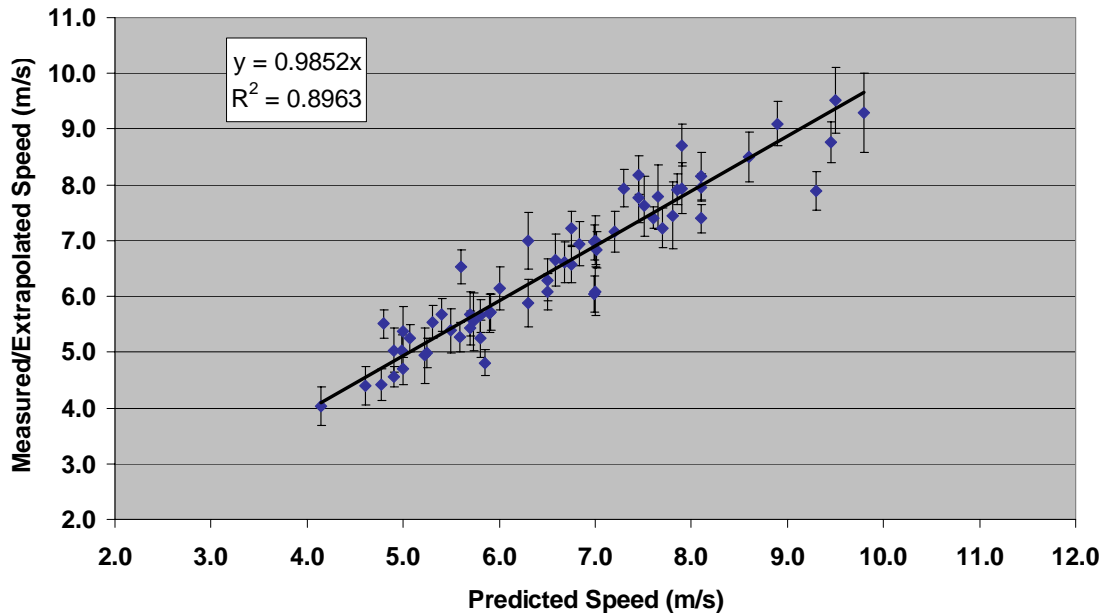
El sistema MesoMap™ consiste en una integración de modelos de simulación de la atmósfera, bases de datos, estaciones de trabajo y unidades de disco de gran capacidad. Este sistema utiliza el modelo numérico de predicción MASS (*Mesoscale Atmospheric Simulation System*), desarrollado en los últimos 20 años por Meso Inc. (socio de *Meteosim Truewind*). El MASS simula los fenómenos físicos fundamentales que gobiernan la atmósfera, incluyendo la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía (los principios básicos de la dinámica y termodinámica clásicas). También posee un módulo de energía cinética turbulenta que tiene en consideración la viscosidad y la estabilidad térmica de la cizalladura del viento. Como modelo dinámico, el MASS simula la evolución de las condiciones atmosféricas en pasos de tiempo del orden de pocos segundos. Esto genera una fuerte demanda de recursos computacionales, especialmente cuando se trabaja en resoluciones muy elevadas. Finalmente, el MASS se acopla a un modelo más simple y rápido, WindMap. Se trata de un modelo de conservación de masa que simula el flujo de viento. Dependiendo de la extensión y la complejidad de la región y de las necesidades del cliente, WindMap se utiliza para mejorar la resolución espacial de las simulaciones del MASS para así tener en consideración los efectos del terreno y las variaciones locales de la superficie.

El modelo MASS utiliza diferentes tipos de bases de datos globales, geofísicas y meteorológicas. Las principales fuentes de datos son datos de reanálisis, radiosondeo, superficie y características de los usos del suelo. La base de datos de reanálisis –la más importante está constituida por datos meteorológicos históricos referidos a una red tridimensional generados por el *US National Center for Environmental Prediction* (NCEP) y el *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). Estos datos permiten obtener una instantánea de las condiciones meteorológicas en todo el globo a distintas alturas y a intervalos de 6 horas. Combinando los datos de radiosondeo, superficie y el reanálisis, se establecen las condiciones iniciales, así como las condiciones de contorno actualizadas para las simulaciones del modelo MASS. El MASS, por él mismo, determina la evolución de las condiciones atmosféricas. Como los datos de reanálisis tienen poco detalle, el MASS se ejecuta para toda una serie de simulaciones sucesivas, cada una de las cuales utiliza como entrada los datos de salida de la simulación precedente, hasta llegar al nivel de detalle deseado.

Las bases de datos geofísicas de entrada que se utilizan son, principalmente, la elevación y los usos del suelo, índice de vegetación y valores climatológicos de la temperatura del agua del mar. Los datos de elevación utilizados en MesoMap™ han sido generados y compilados en un modelo de elevación digital del terreno (DEM) en el marco del proyecto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) por el *Nacional Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) y la *Nacional Aeronautics and Space Administration* (NASA). Se usan distintas bases para los usos del suelo según la región de estudio.

El sistema MesoMap™ genera un mapa del potencial eólico en diversos pasos. En primer lugar, el MASS simula las condiciones atmosféricas de 366 días seleccionados de entre un periodo de 15 años. Los días se eligen a través de un esquema aleatorio estratificado para que cada uno de los meses y estaciones del año estén igualmente representados en la muestra. Sólo el año es elegido de manera completamente aleatoria. Cada simulación genera el viento y otras variables meteorológicas (como pueden ser la temperatura, la presión, la humedad, la energía cinética turbulenta o el flujo de calor) en tres dimensiones en el dominio de integración, y la información se guarda en salidas horarias. Una vez realizadas las simulaciones, los resultados se compilan en archivos resumen, que constituyen la entrada al modelo WindMap en la etapa final de realización de los mapas. Los dos productos principales son (1) mapas del viento medio a distintas alturas sobre el suelo, y (2) archivos de datos que contienen los parámetros de las distribuciones de frecuencias de la velocidad

y dirección del viento. Los mapas y los datos se comparan con observaciones realizadas en torres meteorológicas sobre la superficie terrestre o sobre el mar y, en caso de observarse discrepancias significativas, se pueden realizar ajustes a posteriori.



Comparación de velocidad del viento medio estimado y medido/extrapolado para el Estado de New México, EEUU.

Un proyecto típico de MesoMap™ necesitaría de varios años de procesamiento en una única estación de trabajo, pero en el entorno informático de AWSTruewind, el trabajo puede completarse en sólo unas pocas semanas.

Un ejemplo de mapa generado por Meteosim Truwind con el sistema MesoMap™ se muestra en la figura 1. Los mapas de Meteosim Truwind incluyen capas de GIS como carreteras, líneas de transmisión, áreas habitadas, y otros datos que puedan estar disponibles. También pueden generarse rosas de viento, como la mostrada en la figura 2, o histogramas de frecuencia de velocidades.

En el estadio final del proceso, las velocidades medias de viento anuales a largo plazo previstas se comparan con los datos de viento de alta calidad disponibles en la región. La comparación se resume como un bias medio y error cuadrático medio y se representa en un gráfico. Dependiendo de los resultados de este análisis, se pueden realizar correcciones en los mapas.

La precisión del sistema MesoMap™ ha sido verificada comparando los mapas previstos con observaciones independientes de más de 1000 estaciones en diferentes partes del mundo. Esta validación es con creces la más extensa realizada nunca para un sistema de evaluación del recurso eólico. El *National Renewable Energy Laboratory* ha estado muy implicado en la validación para garantizar su objetividad. En regímenes de viento simples (como grandes planicies u offshore), el

error cuadrático medio encontrado ha sido del 5 % ó inferior. En regímenes de viento complejos como es el caso de Wyoming o la costa brasileña, el error (después de tener en cuenta la incertidumbre en las medidas) es típicamente de 0.3-0.5 m/s, o el 5-7% del viento medio. Este error es comparable con el asociado con un año de medidas de una torre de 50 m.

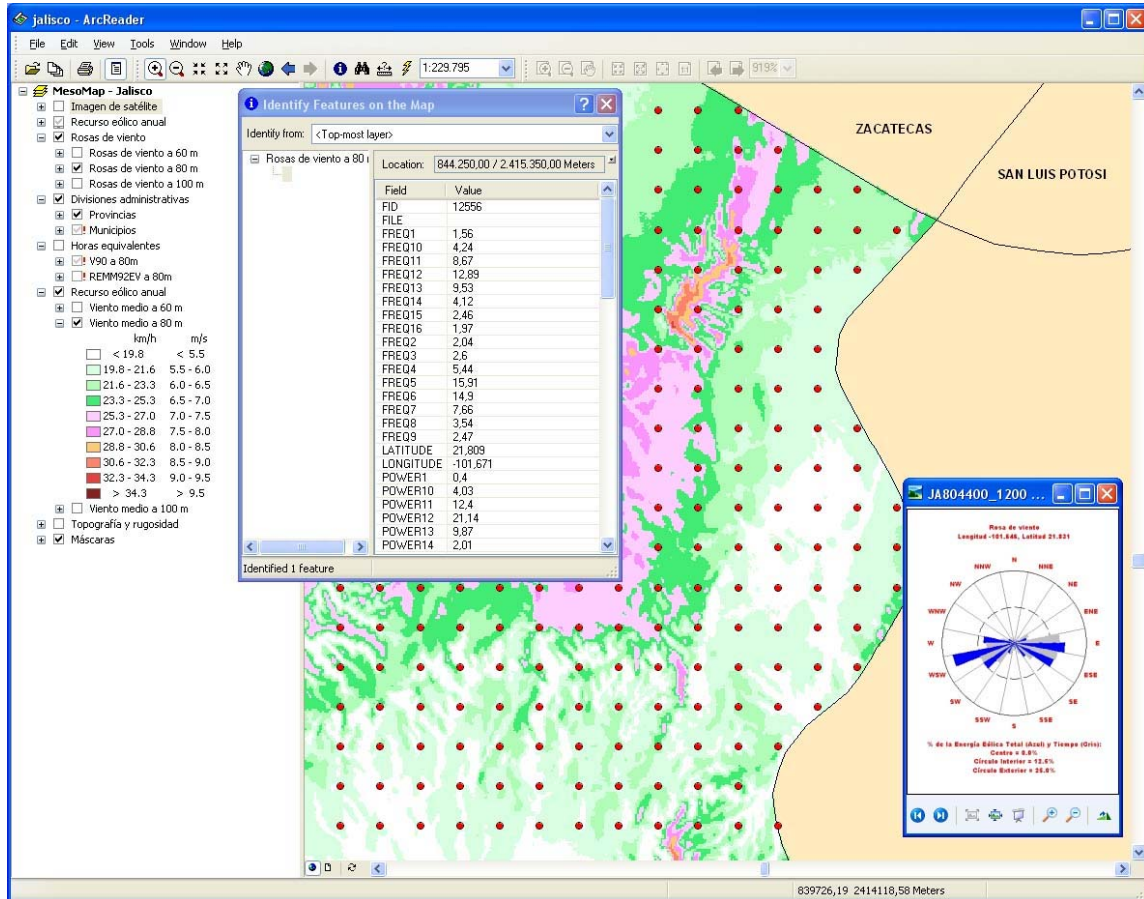


Figura 5. Ejemplo de los resultados del MesoMap™ de Jalisco entregados con el software ArcReader.

### **3. Resultados**

Se ha representado el recurso eólico anual en Jalisco a 60, 80 y 100 m de altura con dos resoluciones distintas, 100 m y 1 km. A continuación se pueden ver estos resultados para una resolución de 1 Km. en las tres alturas.

Se observa que el viento medio presenta valores bajos en casi toda la región excepto en el oeste, en la Altiplanicie Mexicana, donde se alcanzan valores medios de la velocidad entre 5 y 8 m/s. También se observan velocidades elevadas del viento (entre 6 y 7 m/s) en una región en frente de la costa norte.

# MesoMap Jalisco

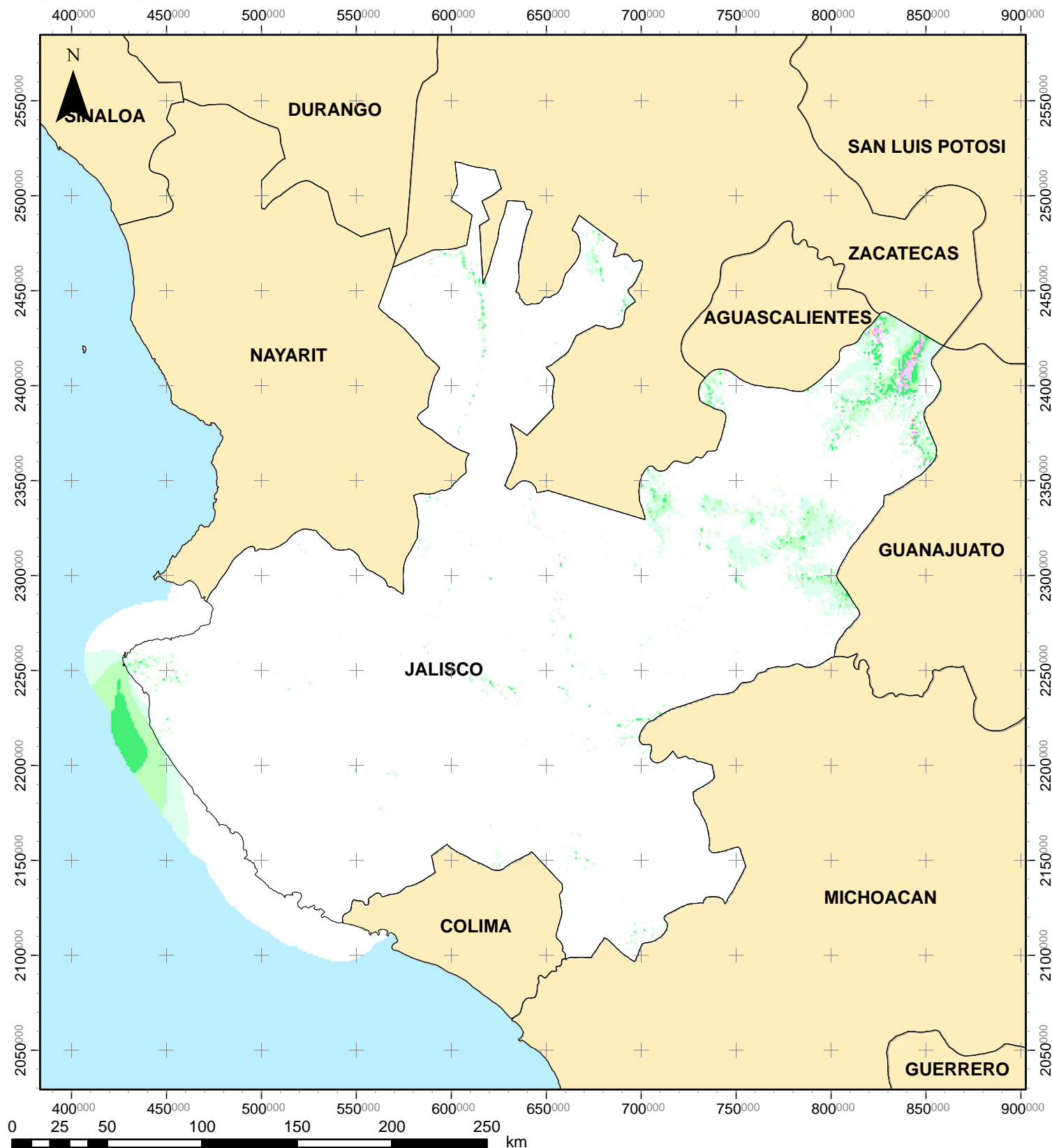
Proyección : Universal Transverse Mercator WGS84 Zona 13N

Resolución espacial del recurso eólico : 1 km

Este mapa ha sido creado por **Meteosim Truewind** usando el sistema MesoMap y datos meteorológicos históricos. A pesar que representa de manera precisa el recurso eólico, las estimaciones en puntos concretos deben ser confirmadas por medidas.



Viento medio a 60 m	
km/h	m/s
< 19.8	< 5.5
19.8 - 21.6	5.5 - 6.0
21.6 - 23.3	6.0 - 6.5
23.3 - 25.3	6.5 - 7.0
25.3 - 27.0	7.0 - 7.5
27.0 - 28.8	7.5 - 8.0
28.8 - 30.6	8.0 - 8.5
30.6 - 32.3	8.5 - 9.0
32.3 - 34.3	9.0 - 9.5
> 34.3	> 9.5



# MesoMap Jalisco

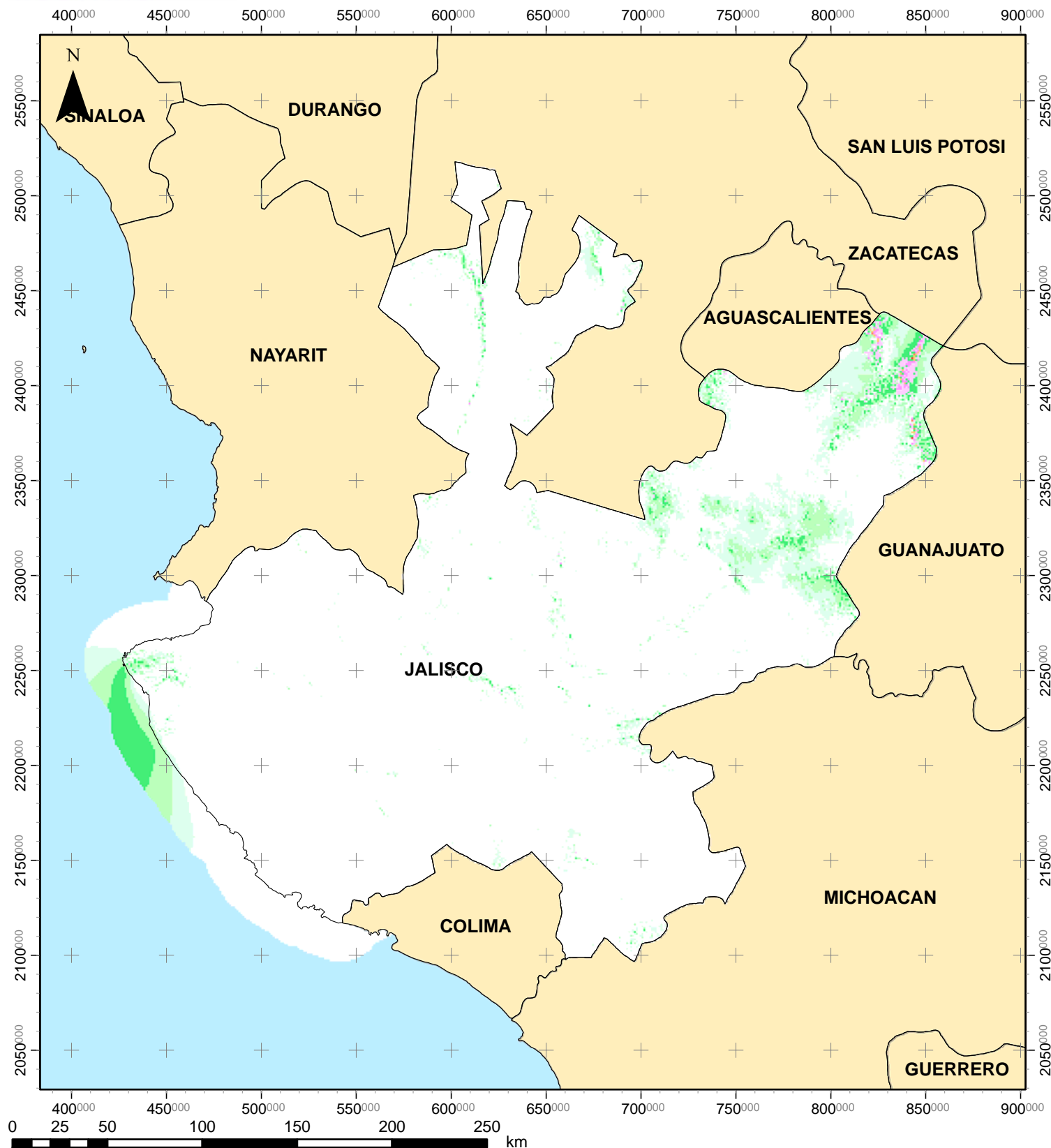
Proyección : Universal Transverse Mercator WGS84 Zona 13N

Resolución espacial del recurso eólico : 1 km

Este mapa ha sido creado por **Meteosim Truewind** usando el sistema MesoMap y datos meteorológicos históricos. A pesar que representa de manera precisa el recurso eólico, las estimaciones en puntos concretos deben ser confirmadas por medidas.



Viento medio a 80 m	
km/h	m/s
< 19.8	< 5.5
19.8 - 21.6	5.5 - 6.0
21.6 - 23.3	6.0 - 6.5
23.3 - 25.3	6.5 - 7.0
25.3 - 27.0	7.0 - 7.5
27.0 - 28.8	7.5 - 8.0
28.8 - 30.6	8.0 - 8.5
30.6 - 32.3	8.5 - 9.0
32.3 - 34.3	9.0 - 9.5
> 34.3	> 9.5



# MesoMap Jalisco

Proyección : Universal Transverse Mercator WGS84 Zona 13N

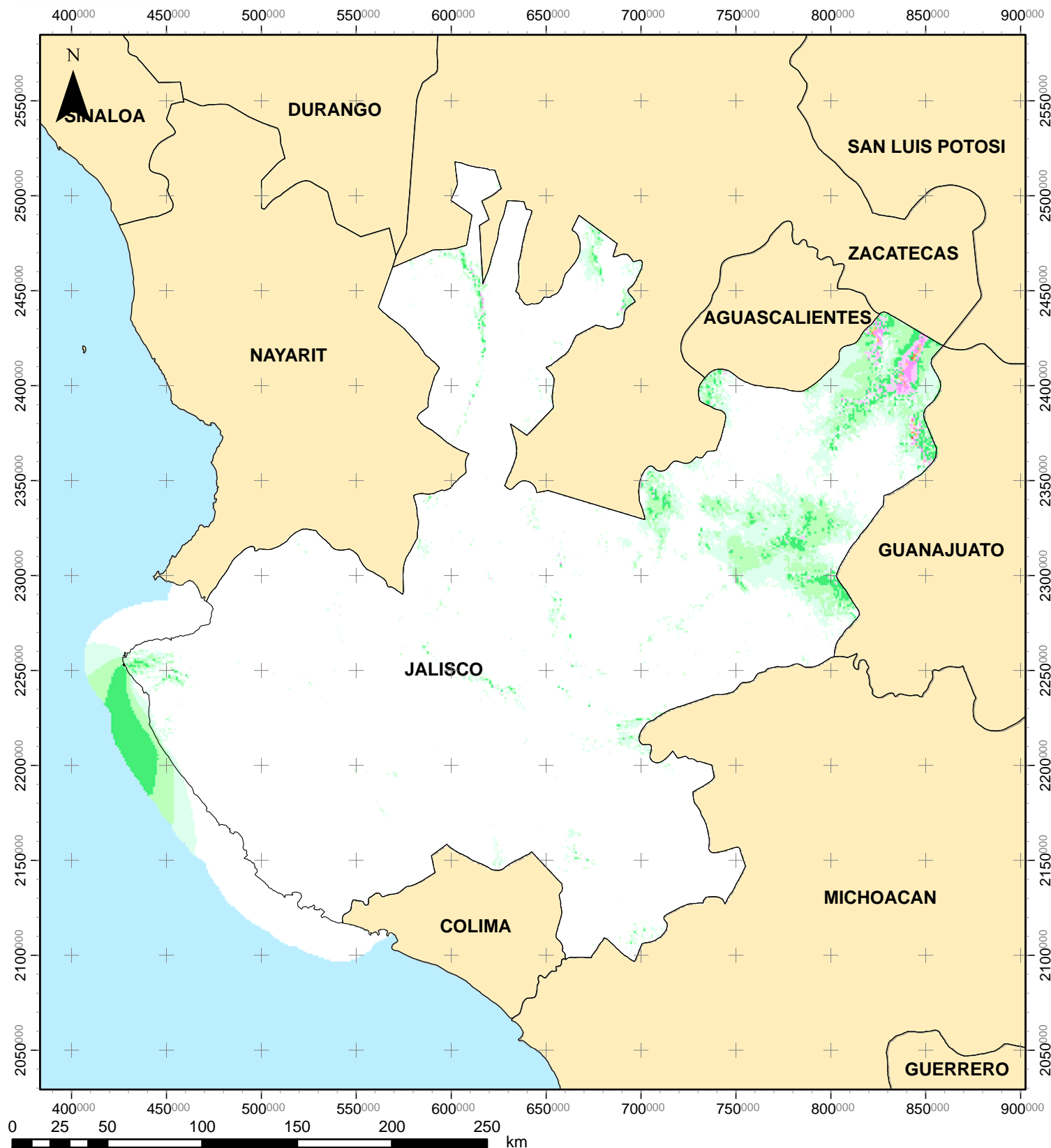
Resolución espacial del recurso eólico : 1 km

Este mapa ha sido creado por **Meteosim Truewind** usando el sistema MesoMap y datos meteorológicos históricos. A pesar que representa de manera precisa el recurso eólico, las estimaciones en puntos concretos deben ser confirmadas por medidas.



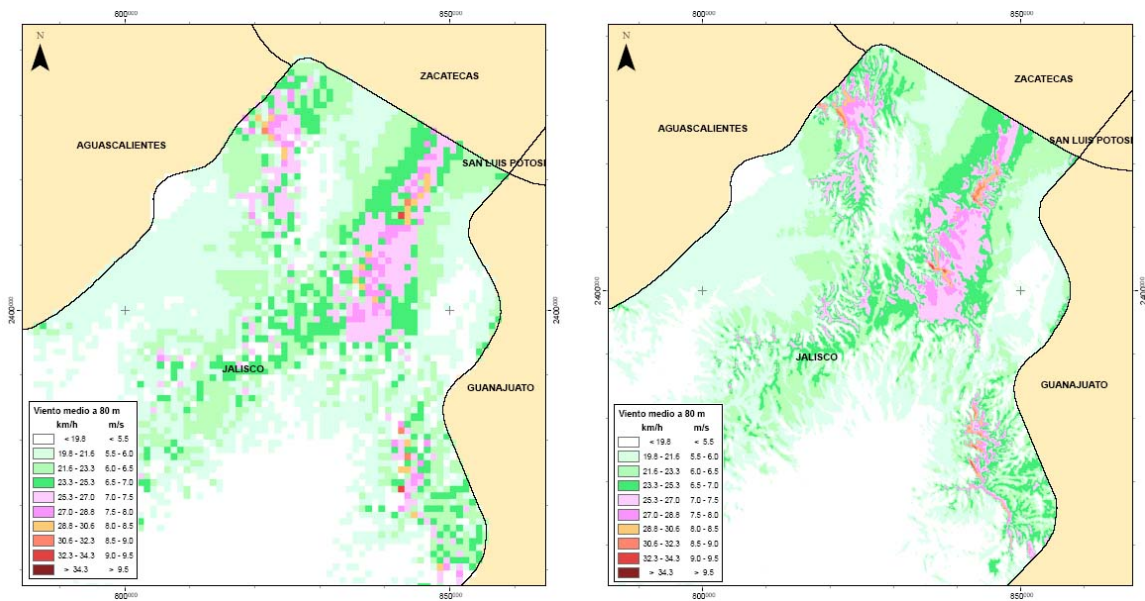
## Viento medio a 100 m

km/h	m/s
< 19.8	< 5.5
19.8 - 21.6	5.5 - 6.0
21.6 - 23.3	6.0 - 6.5
23.3 - 25.3	6.5 - 7.0
25.3 - 27.0	7.0 - 7.5
27.0 - 28.8	7.5 - 8.0
28.8 - 30.6	8.0 - 8.5
30.6 - 32.3	8.5 - 9.0
32.3 - 34.3	9.0 - 9.5
> 34.3	> 9.5



A continuación se muestra una región ampliada con las dos resoluciones. Se puede observar que la resolución de 1 Km. no nos da un detalle suficiente de estudio del recurso en una zona; se obtiene un resultado muy poco homogéneo, viéndose en algunas regiones resultados con vientos muy distintos que en la resolución de 100 m.

La resolución de 100 m (derecha) nos permite ver con más claridad los cambios de recurso eólico debidos a efectos como la topografía, y cambios en el recurso eólico importantes a distancias más cortas.



Comparativa entre el estudio del recurso eólico con resolución final de 1Km (izquierda) y un **MesoMap**<sup>TM</sup> estándar (derecha) con resolución de 100 m.

## 4. Conclusiones

El nuevo atlas del recurso eólico de alta resolución del estado de Jalisco (México), realizado por Meteosim TrueWind puede ayudar a promotores a identificar zonas prometedoras por un coste de tiempo y dinero mínimo. A pesar que no reemplaza la instalación de torres meteorológicas, es el primer paso a dar en el desarrollo de un proyecto eólico. Meteosim TrueWind puede acompañar a promotores en este primer paso así como en la campaña de medición, la estimación energética u otros servicios de la industria eólica.

## 5. Meteosim TrueWind

Meteosim Truewind S.L. es una empresa participada por Meteosim S.L. y la empresa americana AWS Truewind LLC. Su principal actividad se centra en los servicios de consultoría en energías renovables, con especial interés en la energía eólica. Entre sus principales servicios/productos está el estudio del recurso eólico mediante modelización atmosférica meso y microescalar, el diseño de parques eólicos, las auditorías del recurso eólico y la predicción de producción eléctrica. La mayoría de los productos y servicios que desarrolla y comercializa la empresa tienen como materia prima la información generada por el modelo meteorológico MASS (*Mesoscale Atmospheric Simulation System*) modelo que fue adaptado y configurado por los fundadores de la compañía a principios de los años '90 desde el Departamento de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Barcelona.



Meteosim Truewind S.L. es una empresa líder en la industria de las energías renovables y de servicios medioambientales, incluyendo instalación de torres meteorológicas, estudios y monitorización de viento, y en el diseño de parques. La empresa ha desarrollado una técnica avanzada de estudio del recurso eólico (WindMap™) y está especializado en la planificación, el desarrollo de utilidades y la modelización del sistema eléctrico.

Los principales productos y servicios de Meteosim TrueWind son el estudio del recurso eólico utilizando modelización meso y microescalar (WindSurvey™, MesoMap™ y SiteWind™), el diseño de parques eólicos, *due diligence*, campañas de medición, la predicción de producción eléctrica, los estudios de viabilidad económica y el soporte en todos los estadios a lo largo del desarrollo de un proyecto eólico. Entre sus principales clientes hay que destacar Iberdrola, Endesa Cogeneración y Renovables, Gamesa Energía, Ecotécnia, Airtricity, el Banco Mundial, Acciona y numerosos gobiernos y Agencias Energéticas entre muchos otros.

## 6. Referencias





### **Utilities**

Long Island Power Authority, Electric Power Research Institute, Hawaiian Electric Co., ERCOT, KeySpan Energy, Delmarva Power, Tennessee Valley Authority, Southern California Edison, Alberta Electric System Operator, New York Power Authority, Union Electric Corp., National Grid, New York State Electric and Gas, Northeast Utilities, SaskPower, Hydro Quebec, San Diego Gas & Electric, East Kentucky Power Coop., New York ISO, California ISO, PacifiCorp, Exelon.

### **Gobiernos / Instituciones**

Generalitat de Catalunya, Instituto Tecnológico de Canarias, Asociación Empresarial Eólica, Sociedad para el Desarrollo de Cantabria, Gobierno Balear, World Bank, U.S. Dept. of Energy, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Trade & Development Agency, U.S. Environmental Protection Agency, National Rural Electric Cooperative Association, New York State Energy Research and Development Authority, Massachusetts Technology Collaborative, Connecticut Clean Energy Fund, California Energy Commission, Ohio Dept. of Development, Iowa Energy Center, Cleveland Foundation, Georgia Environmental Facilities Authority, GE Financial, National Bank Financial.

### **Promotores**

Iberdrola, Enerfín, Endesa Cogeneración y Renovables, Establecimientos Industriales y Servicios, COMSA Medioambiente, Desarrollos Eólicos SA, Gamesa Energía, Acciona Energía, Horizon Renewable, FPL Energy, PPM Energy, Shell Wind, Airtricity, Iberdrola, Arcadia Wind, Bluewater Wind, Reunion Power, UPC Wind, RES, Everpower Renewables, Cape Wind Associates, Brascan Power, Citizens Energy, Community Energy, enXco, GE Wind, Invenergy, Diamond Fog, Natural Power, BQ Energy, West WindEau, Edison Mission, Babcock & Brown, VisionQuest, TradeWind Energy, CPV Wind Ventures, CMS Generation, Acciona, Noble, Skypower, Boreas, Genivar, Hydromega, Midwest Wind Energy, Northland Power, Creststreet.