



U N A M

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

**“ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO DE CARACTERÍSTICAS ÓPTIMAS PARA LA
INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN ALVARADO, VERACRUZ”**

MODALIDAD DE TITULACIÓN: TESINA

PRESENTA:

GUADALUPE MONTSERRAT SOLÍS MEJÍA

DIRECTORA DE TESINA:
MTRA. MA. EUGENIA VILLAGÓMEZ HERNÁNDEZ

MÉXICO D.F. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

El municipio de Alvarado en Veracruz posee características adecuadas para la instalación de un parque eólico debido a su fisiografía y al régimen de vientos al que está expuesto; previamente han sido elaborados diversos estudios que reconocen el potencial que se encuentra en el municipio (y región del sur del golfo de México) para la generación de energía eólica. La creciente demanda de energía, los altos costos que tiene en el estado de Veracruz así como la búsqueda de diversificación energética y el uso de energías más amigables con el medio ambiente hacen necesario el estudio de la viabilidad para la instalación de un parque eólico en esta parte del Estado.

PALABRAS CLAVE: energía eólica, características geográficas, parque eólico, Alvarado, Veracruz.

ABSTRACT

Alvarado town in Veracruz owns appropriate features for the installation of a wind farm due to its physiography and the wind regime that is exposed; and several studies have been developed that recognize the potential that lies in the town (and the southern region of the Gulf of Mexico) for the wind energy production. The growing demand of energy, the high costs has in the state of Veracruz and the search for energy diversification and use energy more friendly to the environment make necessary the feasibility study for the installation of a wind farm in this part of the state.

KEY WORDS: wind energy, geographical features, wind farm, Alvarado, Veracruz.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad, por la inigualable oportunidad que me brindo, por su incomparable pluralidad y humanismo, a todos mis maestros de quienes a lo largo de estos años me han compartido múltiples conocimientos y experiencias.

Un especial agradecimiento a Rainer que aunque estando lejos siempre me alentó a seguir adelante y estar conmigo cuando más le necesite. A mi familia, amigos y compañeros que han hecho de esta etapa de mi vida una gran experiencia, a todos ellos muchas gracias

*“Cuando el viento sopla algunos construyen refugios,
otros, construyen molinos de viento”*

(Proverbio Chino)

ÍNDICE

Introducción	7
Marco Teórico	10
Metodología	13
Capítulo 1. Aspectos Generales sobre la energía eólica	16
1.1. Uso de energías renovables.....	17
1.2. El viento y sus características.....	18
1.3. Vientos dominantes	18
1.4. Vientos regionales	21
1.5. Vientos locales	22
1.6. Historia del uso del viento.....	24
1.7. Uso del viento para la generación de energía eléctrica	28
1.8. Los aerogeneradores	30
1.9. Energía eólica, ventajas y desventajas	33
Capítulo 2. Características Físicas del Municipio de Alvarado Veracruz	38
2.1 Ubicación del municipio de Alvarado	39
2.2. Geología	40
2.3. Fisiografía	41
2.4. Hidrografía	43
2.5. Edafología	44
2.6. Clima	48
2.7. Viento	50
2.8. Vegetación y uso de suelo	50
2.9. Fauna	55
Capítulo 3. Propuesta de aprovechamiento de energía eólica	57

3.1. Selección del área más apta para la instalación del parque eólico	58
3.2. Propuesta de generación eólica	66
3.3. Selección del aerogenerador.....	68
Conclusiones y Recomendaciones	73
Referencias	77

ESTUDIO DE RECONOCIMIENTO DE CARACTERÍSTICAS ÓPTIMAS PARA LA INSTALACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN ALVARADO, VERACRUZ

Introducción

Es reconocido que México tiene un gran potencial eólico, desde Baja California hasta la península de Yucatán, algunos lugares destacan por su gran aptitud como es el caso del Istmo de Tehuantepec en Oaxaca (Cancino y Xiberta, 2007), mientras que algunos otros casi no son mencionados como el estado de Chiapas; pero en todos ellos se han llevado a cabo mediciones del viento para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica llevando algunos de estos sitios a albergar uno o más parques eólicos, puesto que cumplen con una serie de características que los hacen propios para la generación de esta energía.

En el estado de Veracruz, ubicado al este de la República Mexicana, se han llevado a cabo diversas mediciones de la potencia y velocidad del viento con la finalidad de verificar si se cuenta con el potencial necesario para instalar un parque eólico; dichas mediciones han resultado favorables en distintos puntos de la entidad por ejemplo: en Acayucan, Alvarado, Coatzacoalcos, Jalapa, Tuxpan, Córdoba y Paso del Macho por mencionar algunos (Hernández, Espinosa, Saldaña y Rivera, 2011).

En general el potencial eólico de la entidad es favorable ya que tanto la velocidad como la densidad de potencia sobrepasan las medidas promedio requeridas para la instalación de aerogeneradores. De acuerdo con estudios previos una de las regiones con mayor potencial eólico de la entidad se encuentra en el sur, en la región del municipio de Alvarado (Hernández et al, 2011) este lugar es propicio para llevar a cabo este estudio debido a sus fuertes vientos y densidad de potencia ya que posee el mayor porcentaje de ambos factores que lo hacen más favorable que los otros puntos antes mencionados.

Además de contar con niveles idóneos de velocidad y densidad de potencia del viento es necesario conocer si el resto de los requerimientos para el emplazamiento de un parque eólico también son favorables, si bien el viento es el factor primordial, el hecho de contar con fuertes vientos no asegura el sustento de una central eólica; otros factores que intervienen a la hora

de seleccionar el lugar para la puesta en marcha del parque eólico pueden ser de carácter físico, ambiental, social y económico. Los aspectos anteriores han llevado a la necesidad de investigar si además del potencial eólico del municipio de Alvarado se cuenta con los atributos óptimos para poder instalar una central eólica.

Ciertos aspectos del lugar como son especies en peligro, áreas naturales protegidas, pendientes demasiado pronunciadas, aves migratorias, zonas arqueológicas entre otros; no solo condicionan las características que el parque eólico ha de tener, sino que condicionan la puesta en marcha del proyecto en su totalidad (Molina y Tudela, 2008). Por lo anterior la importancia de estudiar las condiciones óptimas del lugar para obtener el máximo provecho del recurso y evitar daños o alteraciones al medio. Se sugiere que en caso de que todas las condiciones resulten favorables para la puesta en marcha de un parque eólico en el municipio, siempre deberá buscarse su máximo aprovechamiento y el menor impacto posible tanto al medio como a la población cercana para que el proyecto sea lo más beneficioso y favorable posible, asimismo se considerará siempre al Sistema Lagunar de Alvarado como un ecosistema prioritario.

En el primer capítulo se hablará de la energía eólica, ¿qué es?, ¿cómo y en dónde se produce?, ¿cuáles son sus ventajas y sus desventajas? y ¿cómo funciona?, además de conocer la historia de esta energía, una de las más importantes en la actualidad. En el segundo capítulo se habla de las condiciones geográficas del lugar de estudio, en este caso el municipio de Alvarado, en donde se describen y analizan aspectos como la edafología, la vegetación y el clima del lugar, entre otros; asimismo se indica que tan apto resulta cada elemento para la construcción de un parque eólico en la entidad.

Finalmente en el tercer capítulo se analizan tanto las condiciones del territorio como las condiciones bajo las que debería llevarse a cabo la instalación de los aerogeneradores, de igual forma se realiza la selección del tipo de aerogenerador más adecuado con respecto a las características del viento en el lugar de estudio, se toma como referencia la Guía de las mejores prácticas editado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) (Snel, 2006) en donde se sugieren una serie de pasos para la construcción de un parque eólica, así como, la bibliografía consultada.

Debido al gran auge que están presentando las energías renovables y al gran potencial que se presenta en Alvarado, introducir energía eléctrica a través de energía eólica sería de gran utilidad ya que podría abastecerse únicamente de una energía limpia, colaborando con la transición energética y frenando el uso y agotamiento de combustibles fósiles; además de reducir los costos, ya que es una de las fuentes de energía más baratas (el Estado de Veracruz es una de las entidades en donde se pagan los precios más elevados de electricidad en el país); así como incentivar la puesta en marcha de más centrales eólicas en la entidad.

Las ventajas son muchas y el potencial basto pero, ¿cuenta Alvarado con los requerimientos básicos para la instalación de un parque eólico? y/o ¿cuáles son las alternativas para evitar desaprovechar esta energía?

MARCO TEÓRICO

Actualmente son muchos los estudios e investigaciones que respaldan el gran potencial eólico de México el cual se posiciona como uno de los mejores a nivel mundial, además se reconoce que aún hacen falta estudios para descubrir nuevos lugares con potencial eólico aprovechable tal como se menciona:

...“El recurso eólico en México es abundante y, en algunas zonas el viento tiene características de velocidad y persistencia que lo hacen de los mejores en el mundo” ...

...“El potencial eólico nacional probado y probable en los mejores sitios es importante si se toma en cuenta que la mayor parte del territorio nacional no ha sido explorada todavía”...(Huacuz, 2010:37,50)

De acuerdo con el párrafo anterior es imprescindible realizar estudios de esta índole a nivel nacional; siendo este el motor de causa para realizar esta investigación, ya que si se menciona que aún existen lugares en donde el recurso aún no ha sido evaluado las estimaciones hechas por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) podrían ser incluso mayores.

De la misma manera Cancino y Xiberta (2007) hacen énfasis en el elevado potencial de Iberoamérica aunque hacen evidente la falta de seriedad en el asunto y resaltan a México como uno de los países de la región que está comprometiéndose con la energía eólica, tanto estos autores como Huacuz Villamar (2010) consideran el caso de México bastante provechoso y como un sector en el que se podría destacar a nivel mundial ya que el recurso con el que cuenta el territorio nacional es mayor al de cualquiera de las tres potencias en energía eólica en el mundo (Alemania, Dinamarca y España) o incluso que las tres juntas.

...“Tomemos por un momento como ejemplo el caso de España, cuya experiencia podría sernos de utilidad, país que sin tener la base del recurso eólico que tiene México – ni en cantidad ni en calidad- y con un territorio más pequeño (consideración importante en cuanto a los requerimientos de espacio para el emplazamiento de centrales eólicas), decidió entrar al negocio de la energía eólica, y lo ha hecho con tal éxito, que en apenas 10 años ocupa el tercer

lugar mundial en cuanto a capacidad de centrales eólicas emplazadas en su territorio (16, 740 MW al 1 de enero de 2009)”...(Huacuz, 2010:42)

Entonces se puede decir que las ventajas que se tienen de primera instancia para el desarrollo del sector eólico en el país son bastante favorables; pero también se deben de tomar en cuenta otras características. A la hora de elegir un lugar para la instalación de un parque eólico el factor más importante es la velocidad del viento; este es un aspecto de suma importancia cuando se piensa en instalar los aerogeneradores, pues se debe asegurar que el recurso principal se encuentra disponible y con excelente calidad, así lo aseguran algunos autores:

...“Concretamente, las zonas del país que presentan un mayor interés para el aprovechamiento energético del recurso eólico son las siguientes: Sur del Istmo de Tehuantepec, las penínsulas de Yucatán y Baja California, región central del país y Veracruz”...(Cancino y Xiberta, 2007)

También afirman que dentro del estado de Veracruz la región más propicia para la generación de energía eléctrica a través del viento es la costa, en específico la costa del sureste por su exposición a los fuertes vientos.

...“Los resultados obtenidos de este estudio indican que la costa del estado de Veracruz es el lugar más adecuado para generar energía eoloeléctrica. Este resultado era previsible ya que los vientos más fuertes del Golfo de México están en la costa sureste. Alvarado y Veracruz son áreas costeras limítrofes en el Golfo”...(Cancino, Gutiérrez y Xiberta, 2010: 2851)

Pero además de contar con vientos de clase uno para llevar a cabo la instalación de parques eólicos, sugiere tomar en cuenta otros factores que intervienen para seleccionar la ubicación idónea; los aspectos ambientales, las condiciones del terreno y conocer aspectos sociales, sobre el área que será destinada al emplazamiento del parque resultan de suma importancia:

...“La energía eólica es una opción limpia, pero la instalación de un parque eólico genera un impacto ambiental que es preciso evaluar de acuerdo con las condiciones del entorno, tanto físico como social, con el fin de introducir las medidas correctoras oportunas”...(Espejo, 2004: 56)

Para Molina y Tudela (2008) estas medidas correctoras se refieren a establecer un plan de trabajo adecuado así como contar con un diseño apto, ya que se pueden minimizar los impactos que se puedan generar en el entorno; pues en muchos casos el impacto visual (paisaje) está dado por los contrastes en los colores o las formas geométricas que son discordantes con el medio, por lo que dejan de ser estéticos y generan un impacto visual negativo y en consecuencia el rechazo de la sociedad.

En referencia al clima para el estado de Veracruz según Llanos y Cervantes (1995), destaca que aparte del viento, un factor determinante es la orografía

...“Concretamente para el estado de Veracruz, los controles o determinantes más fuertes del clima son la orografía y los sistemas de circulación atmosférica dominantes en las distintas épocas del año”...(Llanos y Cervantes, 1995: 186)

Respecto a lo anterior en el estudio de las características del viento enfocando su uso como una fuente de energía, se tienen que tomar en cuenta sus variables en tiempo y espacio, ya que es muy sensible a variaciones climáticas y la geografía física del territorio, los factores como la orografía, suelo y pendiente se hacen imprescindibles a la hora de elegir un lugar para instalar un parque eólico; ya que en gran medida gracias a estos factores se pueden reducir costos ya sea de instalación y/o mantenimiento cuando son propicios para tal actividad (Cancino et al, 2010).

Asimismo Molina y Tudela (2005) enumeran los criterios sobre la valoración de impactos ambientales que pueden ser provocados al instalar un parque eólico entre los que menciona el suelo, la pendiente, vegetación, fauna y el patrimonio arqueológico el cual resulta muy importante ya que puede condicionar la instalación del parque eólico. También menciona otro aspecto importante a tomar en cuenta a la hora de instalar los aerogeneradores pues dice:

...“El impacto paisajístico pasa por ser uno de los principales impactos ambientales que la implantación de parque eólicos ocasiona en su entorno.”...(Tudela y Molina, 2005: 232)

Si bien mencionan que la valoración de este factor puede ser muy subjetiva y difícil de analizar es importante tomar en cuenta los componentes del paisaje por separado (morfología, redes de drenaje, vegetación, fauna) para facilitar la objetividad del estudio. Cabe mencionar que en este estudio se tratará de priorizar el aspecto del recurso eólico para su aprovechamiento por la sociedad, por sobre el paisaje; sin descartar esta componente, además se tratarán de aplicar las medidas correctoras que se mencionaron anteriormente.

En este caso se considera de mayor importancia la generación de energía eléctrica que los impactos al paisaje ya que obtener electricidad por medio de parque eólicos es una alternativa de producir energía no contaminante evitando daños ambientales tanto locales como regionales, comparándola con la energía térmica o nuclear ante las cuales la energía eólica resulta siempre más cercana a la sustentabilidad.

En este sentido se debe hacer énfasis en los beneficios ambientales, económicos, así como sociales como comentan Cancino y Xiberta (2007) pues en el caso de las centrales eólicas **como “La Venta II” en Oaxaca, se les paga a los campesinos por el concepto de los terrenos, el pago consiste en una cantidad menor al 1% de la energía producida y se presenta en un pago fijo que no está sujeto a la producción de energía, es decir, independientemente de la cantidad de energía que se produzca el pago deberá ser el mismo.**

METODOLOGÍA

El estudio se limita al municipio de Alvarado debido a la disposición de la información, pues en su mayoría se encuentra publicada a nivel municipal; por lo que se realizará la consulta de la información más actualizada posible; bibliográfica, hemerográfica, estadística y cartográfica.

Las características óptimas con las que debe contar el lugar para la instalación del parque eólico serán descritas a detalle y la información será validada para poder determinar si el sitio de estudio en cuestión cuenta con dichas características; las cuales son necesarias para el emplazamiento de la central eólica, tomando como base algunos documentos de gran utilidad como son la *Guía de las mejores Prácticas* (2006) editada por el Instituto de Investigaciones

Eléctricas, y el documento titulado *Elección de criterios y valoración de impactos ambientales para la implantación de energía eólica* editado por la Universidad de Murcia, lo anterior con la finalidad de tener referencias básicas para llevar a cabo el emplazamiento.

Además también se tomará en cuenta el marco legal vigente, ya que uno de los propósitos de este estudio es que funcione como una verdadera guía para la selección de un lugar para la instalación de un parque eólico y se torna necesario tomar en cuenta la legislación mexicana en diversos ámbitos; por lo tanto se incluyen la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, referente a *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-151-SEMARNAT-2006, Que establece las especificaciones técnicas para la protección del medio ambiente durante la construcción, operación y abandono de instalaciones eoloeléctricas en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, así como la *Ley General de Vida Silvestre* publicada en el Diario Oficial de la Federación por mencionar algunos.

Por otra parte la función de la información estadística y cartográfica en el documento final deberá ser representativa de la información contenida integrándose con esta, así como imágenes o figuras que ejemplifiquen aspectos importantes, estas últimas en caso de ser necesarias.

En el aspecto de la cartografía se mostrará la ubicación del área de estudio para lo cual se utilizó la cartografía temática del INEGI (2009), esta muestra por separado las características geográficas del lugar de estudio.

Como se mencionó anteriormente en este estudio se dará prioridad a las ventajas que consigo trae un parque eólico (energía limpia, generación de empleos, costos competitivos, etc.) por sobre aspectos que si bien son relevantes, son sobrepasados por las ventajas (paisaje, generación de ruido, etc.). Cabe aclarar que ninguno de estos factores será excluido del estudio; pero se analizarán los factores de mayor provecho para determinar si es viable la instalación de los aerogeneradores.

La información sobre los aerogeneradores es extraída de la información oficial publicada por cada compañía con la finalidad de tener información actualizada y verídica sobre los aerogeneradores disponibles en el mercado al momento de esta investigación. Finalmente si la información obtenida es suficiente se procederá a dar una propuesta para la elección del lugar más apto para instalar un parque eólico en el municipio; o en su caso una propuesta alternativa en relación con la información obtenida.

Capítulo 1

Aspectos Generales Sobre

La Energía Eólica

1.1. Uso de energías renovables

La situación actual del planeta presenta dos temas prioritarios en las agendas internacionales: el cambio climático y la crisis energética. Es bien sabido y reconocido que el esquema actual de producción de energía no es ni el más eficiente, ni el más seguro, ni el más rentable económicamente hablando; por lo que hasta este momento este sigue siendo un tema de preocupación para todos los países, tratar de producir energía de la forma más óptima posible.

Las fuentes de energía más comunes en nuestros días siguen siendo los combustibles fósiles (Huacuz, 2010) los cuales son altamente contaminantes, no se encuentran disponibles en todo el mundo, están sujetos a la volatilidad de su precio y por sobre todo que las reservas se están agotando aceleradamente al grado de llegar a ser completamente escasas en este siglo.

Además de lo anterior, los estragos y daños que están ocurriendo en el planeta a causa del calentamiento global (causado en gran medida por el uso de combustibles fósiles), surgen grandes preocupaciones por parte de diversos países alrededor del mundo para evitar continuar con la emisión de estos gases contaminantes, así como el deterioro del medio ambiente. Una de las grandes soluciones es comenzar a diversificar las fuentes de energía a gran escala para lograr una transición energética, en este contexto, las energías renovables juegan un papel muy importante como solución a diversos problemas.

De entre las energías renovables, la energía eólica se presenta como una de las más rentables por su eficiencia, ya que es la más barata y en donde se encuentran mayores avances tecnológicos. Entonces se puede decir que aun cuando en la actualidad la mayor parte de la energía se produce a través de combustibles fósiles, centrales hidráulicas y nucleares, la producción de energía eólica esta al alza en todo el mundo.

De toda la energía que se produce en el mundo solamente el 0.3% se produce a partir de centrales eólicas, pero el uso de esta tecnología se incrementa cada año, pues cada vez son más los gobiernos interesados en adoptar la energía eólica como fuente de energía en sus países, lo cual depende en gran medida de la apertura de las autoridades a realizar

regulaciones en la industria eléctrica, a dar incentivos y a crear un marco jurídico legal que dé certeza tanto a los productores como a los consumidores (Huacuz, 2010).

Pero, ¿a que llamamos energía eólica?, ¿qué es?, ¿cómo y en dónde se produce?, ¿cuáles son sus ventajas y sus desventajas? y ¿cómo funciona? A continuación se explican los conceptos básicos de la energía eólica.

1.2. El viento y sus características

Se le llama viento al aire en movimiento pero, ¿qué es y cómo se forma?

El viento es en realidad producto de la energía solar, pues la radiación solar produce calentamiento desigual en la superficie de la tierra en función de la latitud y de la masa continental y oceánica principalmente; este calentamiento desigual provoca que unas masas de aire se calienten más que otras volviéndose más densas y por consiguiente generan diferencias de presión, esta diferencia de presión hace que el aire tienda a desplazarse de las zonas de altas presiones (las de menor calentamiento) hacia las de bajas presiones (mayor calentamiento), es a este movimiento entre ellas lo que se conoce como viento (Iannini, González y Mastrángelo, 2004).

El viento está definido por su dirección, sentido e intensidad (Iannini et al, 2004), estas condiciones están determinadas por el territorio las cuales responden a tres escalas de circulación del aire: la escala global o macro escala que son los llamados vientos dominantes, meso escala a la que corresponden los vientos regionales y la micro escala que corresponde a ser próxima al emplazamiento y en la cual se encuentran los vientos locales. A continuación se explican las características de cada una de las escalas mencionadas:

1.3. Vientos dominantes

Como se mencionó la causa del origen del viento es el desigual calentamiento en la superficie **de la tierra; la circulación de las masas de aire a escala planetaria se denomina “circulación general de la atmósfera” la cual** funciona como un sistema térmico que regula las temperaturas de la superficie terrestre, esta circulación se produce en la parte más baja de la

atmósfera, en la tropósfera, la cual tiene una altura máxima en la zona ecuatorial de 12 km, mientras que en los polos esta se reduce hasta los 7 km, cabe mencionar que es en esta parte de la atmósfera donde ocurren todos los fenómenos meteorológicos.

La circulación general de la atmósfera se encuentra alterada por la distribución de los océanos y los continentes, ya que estos presentan un calentamiento desigual; dadas estas diferencias de calentamiento, se puede decir que en el Hemisferio Norte es en donde existe una mayor masa continental y las condiciones suelen ser más severas que en el Hemisferio Sur, el cual es predominantemente Oceánico. (Figura 1).

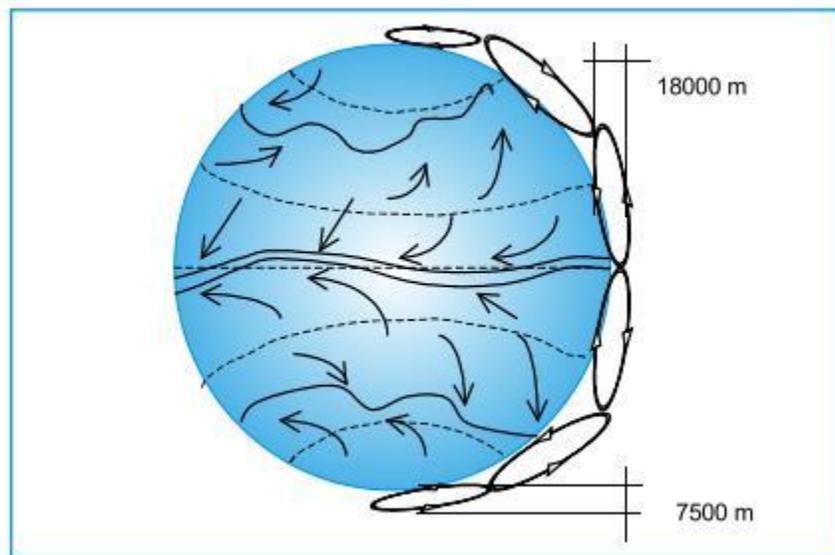


Figura 1. Circulación general de la atmósfera (Iannini et al, 2004)

Las zonas más cercanas al Ecuador son las que reciben la mayor cantidad de radiación solar durante todo el año, y por lo tanto, son las más cálidas del planeta. Es en esta zona ecuatorial en donde el aire se calienta volviéndose más ligero y se dirige hacia los polos en donde vuelve a enfriarse y desciende para volver al Ecuador; sin embargo, este esquema se transforma en otro muy distinto debido a dos factores que intervienen: nuevamente la distribución de los océanos y continentes y la rotación de la tierra.

Debido a la rotación de la tierra la circulación real del viento en la atmósfera es la siguiente: en las zonas tropicales se da un patrón llamado Célula de Hadley en el cual el aire se calienta en el Ecuador y asciende hasta la tropopausa aproximadamente 10 km, desplazándose hacia el

norte y hacia el sur hasta los 30° de latitud (norte y sur respectivamente) en donde el aire se enfría y vuelve a descender para volver al Ecuador causando una banda de altas presiones en cada Hemisferio llamadas altas subtropicales. Los vientos que vuelven al Ecuador son desviados hacia el oeste por efecto de la fuerza de Coriolis (Iannini et al, 2004) y estos son los llamados vientos alisios o vientos del este ya que su dirección en el Hemisferio Norte es de NE al SW y en el Hemisferio Sur es de SE al NW.

Los vientos alisios son vientos constantes que siguen la misma dirección siempre, al atravesar los océanos se cargan de humedad que después al chocar con una barrera natural, en este caso el relieve, hace que los vientos asciendan y se enfríen provocando que se condensen y generen fuertes lluvias. Es en estas zonas del planeta en donde encontramos las grandes selvas y bosques lluviosos y tropicales debido a la presencia de abundantes lluvias y vientos cálidos.

Retomando, los vientos alisios llegan hasta la tropopausa y aproximadamente hasta los 30° de latitud, estas zonas son conocidas como cinturones de anti ciclones subtropicales las cuales están caracterizadas por las altas presiones reduciendo la humedad de la atmósfera por lo que impiden la formación de nubes y consecuentemente las lluvias son escasas generando aridez; es en esta franja en donde se localizan los desiertos más grandes del mundo.

Entre los 30° y 60° de latitud los vientos dominantes son de origen oeste bien llamados vientos del oeste o contralisios. A diferencia de la zona de los alisios los vientos del oeste se generan a partir del choque producido entre las masas de aire polares y las ecuatoriales que ocurre en la zona de altas presiones subtropicales (Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio) en donde el aire que desciende se desplaza hacia el Ecuador y hacia los Polos, son estos últimos los vientos del oeste ya que viajan con esta dirección hasta los Círculos Polares y están caracterizados por ser vientos calientes los cuales en ocasiones pueden chocar con los vientos polares provocando lluvias abundantes a las cuales se les llama lluvias de frente.

A partir de los 60° de latitud se encuentran los vientos polares, los cuales se producen en las zonas de alta presión en los Polos y se dirigen hacia los Círculos Polares (zonas de baja presión) estos vientos son sumamente fríos y al igual que los vientos alisios y contralisios su

dirección está determinada por la rotación de la tierra la cual es de dirección Noreste en el Hemisferio Norte y Sureste para el Hemisferio Sur.

1.4. Vientos Regionales

Los vientos a escala regional se encuentran determinados principalmente por la distribución de mares y tierras, así como por el relieve. Estos vientos llegan a ser tan característicos de distintas regiones que marcan su influencia en el clima de tal manera que en muchos casos son más importantes que los vientos a escala global.

Por ejemplo, el viento llamado Calima, afecta al archipiélago de las Canarias; el cual es un viento fuerte y cálido cargado de polvo y arena que prevalece principalmente en invierno, su dirección es S-SE y proviene del norte de África, del Sahara. Las condiciones de este viento llegan a ser tan fuertes que en caso de tormentas el aumento de aire caliente y húmedo puede levantar hasta 5,000 m o más cubriendo cientos de kilómetros el oriente del Atlántico reduciendo la visibilidad casi en su totalidad y llegando algunas veces incluso hasta el Caribe.

Otro ejemplo de viento regional importante es el llamado Buran, el cual afecta a gran parte de Rusia (Siberia), Mongolia y Alaska (Burga) está caracterizado por ser un viento muy frío proveniente del noroeste que provoca ventiscas ya que es un viento cargado de hielo y nieve que a menudo también cubre la visibilidad por completo.

En México también existe un viento regional importante, los llamados “Nortes” los cuales se presentan en la temporada de invierno, son vientos de dirección N – NE y afectan principalmente a los estados orientales del país. Los nortes son masas de aire frío provenientes de la región polar (Llanos y Cervantes, 1995) las cuales al ponerse en contacto con las masas de aire cálido provocan su ascenso y forman nubes que producen intensas lluvias, no sólo en la región del Golfo sino también en el centro y sur del país.

Por ello los vientos regionales imprimen características únicas en los lugares en donde suceden llegando a ser más importantes que los vientos globales; en este caso los nortes representan un elemento característico del clima del estado de Veracruz y por consiguiente

del municipio de Alvarado.

1.5. Vientos locales

Los vientos locales a diferencia de los vientos globales presentan mayor variabilidad ya que cambian constantemente su dirección e intensidad. En los vientos locales el papel de la topografía es fundamental, pues influye en el calentamiento de la tierra y el aire así como la circulación de este; como es de imaginarse los rasgos topográficos del terreno afectan principalmente los flujos de aire más cercanos a la superficie ya que la rugosidad del terreno tiende a frenar el movimiento del aire de tal forma que, la capa más cercana al suelo está en completo reposo: es la capa límite atmosférica.

Otro de los aspectos del relieve es que además la velocidad del viento sufre una aceleración cuando tiene que remontar colinas, montes o cadenas montañosas, mientras que se atenúa en los valles, por lo que los flujos de aire se modifican a esta escala.

Existen cuatro tipos de relieve que modifican estos flujos, los vientos generados debido a diferencias de temperatura más conocidos son las brisas ya sean marinas o terrestres y los vientos de valle y montaña.

- Brisas: Se producen a partir de las diferencias de temperatura entre el mar y la tierra, así durante el día la tierra se calienta más rápidamente que el mar provocando una circulación del viento del mar hacia la tierra y estas son las llamadas brisas marinas. Durante la noche el proceso es el opuesto, es decir, la tierra se enfría más rápido haciendo que la circulación sea de la tierra hacia el mar y se conocen como brisas de tierra.
- Vientos de valle y montaña: Estos vientos tienen el mismo principio que las brisas de mar – tierra; la diferencia de temperatura se origina a partir de la diferencia de altitud y su configuración desigual, en las zonas altas de las montañas el sol calienta más provocando que por el día el viento ascienda desde las partes bajas del valle hacia las zonas altas y por la noche el viento sopla desde los puntos más altos hacia los valles.

- Terreno plano: Cabe aclarar que si bien no son completamente planos se consideran así con propósitos topográficos; los vientos sobre terrenos planos pueden generar turbulencias ocasionadas por pequeños obstáculos en el terreno o bien las diferencias pueden surgir por diferencias de calentamiento sobre distintas texturas y materiales las cuales presentan distintos grados de fricción contra el viento siendo el hielo y las llanuras de arcilla las que menor fricción presentan (Iannini et al, 2004).
- Áreas urbanas: Como tal las ciudades presentan grandes turbulencias en los flujos de aire debido a su configuración geométrica, la cual supone una serie de obstáculos que modifican el curso del viento como las casas, árboles, vallas, etc., que producen una atenuación de la velocidad del viento y la aparición de turbulencias, y que es lo que conocemos como circulación a micro escala por lo que las zonas cercanas a ciudades y las ciudades mismas son las que presentan mayor fricción contra el viento.

Además, se debe añadir la diferencia de calor entre los distintos materiales que se encuentran en las ciudades las cuales también provocan diferencias importantes en los flujos de aire como ejemplo podemos decir que no es lo mismo el calor que absorbe una plancha de asfalto de un estacionamiento que el calor absorbido por el pasto recortado de un parque.

Como se puede apreciar, la circulación del viento es muy compleja ya que está dada por infinidad de factores y elementos que la modifican, si bien su circulación e intensidad pueden variar constantemente, la circulación que presenta a diferentes escalas proporciona los elementos necesarios para poder estudiar sus características en determinados lugares así como poder predecir su comportamiento (dirección e intensidad) con cierta exactitud.

La medición del viento es sumamente importante ya que nos permite conocer las características del viento como su velocidad y dirección por lo que es de gran ayuda al momento de realizar diversos estudios; existen distintos aparatos para medir la intensidad del viento, los más utilizados son los anemómetros de cazoleta aunque existen algunos otros tipos.

El conocimiento del viento y sus características brinda fundamentos básicos para su uso en el caso de la generación de energía eléctrica la escala de mayor interés es la de los vientos locales ya que finalmente serán estos los que determinen las condiciones para la instalación de un parque eólico.

1.6. Historia del uso del viento

El uso del viento como fuente de energía tiene sus orígenes en la navegación encontrándose referencias que datan desde 3500 a. C. en Egipto y 400 a. C. en el mar Egeo, estos pueblos fueron los primeros en utilizar velas en las embarcaciones como impulso contra el oleaje marino. Si bien el origen del aprovechamiento del viento como fuente de energía surgió en la navegación, no fue mucho más tarde que se le comenzó a dar otros usos (Huacuz, 2010).

En el Tibet se comenzaron a utilizar las llamadas ruedas de oración, las cuales consisten en un cilindro que lleva grabada una plegaria o un mantra y son impulsadas con el viento, dan un gran significado, son utilizadas con fines espirituales y religiosos en el Budismo, por lo que se les da un gran significado. Los molinos de viento de la antigua Persia (200 d. C.) son probablemente las primeras máquinas que anteceden a los actuales aerogeneradores; estos molinos eran utilizados para la molienda de granos, su eje era vertical y contaban con un gran número de brazos en los cuales se montaban velas hechas de cañas para impulsarlo, eran conocidos como panémonas.



Figura 2. Molino de viento persa. Fuente: www.renewableenergyworld.com

La influencia de los molinos persas se extendió por todo Medio Oriente llevando esta difusión consigo a la Europa Mediterránea. En los países europeos sin influencia del Islam los molinos de viento aparecieron de manera propia alrededor del Siglo XIII, como es el caso de Holanda e Inglaterra; en Holanda su uso fue masivo con la finalidad de desecar los pólderes, aunque también se les dio otros usos como la molienda de granos.

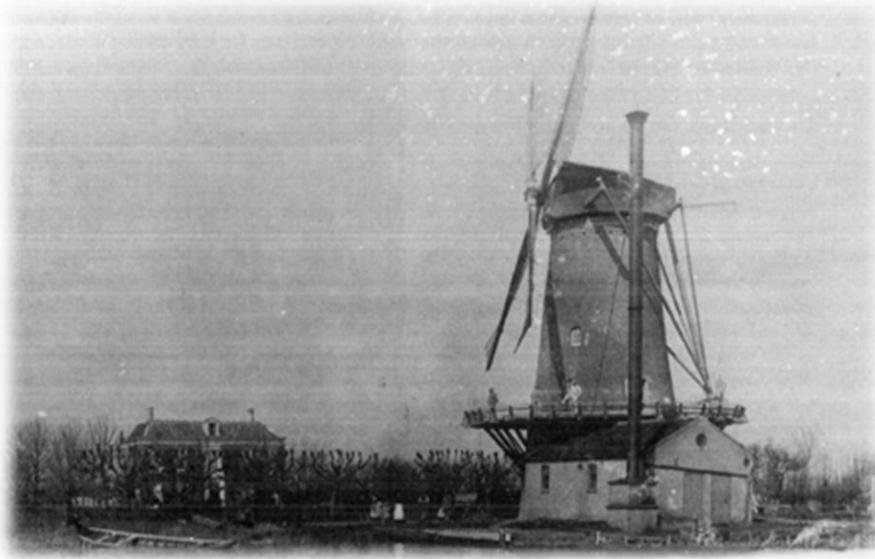


Figura 3. Molino holandés. Fuente: www.notechmagazine.com

En España también se utilizaron de forma extensiva, principalmente en las Islas Baleares, Murcia, Andalucía y Valencia, aunque también existen áreas al interior de la Península en donde abundan dando un claro paisaje de la región Manchega en donde Don Quijote describe a estos molinos como gigantes de brazos largos.

En general el auge de los molinos de viento en Europa llegó a ser tan grande que Holanda tenía cerca de 9000 molinos de los cuales actualmente menos de 1000 continúan en funcionamiento. Si bien los elementos que componían estos antiguos molinos en su base son muy similares a los actuales aerogeneradores la eficiencia que poseían es mucho menor a la actual.



Figura 4. Molinos de viento en Castilla La Mancha, España Fuente: www.college.columbia.edu

Uno de los principales usos de los molinos de viento era justamente moler granos, pero en el oeste de Estados Unidos se les dio un uso masivo para bombeo de agua, pues los pobladores recién llegados obtenían el agua desde el subsuelo, es aquí en donde aparece el molino “multipala americano” el cual es un molino de aspas pequeñas, una torre de soporte muy alta y un número de palas de entre 18 a 24 con un diámetro de 3 m aproximadamente.



Figura 5. Modelo “Multipala Americano” Fuente: www.awwasc.com

Aprovechar el viento para generación de energía eléctrica es un invento relativamente reciente pues fue hasta finales del siglo XIX que se construyó el primer aerogenerador con fines de producción eléctrica el cual fue creado por el estadounidense Charles Brush, su aerogenerador era de 17 m de altura y contaba con 144 palas todo hecho de madera el cual era capaz de generar 12 kilovatios. De igual forma a finales del siglo XIX en Dinamarca, Poul La Cour construye un prototipo de aerogenerador con palas en forma de persianas las cuales dejaban pasar el viento en caso de vientos muy fuertes, lo cual constituía un sistema de seguridad, además a diferencia del rotor de Brush el danés descubrió que los aerogeneradores funcionan de manera más eficiente con un menor número de palas y girando más rápido.

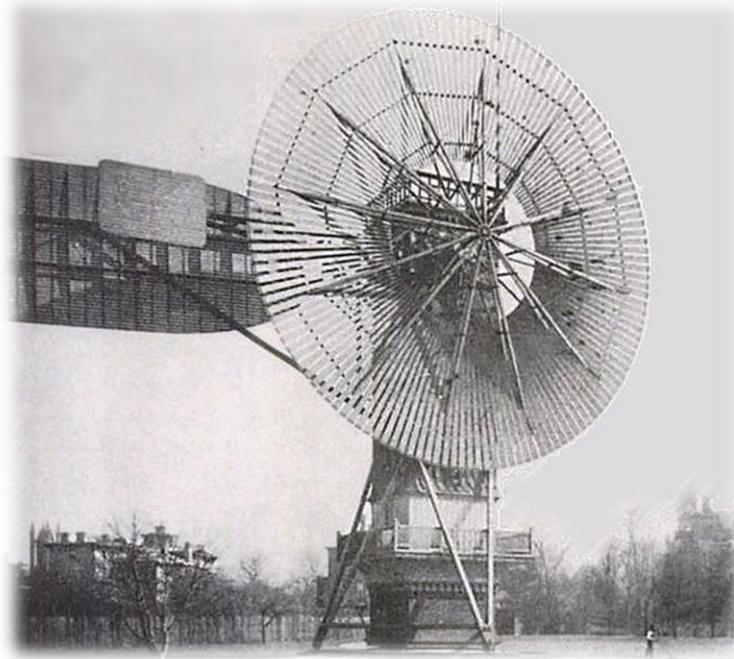


Figura 6. Molino de viento de Charles Brush. Fuente: www.greenenergyohio.org

Ya en el siglo XX surgen las teorías aerodinámicas las cuales sirven de base para mejorar el diseño y funcionamiento de los aerogeneradores; una de las más importantes nace en 1927 por el físico alemán Albert Betz, quien calcula la máxima potencia que puede ser extraída del viento conocida como “Límite de Betz” en donde enuncia que no es posible extraer toda la energía cinética del viento y la máxima eficacia es del 59%.

A lo largo del siglo XX se dan numerosas mejoras en el diseño y eficiencia de los aerogeneradores gracias a los avances en la aerodinámica que se originaron en las guerras

mundiales. Más tarde se introducen nuevas mejoras en los aerogeneradores como los generadores de corriente alterna y los rotores de orientación electromecánica (estos orientan las aspas para que siempre se encuentren de frente al viento) así como nuevos sistemas de seguridad y frenos en caso de fuertes vientos.

1.7. Uso del viento para la generación de energía eléctrica

Como se expuso en el apartado anterior el uso del viento tiene orígenes muy lejanos aunque para la generación de energía eléctrica no tanto. Es importante mencionar que la energía eólica no puede ser implementada en cualquier lugar que cuente con viento, ya que tanto el viento como otras características deben ser las adecuadas (Espejo, 2004 y Huacuz, 2010).

En el caso del viento este debe contar con una velocidad mayor a los 5 m/s para ser considerada como redituable económicamente hablando ya por debajo de esta velocidad no se extrae suficiente energía. Además se debe tener en cuenta que la velocidad del viento es exponencial, lo que significa que un pequeño incremento en esta resulta en un incremento en la potencia disponible mucho mayor por ejemplo en caso de que el viento duplique su velocidad con la que pasa por el aerogenerador el aumento en la potencia no será del doble, sino, cuatro veces mayor (Iannini et al, 2004).

El ideal máximo que se puede obtener de una turbina eólica tiene un límite según la Ley de Betz la cual propone que no es posible obtener más del 59.2% de la energía del viento, pues este posee una velocidad inicial antes de pasar por el rotor y una velocidad final después de haberlo pasado, ya que cuanto más energía cinética extraiga el rotor del viento, este sufrirá una ralentización mayor, es decir, que no es posible extraer el 100% de la energía cinética del viento pues la velocidad con la que el viento **saldría de la turbina sería “o”** y por lo tanto el viento no podría abandonar la turbina y en este caso no sería posible extraer ninguna energía ya que el aerogenerador no permitiría la entrada de más viento. En lo que respecta a los aerogeneradores actuales poseen una eficacia de entre el 35% y 40%.

El británico Sir Francis Beaufort definió una clasificación de los vientos en función a su velocidad, e indica las condiciones del viento a diferentes niveles:

Escala Beaufort	Velocidad m/s	Denominación	Aspecto en mar	Aspecto en tierra
0	0 - 0.2	Calma	Despejado	El humo asciende verticalmente
1	0.3 – 1.5	Aire ligero	Pequeñas olas, sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	1.6 - 3.3	Brisa ligera	Crestas de apariencia vítrea sin romper	Se mueven las hojas de los árboles comienzan a moverse los molinos
3	3.4 – 5.4	Brisa apacible	Pequeñas olas, crestas rompientes	Se agitan las olas, ondulan las banderas
4	5.5 – 7.9	Brisa moderada	Olas cada vez más largas	Se agitan las hojas de los árboles, levanta el polvo
5	8 - 10.7	Brisa fresca	Olas medianas y alargadas	Pequeños movimientos de los árboles
6	10.8 – 13.8	Brisa fuerte	Comienzan a formarse grandes crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles hay dificultad para mantener abierto el paraguas
7	13.9 – 17.1	Brisa muy fuerte	Mar gruesa con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles, dificultad para andar contra el viento
8	17.2 – 20.7	Vendaval	Grandes olas rompientes franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, dificultad para andar de las personas
9	20.8 – 24.4	Vendaval muy fuerte	Olas muy grandes, rompientes, visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible andar con el viento
10	24.5 - 28.4	Tormenta	Olas muy gruesas con crestas empenachadas, superficie del mar blanca	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	28.5 – 32.6	Tormenta violenta	Olas excepcionalmente grandes, mar blanco, visibilidad muy reducida	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
12	Más de 32.7	Huracán	Aire lleno de espuma, enorme oleaje, visibilidad casi nula	Grandes destrozos de magnitud catastrófica

Tabla 1. Clasificación de los vientos (Elaboración propia con información de Iannini et al, 2004)

1.8. Los aerogeneradores

Los aerogeneradores o también conocidos como turbinas eólicas han tenido un desarrollo bastante avanzado sobre todo en los últimos años, sin embargo los principios básicos de su funcionamiento continúan siendo los mismos; a continuación se explica brevemente su funcionamiento.

Un aerogenerador es un dispositivo mecánico que funciona para transformar la energía del viento (energía cinética) en energía eléctrica ya que el viento impulsa las aspas del rotor y a través de un sistema mecánico de engranajes el generador eléctrico comienza a girar convirtiendo la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. La cantidad de electricidad que una turbina eólica puede generar se encuentra determinada por el diámetro de rotor ya que este parámetro fija el área de barrido de la turbina (la cantidad de viento que es interceptado por la turbina).

Actualmente los aerogeneradores son de eje horizontal, modelo tripala y se colocan a barlovento o sea de frente al viento (concepto danés), las palas están fabricadas regularmente en materiales como la fibra de vidrio ya que son más ligeros.



Figura 7. Aerogenerador tripala de eje horizontal. Fuente: www.amdee.org

El aerogenerador se encuentra formado por varias partes: torre, góndola, rotor, palas, eje, mecanismo de orientación, multiplicador, generador eléctrico, inversor y freno de disco; además también cuentan con un controlador electrónico, anemómetro y una veleta (Huacuz, 2010).

- Torre: Es el soporte de la góndola y el rotor, da la altura a la turbina permitiendo generar mayor cantidad de energía ya que a mayor altura el viento posee una mayor velocidad, igualmente evita las turbulencias que pueden ser ocasionadas cerca del suelo. Las torres deberán ser tan altas como sea posible generalmente la altura oscila entre los 40 y los 100 metros; sin embargo, en la actualidad se han construido torres de más de 100 metros (la más grande corresponde al modelo V164-8.0MW de la compañía española Vestas con 140 metros de altura instalada en enero de 2014). Las torres se encuentran fabricadas en secciones de acero para asegurar que sean muy fuertes y eliminar la resonancia entre las aspas y la torre misma para poder asegurar el soporte necesario. Otro punto importante es que la torre sirve también como acceso a la turbina para su mantenimiento y reparación.
- Góndola: En esta se encuentran los componentes clave del aerogenerador, el multiplicador, el mecanismo del rotor, el generador eléctrico así como los aparatos de medición (estos últimos se encuentran por fuera de la góndola) ya que su función es proteger a estos mecanismos y los equipos eléctricos del sistema. El personal puede ingresar a la góndola desde la torre para dar mantenimiento.
- Rotor: El rotor está formado por las aspas, el eje y el buje. Las palas son las encargadas de capturar la energía del viento la cual es transmitida al buje, este se encuentra **conectado al multiplicador que por medio de un sistema de engranes “multiplica”** la velocidad del eje. Al igual que el caso de la torre en la actualidad se construyen rotores de más de 160 metros de diámetro lo que significa que mayor área de barrido es igual a mayor cantidad de energía (Huacuz, 2010).
- Generador eléctrico: Este se encarga de transformar la energía mecánica del rotor en

energía eléctrica, aunque existen distintos tipos dependiendo el modelo del aerogenerador. La energía que se genera baja por el cableado hasta el convertidor, transformando la energía para ser enviada a la red eléctrica.

- Controlador electrónico: permite el control de la orientación correcta de las palas del rotor, además también es el encargado de detener el aerogenerador en casos de vientos extremadamente fuertes o sobrecalentamiento ya que esto puede ser muy peligroso; o bien también en caso de que el viento no alcance la velocidad de generación del aerogenerador.
- Anemómetro y veleta: como se mencionó estos componentes están instalados en la parte exterior de la góndola ya que permiten calcular la dirección y la velocidad del viento, estos aparatos se encuentra conectados al controlador electrónico para proporcionar la información indicada.

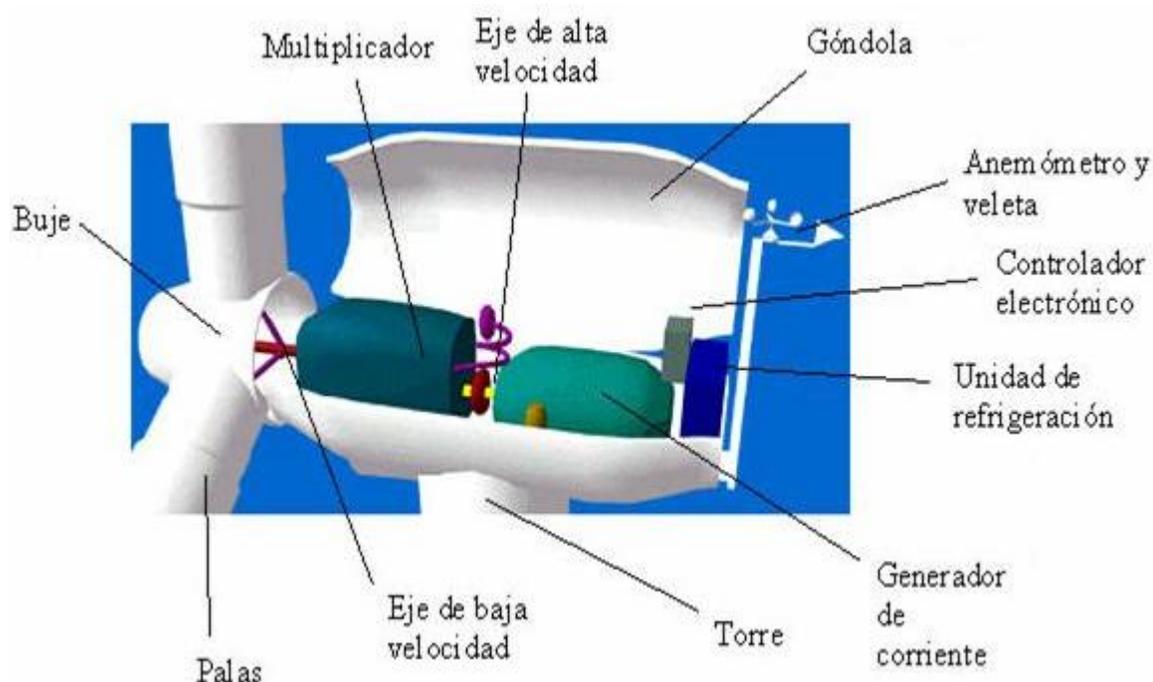


Figura 8. Partes de un aerogenerador. Fuente: www.renovables-energia.com

Regularmente los aerogeneradores se encuentran instalados en parques o granjas eólicas ya que de esta manera es posible aprovechar mayor cantidad de viento en el lugar, reducir costos y enviar la energía desde un mismo sitio, sin embargo también existen instalaciones

residenciales o de baja potencia en donde solamente encontramos un aerogenerador.

1.9. Energía eólica, ventajas y desventajas

Se tiene estimado que solamente un 2% de la energía solar que llega a nuestro planeta se convierte en viento, del cual únicamente es posible aprovechar una pequeña parte de él (Límite de Betz). Aun así se ha calculado que este 2% es suficiente para abastecer la demanda de energía mundial aproximadamente 20 veces. Sin embargo, a pesar de estas limitantes la energía eólica ofrece una gran cantidad de ventajas por sobre otras fuentes de energía:

- Inagotable: El viento sopla y seguirá soplando en un futuro previsible, no se agota en un plazo determinado ya que serían necesarios cambios muy drásticos en la climatología de los lugares, los cuales son muy poco probables (Huacuz, 2010).
- Limpio: El viento es una fuente de energía limpia que no produce emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ni produce desechos tóxicos. Por ejemplo, la instalación de una turbina de 1 MW evita la emisión de aproximadamente 1.5 toneladas de dióxido de carbono, 6.5 toneladas de dióxido de sulfuro y 3.2 toneladas de óxidos de nitrógeno en un año.
- Reactivación económica: Detrás de un parque eólico existe toda una cadena de valor; la cual está conformada por flujos de capital, fuentes de empleo, reactivación industrial, apertura comercial, investigación y desarrollo tecnológico (Huacuz, 2010); todo ello en los países que desarrollan y apuestan por este tipo de energía como es el caso de E.E.U.U., Dinamarca, España y Alemania.
- Precio estable: A diferencia de los hidrocarburos, el viento no está sujeto a la volatilidad de los precios que presenta el mercado debido a riesgos y especulaciones sobre él, permitiendo la diversificación energética y evitando la dependencia de combustibles que varían en su disponibilidad y por lo tanto su precio.

- Reduce dependencia energética: Como se mencionó en el punto anterior la energía eólica diversifica las fuentes de energía reduciendo la dependencia de un solo energético (en el caso de México el Gas) (Cancino y Xiberta, 2007), así mismo reduce la importación disminuyendo riesgos de disponibilidad y dependencia de gobiernos extranjeros.
- Bajo costo: Actualmente la energía eólica es competitiva ya que el precio de la electricidad producida en un parque eólico es similar a la generada en centrales termoeléctricas. En general la energía eólica es la más barata si se toman en cuenta los costes por externalidades que generan las energías convencionales.
- Tecnología in situ: No es necesario traer la energía de otro lugar es posible producirla y aprovecharla en el mismo lugar, lo que beneficia a muchas comunidades alejadas y de difícil acceso, además reduce pérdidas en la red y aumenta el rendimiento.
- Aprovechamiento del espacio: Los aerogeneradores después de ser instalados pueden seguir conviviendo con otras actividades, como la agricultura o la ganadería pues únicamente se utiliza un espacio reducido, de hecho las estructuras de un parque eólico ocupan sólo el 1% del área mencionada, ya que los aerogeneradores sólo ocupan un 0,2% del terreno, mientras que el 0,8 restante tiene que ver con áreas de servicio y enlaces de carreteras por lo que después de la etapa de construcción 99% del terrenos se encuentra disponible para la siembra, el ganado o bien para continuar como hábitat natural.
- Tecnología a escala: La energía eólica puede tomar muchas formas las cuales van desde grandes parques eólicos de cientos de hectáreas hasta un pequeño aerogenerador para un par de viviendas. Las aplicaciones son diversas y pueden funcionar como sistemas de generación distribuida ayudando a reducir costos por cortes de energía o aumento en el consumo (Iannini et al, 2004).

Como todas las fuentes de energía, la energía eólica también posee algunas desventajas entre

las que se encuentran:

- Limitantes tecnológicas: En la actualidad solo es posible aprovechar la energía de los vientos horizontales y próximos al suelo, además la velocidad del viento no debe ser ni muy baja ni muy alta pues aún no se cuenta con la tecnología necesaria para poder aprovechar el viento a grandes velocidades ni a alturas superiores a los 150 metros (altura de los aerogeneradores más altos construidos en la actualidad) y tampoco los vientos verticales, por lo que si se toman en cuenta estas limitantes resulta que es muy poco el viento que se puede aprovechar para convertirlo en energía eléctrica.
- Impacto visual: Tal vez el más evidente de los inconvenientes de la energía eólica, y es que para muchos el aspecto paisajístico es de tal importancia que parecen no importar las demás ventajas con tal de no corromper el paisaje. Cabe aclarar que el impacto visual es subjetivo ya que no es cuantificable y lo que para unos puede ser desagradable para otros puede resultar atractivo, aun así se buscan maneras de minimizar el impacto visual adecuando los colores al entorno (Molina y Tudela, 2008).
- Ruido: Otro impacto negativo de los aerogeneradores es el ruido que producen cuando funcionan (Molina y Tudela, 2008), que en realidad es muy bajo de alrededor de 60 y 70 decibelios (una conversación normal entre dos personas es de 60 decibelios) además cabe aclarar que los parques eólicos por lo regular están situados a una distancia considerable de las viviendas, por lo que no es un inconveniente tan grande.
- Impacto sobre la avifauna: Diversos estudios señalan que el impacto es muy pequeño comparado con el que se da bajo condiciones naturales, a excepción de aves planeadoras en las cuales la mortalidad se da mayoritariamente por colisión o electrocución; para el resto de las aves el peligro de choque es muy bajo, pues las aves aprenden a evitar los obstáculos en su propio terreno. El peligro de un parque eólico es muy pequeño si se lo compara con otras causas de muertes de aves, como edificios, tendidos eléctricos, carreteras, caza ilegal, etc. (Foster et al, 2006).

Como se puede ver existen mayores ventajas que desventajas y es posible minimizar algunos de los impactos que se producen, solo es necesario contar con el diseño y características adecuadas para cada instalación ya que dependiendo de las propiedades de cada lugar se pueden realizar ajustes o modificaciones que ayuden a mitigar los impactos sobre el medio.

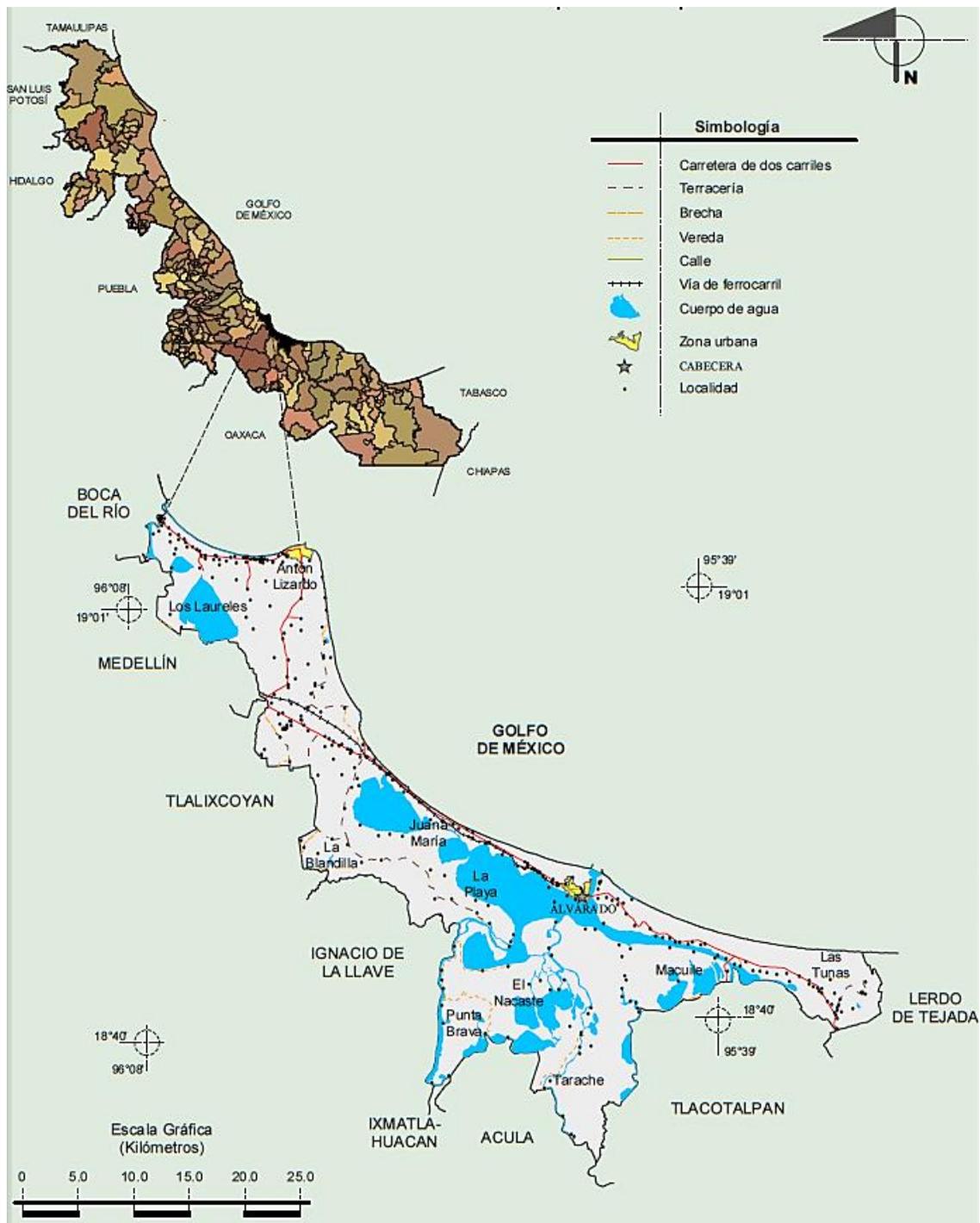
Capítulo 2

Características Físicas del Municipio de Alvarado, Veracruz

2.0. Ubicación del municipio de Alvarado

El municipio de Alvarado se encuentra en el estado de Veracruz en la parte sur oriental, entre los paralelos 18° 34´ y 19°06´ de latitud norte y los meridianos 95° 31´ y 96° 07´ de longitud oeste, tiene una superficie de 825.8 km ² lo que tan solo representa el 1.1% del territorio estatal y su altitud varía entre los 5 y 100 m. Alvarado presenta una forma irregular y colinda con el Golfo de México y el municipio de Boca del Río al norte; al este con el Golfo de México, Lerdo de Tejada y Tlacotalpan, al sur con los municipios de Tlacotalpan, Acula, Ixmatalhuacan e Ignacio de la Llave y al oeste con Ignacio de la Llave, Tlalixcoyan, Medellín y Boca del Río (INEGI, 2009). Mapa1.

El conocimiento de los rasgos y procesos geomorfológicos de cada lugar orientan en gran parte el uso de los recursos naturales, así como las actividades económicas que se llevan a cabo, por esto la importancia de conocer a detalle las características del entorno en el lugar en donde podría llevarse a cabo el emplazamiento de un parque eólico. Por lo tanto, con la finalidad de reconocer las características y condiciones de este territorio, a continuación se describen los aspectos geográficos que son de importancia para determinar la factibilidad y/o condiciones bajo las que deberán realizarse dichas instalaciones.



Mapa 1 (INEGI 2009)

2.1. Geología

Debido a la extensión territorial que ocupa el municipio de Alvarado es importante mencionar

las características geológicas del estado de Veracruz para después poder explicar y entender a mayor detalle las condiciones del municipio. El estado de Veracruz está conformado por distintas formaciones litológicas y estructuras, dividiéndose en ocho provincias geológicas: Miogeoclinal del Golfo de México, Macizo ígneo de Palma Sola, Faja volcánica Transmexicana, Cinturón mexicano de pliegues y fallas, Cuenca deltaica de Veracruz, Macizo Volcánico de los Tuxtlas, Cinturón Chiapaneco de pliegues y fallas y Batolito de Chiapas. Todas estas provincias presentan diversas expresiones morfológicas las cuales muestran complejidades a lo largo y ancho del terreno veracruzano (UV, 2010).

La historia geológica de Veracruz se remonta a la era Paleozoica en donde se da la separación del mega continente Pangea dando origen al actual Golfo de México; en la era Mesozoica entre el periodo Jurásico y Cretácico se da la formación de las plataformas marinas de Córdoba, Tampico – Misantla y San Luis Valles seguida por la formación de la Sierra Madre Oriental en el Paleoceno y posteriormente en el Eoceno la Planicie Costera del Golfo, estos dos últimos ya pertenecientes a la Era Cenozoica. Entre el Mioceno y Plioceno se da inicio al vulcanismo de la Faja Volcánica Transmexicana y en el Pleistoceno se forman los estratovolcanes Cofre de Perote y Pico de Orizaba (UV, 2010).

La mayor parte del territorio veracruzano proviene del Terciario y Cuaternario, seguido por estructuras propias del Cretácico principalmente en la región de Córdoba y Orizaba así como algunas formaciones originadas en el periodo Triásico (UV, 2010).

El municipio de Alvarado pertenece a la provincia geológica de la Cuenca deltaica de Veracruz, y su formación sucedió en la Era Cenozoica durante el Período Terciario y Cuaternario perteneciendo a este último el 80% del territorio del municipio. Las formaciones litológicas contienen rocas sedimentarias tanto de origen continental como marino ya que en el Terciario surgieron depósitos de sedimentos derivados de la erosión de rocas carbonatadas provenientes del Mesozoico; estos sedimentos posteriormente se depositaron en las llamadas cuencas terciarias de Veracruz, donde la acumulación llegó a más de 3,000 m de sedimentos terrígenos, predominantemente de areniscas de grano fino a medio con lutitas intercaladas, cuerpos aislados de conglomerados y estratos carbonatados (UV, 2010).

Estos sedimentos cubren el territorio el cual tiene una expresión morfológica de amplias llanuras sobre la cual se asienta un sistema lagunar y la desembocadura del Río Papaloapan, por lo que para entender la morfología del terreno se hace indispensable conocer la hidrografía del lugar; así mismo los tipos de suelo de la región varían dependiendo el tipo de roca y su relación con la presencia de agua, encontramos que los más abundantes son los de tipo eólico (38.11%), palustre (28.65%), aluvial(7.92%), lacustre(3.73%) y litoral(0.80%) (INEGI, 2009).

2.2. Fisiografía

En el Estado de Veracruz se encuentran ocho provincias fisiográficas: la Llanura Costera del Golfo Norte, que abarca desde el límite con Tamaulipas hasta la región de Nautla; la Sierra Madre Oriental, en su porción noreste; el Sistema Volcánico Transversal, que forma la porción central montañosa del estado; la Sierras Orientales de Oaxaca (perteneciente a la Sierra Madre del Sur) en su extremo oeste; la Llanura Costera del Golfo Sur, que va del límite con el Sistema Volcánico Transversal hasta el estado de Tabasco; así como dos pequeñas fracciones de las provincias llamadas Cordillera Centroamericana y Sierras de Chiapas y Guatemala, en el extremo sureste del Estado (UV, 2010). Cada una de estas Provincias Fisiográficas ocupa el siguiente porcentaje de la superficie estatal:

- Llanura Costera del Golfo Sur 48.3%
- Llanura Costera del Golfo Norte 28.8%
- Sistema Volcánico Transversal 11.1%
- Sierra Madre Oriental 4.9%
- Sierras de Chiapas y Guatemala 2.9%
- Sierras Orientales de Oaxaca (Sierra Madre del Sur) 2.8%
- Cordillera Centroamericana 0.6%
- Cuerpos de agua 0.6%.

El municipio de Alvarado se encuentra ubicado dentro de la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Sur, la cual es la más extendida ya que ocupa casi la mitad del

territorio veracruzano. Esta llanura presenta un terreno intensamente aluvionado por las corrientes fluviales, las cuales son las más caudalosas del país, pues incluyen a los Ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva – Usumacinta; estos ríos atraviesan la llanura para después desembocar en el Golfo de México; por lo que esta se encuentra cubierta de material aluvial (UV, 2010).

La mayor parte de la llanura se encuentra casi a nivel del mar a excepción de algunas colinas bajas y la discontinuidad de los Tuxtlas. A su vez esta provincia se encuentra dividida en tres subprovincias: Llanura Costera Veracruzana, Discontinuidad Fisiográfica Sierra de los Tuxtlas y Llanuras y Pantanos Tabasqueños (UV, 2010).

La Llanura Costera Veracruzana tiene una extensión de 27,001.17 km² la cual incluye 21 municipios completos (incluye Alvarado en un 100%) y parte de otros 26, además de la cuenca baja del Río Coatzacoalcos y Papaloapan. En esta subprovincia se presenta el siguiente sistema de topofomas: Llanura aluvial costera inundable (48%), Llanura aluvial costera (37%), Playa o barra (11%) y Llanura aluvial costera con dunas (4%) (INEGI, 2009).

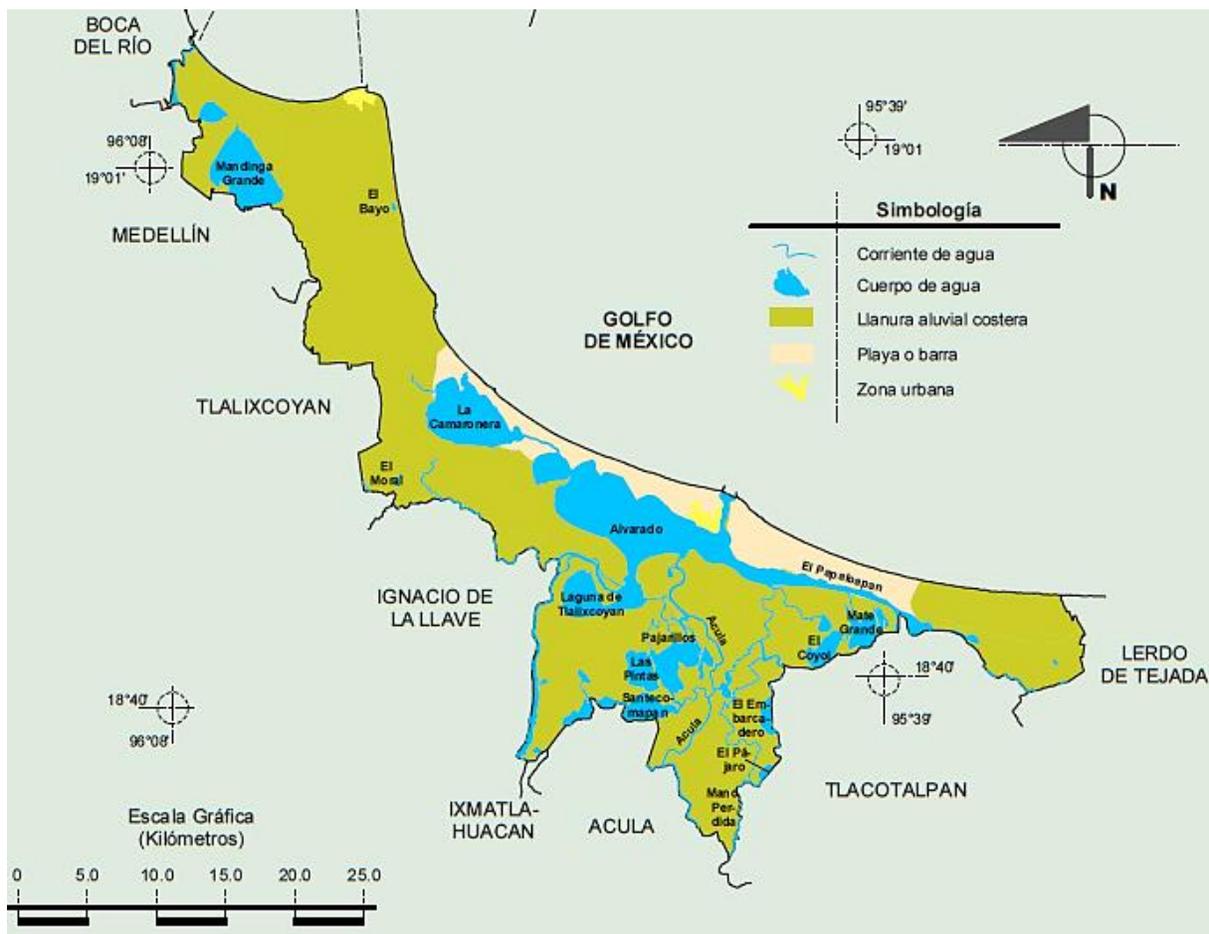
Tomando en cuenta las características fisiográficas del municipio de Alvarado es importante mencionar aquellas que son de relevancia para este estudio, ya que la finalidad es la instalación de un parque eólico; para lo cual el aspecto más relevante a tomar en cuenta es la pendiente, ya que esta puede tener limitaciones, es decir, si se tiene una pendiente muy pronunciada los costos y la dificultad técnica para llevar a cabo dicha instalación serán mayores.

Además se debe tener en cuenta el riesgo que existe en las pendientes demasiado pronunciadas, pues al realizar los trabajos de cimentación o movimiento de las piezas del aerogenerador, se pueden desencadenar movimientos de remoción en masa o procesos erosivos, lo cual trae repercusiones a corto y largo plazo.

Por lo anterior las pendientes más aptas para llevar a cabo el emplazamiento de los aerogeneradores son las pendientes menores a 20%, pudiendo considerar aquellas de entre 21 y 40% pero estas requerirán mayor detalle en los estudios previos así como especificaciones

técnicas diferentes para asegurar el buen funcionamiento y la seguridad del emplazamiento, y descartando por completo las pendientes mayores a 40% debido a las limitantes antes mencionadas (Molina y Tudela, 2008).

Para el caso del municipio de Alvarado se identifican pendientes suaves, pues como se mencionó anteriormente el terreno está caracterizado por llanuras aluviales y algunas colinas; en este aspecto podemos mencionar que el factor pendiente no representa mayor problema para la instalación de los aerogeneradores. Mapa 2.



Mapa 2. Relieve (INEGI 2009)

2.3. Hidrografía

El municipio de Alvarado se encuentra ubicado en la región hidrológica del Río Papaloapan, la

cual está formada por las cuencas del Río Papaloapan y la del Río Jamapa y a su vez estas cuencas se encuentran divididas en tres subcuencas: Río Blanco, Río Jamapa y Río Atoyac (INEGI, 2009).

Cabe mencionar que las corrientes fluviales que aquí se encuentran son de las más caudalosas del país las cuales destacan el Río Papaloapan, Jamapa, Blanco y Limón. También se encuentran algunas corrientes de agua perennes de las que destacan El Alacrán, Acula, Palma Real, Paso el Burro y Mano Perdida.

Además de las corrientes fluviales cuenta con un sistema lagunar de gran importancia; este sistema lagunar en realidad está compuesto por lagunas costeras salobres y esteros, de entre las que destacan las lagunas de Alvarado, el Coyol, El Embarcadero, El Moral, El Pájaro, El Papaloapan, La Camaronera, Laguna de Tlalixcoyan, Las Pintas, Mandinga Grande, Mate Grande, Pajarillos y Santecomapa (Portilla, 2003).

Cabe mencionar que el Estado de Veracruz recibe 35% del escurrimiento nacional siendo la región de Alvarado de gran importancia por su extensión estatal ya que cubre 280,000 hectáreas (tercero a nivel nacional y segundo en el estado después de las lagunas de Tamiahua) (Portilla, 2003).

2.4. Edafología

En el estado de Veracruz los suelos dominantes son los Vertisoles ya que representan el 27.4% del territorio; mientras que en el municipio de Alvarado los suelos dominantes están constituidos por Gleysoles (38%), Vertisoles (24%), Arenosoles (15%), y Solonchak (2%) (INEGI, 2009); a continuación se describen las características de cada uno de estos suelos.

- **Gleysoles:** Están situados principalmente en los valles aluviales del río Papaloapan, los tipos más frecuentes son Gleysol éutrico y Gleysol vértico los cuales se encuentran asociados a los Solonchak gleyco. Este tipo de suelos son húmedos en exceso y presentan hidromorfismo en el horizonte gleyco (menos de 50 cm de profundidad), son suelos arcillosos de color gris a pardo, contienen gran cantidad de materia orgánica y se

agrietan fácilmente cuando se secan (CONABIO, 2011 y UV, 2010). En la región del río Papaloapan presentan un pH de neutro (7.0) a muy ácido (4,7). Para su uso agrícola requieren de un sistema de drenaje eficiente e incrementar el pH; sin embargo es posible cultivar caña de azúcar y arroz. Los Gleysoles son sustento de manglar, tular, popal y selva alta así como cultivo de pastos y agricultura de temporal.

- **Vertisoles:** Estos suelos están formados por lutitas, calizas, conglomerados, areniscas, rocas ígneas básicas y aluviones; presentan un horizonte “A” profundo con textura de migajón o arcillosa; debido al alto contenido de material fino que poseen se compactan al secarse y se expanden y presentan una textura muy adhesiva al, estos cambios hacen que el suelo se agriete con aberturas de por lo menos 1 cm de ancho. Predominan los Vertisoles pélicos (gris oscuro) aunque también los hay crómicos (suelos pardos); ambos presentan un pH levemente ácido a mesuradamente alcalino y tienen una cantidad de materia orgánica media (UV, 2010). Actualmente en este tipo de suelos se llevan a cabo cultivos de temporal y de riego; además de sustentar selva mediana subperenifolia y baja caducifolia y pastos inducidos (CONABIO, 2011). Su manejo se restringe a la cantidad de humedad adecuada.
- **Arenosoles:** Son suelos con poca capacidad para retener agua por su textura arenosa, son suelos minerales con un desarrollo muy pobre y potencial de escurrimiento bajo y buena permeabilidad por lo que la infiltración del agua mantiene valores altos aun cuando se han humedecido. Poseen cantidades bajas de calcio y materia orgánica; estos suelos se secan rápidamente y su susceptibilidad a la erosión va de moderada a alta (CONABIO, 2011).
- **Solonchak:** Son suelos de carácter salino, se encuentran en áreas temporal o permanentemente inundadas y presentan una vegetación herbácea predominantemente halófila (CONABIO, 2011). El uso agrícola de este tipo de suelos se limita a cultivos altamente resistentes a la salinidad y el uso pecuario depende de la vegetación que sustente. Algunos de estos suelos son utilizados como salinas y son suelos poco propensos a la erosión.

En el caso de los parques eólicos, estos no causan grandes repercusiones sobre el suelo, el espacio utilizado después de su instalación es mínimo pues únicamente se ocupa el lugar en donde van montados los aerogeneradores, algún edificio extra (subestación, mantenimiento) y los caminos de acceso (Tudela y Molina, 2005); pero aun así es importante identificar el tipo de suelo del lugar ya que existen algunos que requieren mayores cuidados o mayor tiempo de restauración después de la instalación, así mismo es importante identificar un tipo de suelo que no sea inundable ya que esto puede presentar repercusiones en la instalación a largo plazo. A continuación se señalan los tipos de suelo encontrados en el municipio de Alvarado, destacando sus propiedades y el nivel de aptitud que poseen para el fin ya conocido.

Tipo de suelo	Aptitud	Características
Gleysoles	Baja	Excesivamente húmedos, presentan hidromorfismo y sustentan vegetación de manglar y popal.
Vertisoles	Baja	Presentan agrietamientos por compactación y expansión, sustentan vegetación de selva baja.
Arenosoles	Media	Presentan vegetación herbácea y son susceptibles a la erosión.
Solonchak	Baja	Suelos demasiado salinos que pueden presentar inundaciones y vegetación herbácea.

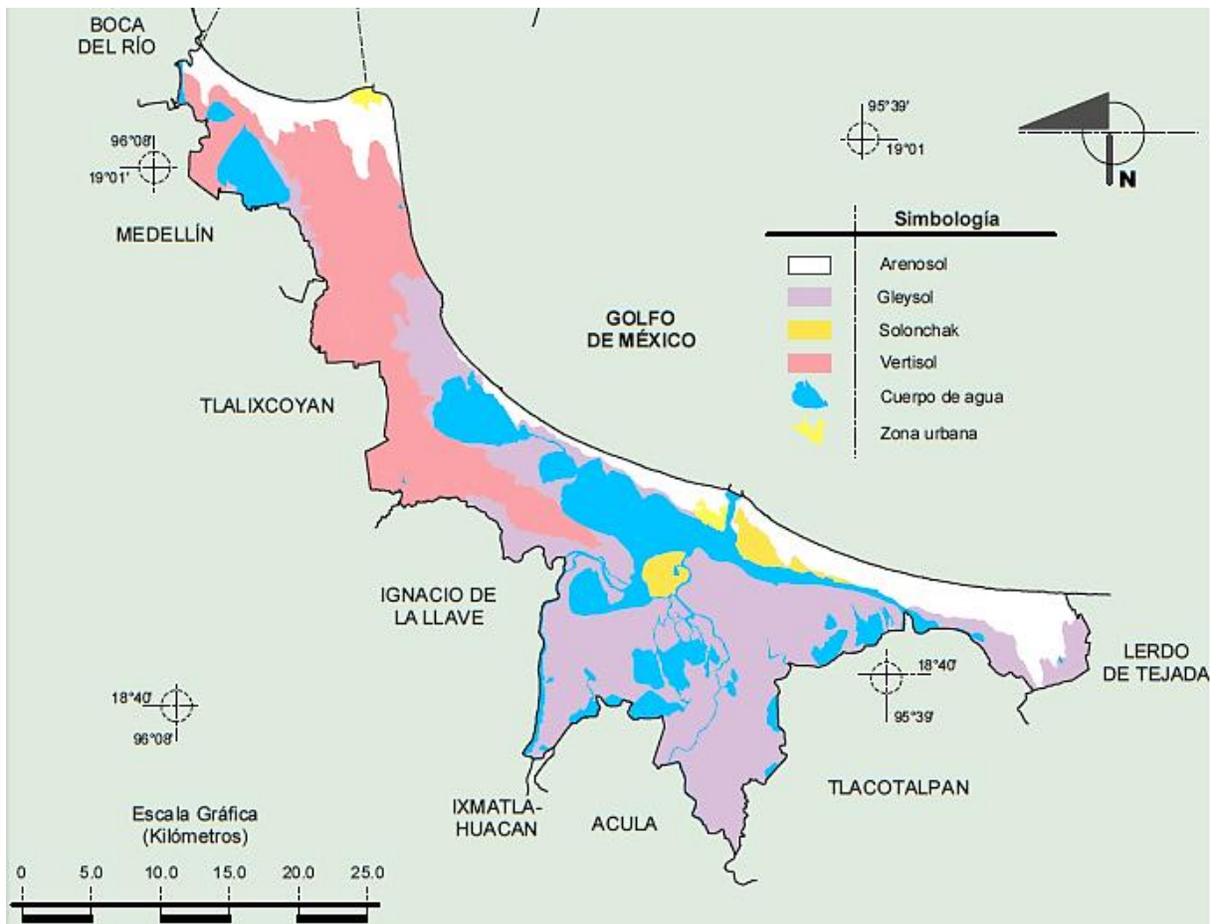
Tabla 2. Aptitud de los suelos (Elaboración propia con base en Molina y Tudela)

Como se puede ver en la tabla de arriba se muestra claramente que la edafología del área de estudio no presenta las características óptimas para llevar a cabo la instalación de los aerogeneradores; sin embargo, como se mencionó anteriormente es posible realizar el emplazamiento si se hacen algunas modificaciones o bien el uso de equipos especiales. Los suelos que definitivamente deberán ser descartados tanto por sus propiedades como por la vegetación que sustentan son los Gleysoles pues estos suelos se encuentran inundados además de que presentan un valor ecológico alto al sustentar vegetación de manglar y popal.

En el caso de los vertisoles al igual que el anterior la vegetación que presentan es de alto valor ecológico por lo que valdría la pena no generar un impacto negativo en esta. En los arenosoles la instalación en si no presenta mayores problemas pues son suelos casi estériles y de poca

vegetación; sin embargo, el único punto a tomar en cuenta es su facilidad para erosionarse, lo cual puede causar repercusiones en el montaje de los aerogeneradores a largo plazo, aunque es posible disminuir este problema dando el correcto mantenimiento.

Por último los Solonchak presentan el inconveniente de inundarse y ser altamente salinos lo cual puede presentar repercusiones de corrosión en la cimentación o los mismos aerogeneradores, por lo cual deberá recurrirse a equipos de materiales altamente resistentes a la corrosión o bien a equipos que son utilizados en los emplazamientos “offshore” pudiendo presentar mayor durabilidad ante la salinidad y adaptabilidad a las condiciones que este tipo de suelos presentan.



Mapa3.Edafología (INEGI 2009)

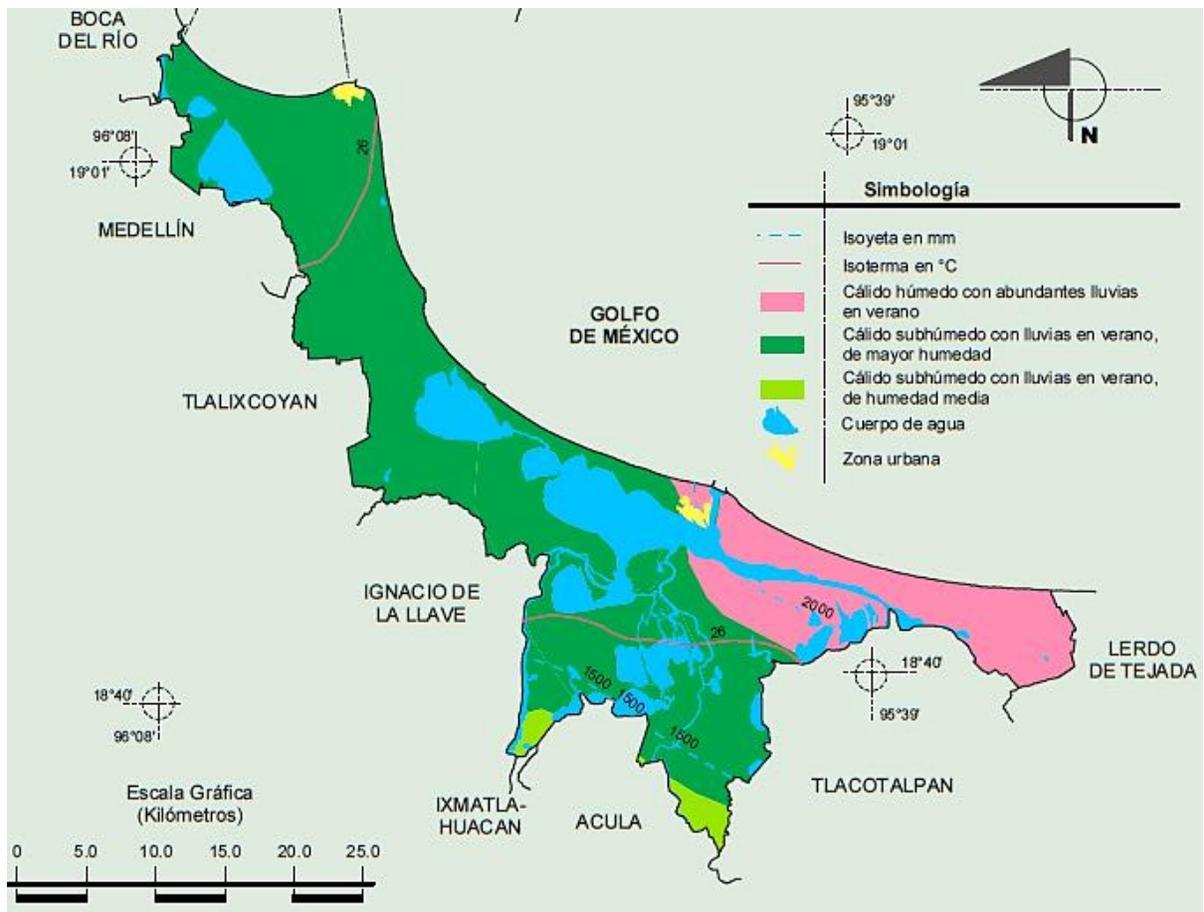
2.5. Clima

Los elementos del clima son el viento, la temperatura, la humedad, y la precipitación los cuales están determinados por diversos factores, como son latitud, orografía, distribución de tierras y aguas, corrientes marinas, entre otras. Específicamente los factores que determinan el clima para el Estado de Veracruz son la orografía y los sistemas de circulación atmosférica dominantes en las distintas épocas del año (Llanos y Cervantes, 1995).

Existen dos masas de aire que dominan en Veracruz; las masas tropicales relacionadas a la temporada de lluvias (6 meses) y las masas de aire polar, relacionadas a las temporadas secas (6 meses). Las masas de aire tropical se establecen a partir del mes de junio y se muestran a partir de los vientos alisios; en el caso de que estos vientos se profundicen se produce la **“onda del este”** la cual provoca cambios en la dirección del viento así como formación de nubes de desarrollo vertical, llegando a causar depresiones, tormentas y huracanes en caso de aumentar dicha onda (Llanos y Cervantes, 1995).

Además de lo anterior debemos resaltar el hecho de que Veracruz se encuentra en la costa del Golfo de México, lo cual provoca importantes contrastes entre el mar y la tierra provocando circulaciones locales. Después de la salida del sol se presenta la brisa marina alcanzando su máxima intensidad entre las 13 y 16 horas y la brisa terral comienza al ponerse el sol (Llanos y Cervantes, 1995) y no presenta un momento definido de máxima intensidad continuando hasta el amanecer.

Para la llanura Costera del Golfo en la parte sur, la temperatura media anual oscila entre los 25 y 27°C, la máxima se ubica entre los 27 y 28°C, mientras que la mínima en promedio esta entre los 16 y 18°C (CONABIO, 2011). Debido a que Alvarado pertenece a esta región las condiciones no varían mucho teniendo su rango de temperatura entre los 24° y 28°C, y las precipitaciones van de los 1400 a 2100 mm; presentando tres tipos de climas diferentes los cuales son; Cálido subhúmedo con lluvias en verano (79%) el cual presenta mayor humedad, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (19%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (2%) (INAGI, 2009). Mapa 3.



Mapa 4. Climas (INEGI 2009)

En Veracruz la máxima intensidad de vientos mensuales o dominantes absolutos proceden del norte. En los meses de invierno domina la afluencia de masas de aire polar mientras que para la primavera se dan variaciones con masas de aire tropical (Llanos y Cervantes, 1995).

Los vientos máximos en el estado proceden del norte sobre todo en los meses de invierno, a excepción de la región de Orizaba en donde los vientos dominantes provienen del suroeste. A lo anterior debemos agregar la presencia de suradas en el estado, las cuales se presentan entre los meses de enero a mayo y pueden ser bastante violentas (hasta 85 km/h) ocasionadas por los vientos polares que se mezclan con un sistema de baja presión al centro del país y corrientes de vientos máximos (Llanos y Cervantes, 1995).

2.6. Viento

Para Alvarado los vientos dominantes se comportan de igual manera teniendo como componente los vientos del este en los meses de verano y de componente norte en los meses de invierno. Según información de un estudio realizado los datos del viento para Alvarado señalan que la velocidad media mínima es de 4.15 m/s, mientras que la media máxima registra 18.50 m/s (la velocidad fue tomada a una altura de 50 m) lo cual nos da un promedio de 11.33 m/s. En ese mismo estudio se señala que con un promedio de solo 5.45 m/s es posible obtener energía eléctrica por 14,432 kW por lo que el promedio en el lugar de estudio supera el doble de esta cantidad (Hernández, 2011).

Asimismo el rango de potencia del viento el cual se refiere a la relación de la potencia eléctrica de salida en función de la velocidad del viento para poder generar energía es la siguiente:

Región de operación	Rango de velocidad (m/s)	Característica Operativa
Región 1	0 - 4	Vientos demasiado débiles para producir potencia eléctrica.
Región 2	4 – 12	Producción de electricidad creciente con la velocidad del viento.
Región 3	12 – 20	Producción de electricidad constante
Región 4	20 – 25	Los vientos son demasiado fuertes por lo que la turbina permanece parada.

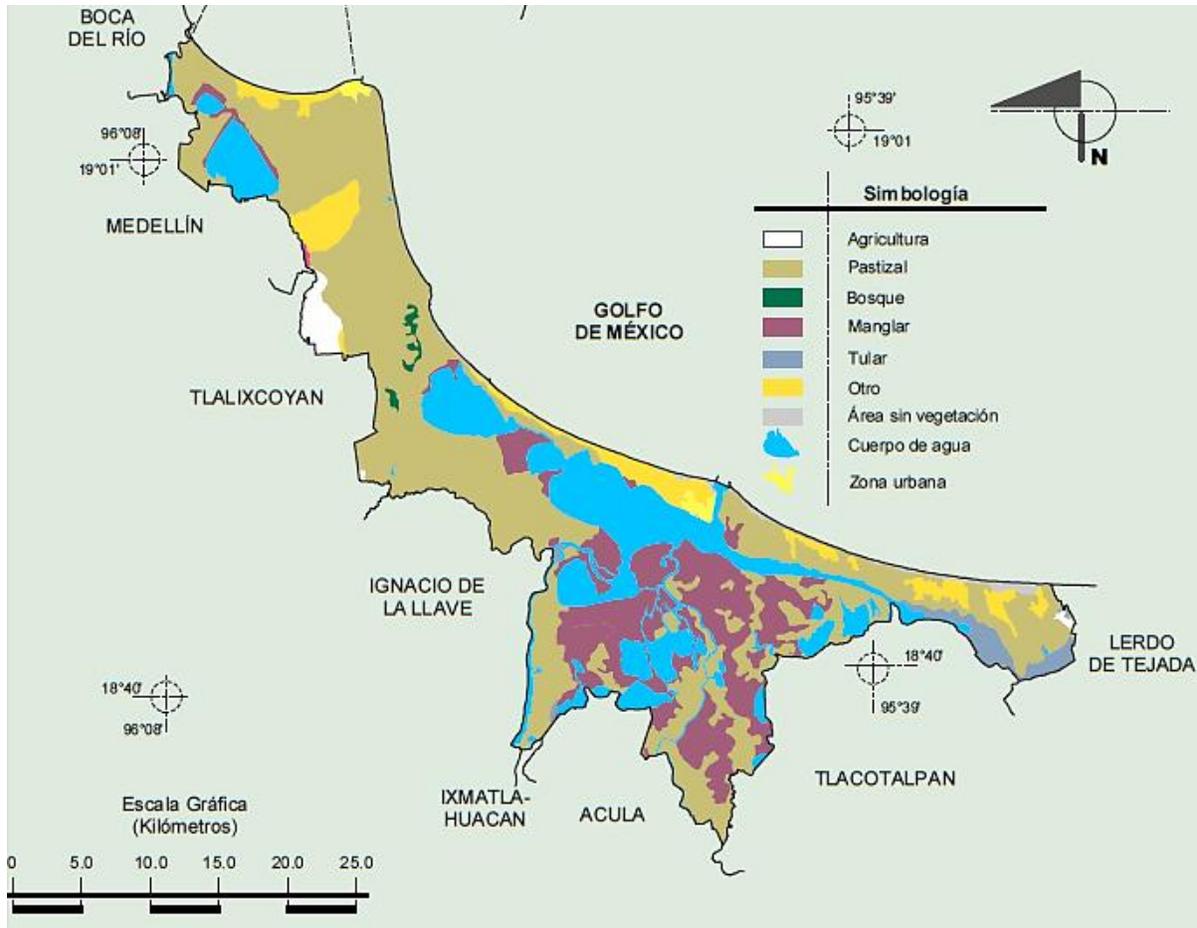
Regiones características en función de la velocidad (Iannini, 2004)

Como se indicó la velocidad media supera los 11 m/s, este dato permite seleccionar el tipo de aerogenerador más adecuado para el área, además se cuenta con el promedio de la densidad de potencia que es de 1,563 W/m² la cual es la cuarta más elevada de la entidad (Hernández, 2011).

2.7. Vegetación

La vegetación en el estado es muy variada ya que responde a diferentes factores como el clima, la topografía, los suelos y la altitud, entre otros. En el municipio de Alvarado a pesar de no

existir grandes diferencias altitudinales encontramos cinco tipos de vegetación dominantes y bien diferenciados así como otros dos usos de suelo adicionales. Las principales asociaciones vegetales que aquí se encuentran son: el pastizal (49%), manglar (18%), tular (2%), bosque (1%), otros (6%) y áreas sin vegetación (1%); mientras que los usos de suelo corresponden a: agricultura (2%) y la zona urbana (1%) y el resto del uso de suelo en el municipio está referido a cuerpos de agua (INEGI, 2009).



Mapa 5. Vegetación y uso de suelo (INEGI 2009)

- **Manglares y Tulares**

A pesar de ser un área altamente modificada por la ganadería y la agricultura, Alvarado posee la superficie más importante de manglar de todo el estado de Veracruz, la cual corresponde al sistema lagunar del humedal de Alvarado, teniendo una extensión

aproximada de 280 000 ha y es considerado como el tercer humedal más grande del país, además estos humedales poseen los ecosistemas representativos de la planicie costera del Golfo por lo que su valor ecológico y ambiental es de suma importancia. Entre las características más importantes del manglar por lo cual está considerado como un ecosistema de alto valor ecológico, es que este tipo de vegetación puede ganar terreno al agua, atrapar sedimentos, además son áreas de resguardo para organismo mayores y ofrecen sustrato para las especies del fondo marino (Portilla, 2003).

El manglar es una de las comunidades más persistentes que existen ya que son muy resistentes a los cambios en la salinidad del agua; esta vegetación está formada por arbustos de 2 a 25 m de altura , la especie predominante es el manglar rojo (*Rizophora mangle*) aunque también se encuentran otras especies como el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle negro (*Avicennia germinans*) los cuales se encuentran amenazadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010; así mismo en esta parte del municipio se encuentran comunidades de tular en donde las especies más conocida son los juncos (*Typha domingensis*, *Scirpus*) y el tule chico (*Cyperus articulatus*); también se encuentran especies de popal (*Thalia geniculata*, *Calathea y Heliconia*), castaña de agua (*Pachira acuática*) y algunas especies de plantas hidrófilas que flotan en el agua como la lechuguilla de agua (*Pistia striatotes*) y el lirio acuático (*Eichornia crassipes*)(Portilla 2003).

- **Pastizales**

La zona de pastizales suele ser de grandes extensiones con árboles dispersos entre los que se encuentran especies como el jícaro (*Crescentia cujete*), el Tachicón (*Curatella americana*), el nanche (*Byrsonima crassifolia*) y diferentes tipos de palmas (*Sabal mexicana*, *Scheelea liebmanni*, *Acrocomia mexicana*) que conforman la llamada sabalera. Los pastizales que aquí se encuentran son tanto cultivados, naturales e inducidos, también se encuentran los llamados acahuals (*Bidens odorata*, *Bidens pilosa y Bidens leucantha*) los cuales surgen de manera espontánea en terrenos que estuvieron en uso agrícola o pecuario en zonas tropicales (Portilla 2003).

En el área de bosque es fácil encontrar especies de encino roble (*Quercus oleioide*) y otras especies herbáceas con plantas espinosas y bejuco (*Cissus verticillata*). Los bosques son más bien bajos con una altura promedio de 6 metros, los árboles se encuentran distanciados unos de otros, en estos espacios se encuentran varias epifitas como helechos, (*Pterophyta spp.*) orquídeas (*Orchidaceae spp.*) y bromelias (*Bromeliaceae spp.*) La imagen de estos bosques es muy espesa puesto que la vegetación herbácea es abundante debido a que la luz del sol llega hasta el suelo y permite que estas crezcan (Portilla, 2003).

- **Vegetación de dunas costeras**

En el área de la costa se encuentra vegetación típica de dunas costeras la cual corresponde a una importante población de palma de bola (*Zamia furfuracea* L.F.) (Portilla, 2003), la cual llega a medir un metro de radio aproximadamente, teniendo un tallo subterráneo que puede llegar a crecer hasta 80 cm. y habita desde la línea de playa hasta donde terminan las dunas costeras. La importancia de esta especie es que es endémica de este lugar y se encuentra en peligro de extinción. Este tipo de vegetación se ubica principalmente en la franja que se encuentra entre la laguna de Alvarado y el golfo de México.

En el caso del municipio de Alvarado las áreas más propicias para llevar a cabo el emplazamiento de un parque eólico son las que están dedicadas a cultivos de regadío, las cuales se encuentran dentro de los pastizales, ya que no se generan impactos agresivos en el suelo ni en la vegetación debido a que estos terrenos ya se encuentran altamente alterados por el hombre.

La aptitud de las áreas en donde existe vegetación se mide de acuerdo al recubrimiento que ofrecen respecto a la erosión y al valor ecológico que poseen, en el lugar de estudio destacan tres casos:

Vegetación	Aptitud	Características
Manglares	Baja	Posee alto valor ecológico y ambiental, se encuentran en las márgenes del río y las lagunas.
Dunas costeras	Media	Presentan vegetación endémica del lugar, pero no son áreas aptas para el cultivo.
Pastizales	Alta	Tienen vegetación herbácea la cual es adecuada para evitar la erosión del suelo y son áreas regularmente modificadas por el hombre.

Tabla 3. Aptitud de la vegetación (Elaboración propia con base en Molina y Tudela)

- **Uso de suelo**

El uso potencial del suelo en el municipio es predominantemente no apto para la agricultura ni para el uso pecuario, restringiéndose solo un 28% para la agricultura intensiva y aprovechamiento de pastizales; y un 50% para praderas cultivadas (INEGI, 2009). Por otra parte las zonas urbanas representan solo un 1% y están asentadas en la llanura aluvial en donde originalmente se encontraba suelo de tipo Arenosol.

Además de los ecosistemas mencionados también se lleva a cabo la agricultura en donde los principales cultivos son la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y la piña (*Ananas spp.*); algunos otros son el chile verde (*Capsicum annum*), el frijol (*Phaseolus spp.*), maíz (*Zea mays*), sandía (*Citrullus lanatus*), plátano (*Musa spp.*), mango (*Mangifera spp.*), jitomate (*Solanum spp.*), coco (*Cocos nucifera*) y el nanche (*Byrsonima crassifolia*) (Portilla, 2003).

Para el caso de un parque eólico tratándose de uso de suelo lo más recomendable es que sea no urbanizable y de preferencia que sea un suelo no apto para cultivos, pues así se evita darle un uso distinto del que podría ser mejor aprovechado. Asimismo se tienen que tomar en cuenta los requerimientos de espacio, ya que los aerogeneradores se deben colocar de acuerdo a determinados parámetros tanto de separación como alineación, por lo que los lugares cercanos a áreas urbanas son menos aptos debido a la probabilidad de la expansión de la urbe.

2.9. Fauna

En el lugar de estudio se encuentra representada una gran diversidad faunística entre la que se encuentran 82 especies de peces, cinco especies de anfibios, 24 especies de reptiles, 15 especies de mamíferos, 26 familias de crustáceos, 38 especies de moluscos, 45 géneros de fitoplancton y nueve especies de zooplancton; asimismo destacan 346 especies de aves registradas en la base de datos de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (CONABIO, 1998). De las especies de aves más representativas del lugar están el pato real (*Cairina moschata*) el cual se encuentra en peligro de extinción y el manatí del caribe (*Trichechus manatus*) que también está considerado en peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2010) y como especie vulnerable C1 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) además cabe mencionar que el sistema lagunar es considerado de alta importancia para la especie (Portilla 2003).

En la NOM-059-SEMARNAT-2010 se encuentran enlistadas tres especies de aves más en peligro de extinción: perico verde (*Aratinga holochlora*), loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*) y el colibrí de cola hendida (*Doricha eliza*); siete especies amenazadas de entre las que destaca el halcón fajado (*Falco femoralis*) y 33 más que se encuentran bajo protección especial.

Como es de esperarse gran parte de la comunidad animal pertenece al ecosistema lagunar y marino; algunas de estas especies dependen del manglar directamente en algún momento de su vida (peces, crustáceos y aves migratorias) (Portilla, 2003). Según datos de la AICA C-50 (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves) referente a los Humedales de Alvarado la zona presenta un alta diversidad avifaunística con especies amenazadas a los diferentes niveles. Es además un área de congregación de especies acuáticas y área de reproducción de rapaces como el gavilán caracolero (*Rosthramus sociabilis*), la aguililla negra menor (*Buteogallus anthracinus*), el gavilán cangrejero (*Buteogallus urobitinga*) y el águila colorada (*Busarellus nigricollis*). De otros vertebrados es sitio de distribución de manatíes (*Trichechus manatus*), nutrias (*Lutrinae* spp.) y área de reproducción de tortugas dulceacuícolas como la tortuga blanca (*Dermatemys mawii*) (Portilla, 2003).

Cabe resaltar que la especie tortuga blanca (*Dermatemys mawii*) posee una gran importancia debido a que sus orígenes se remontan al Cretácico, siendo la única especie de la familia Dermatemidae que sobrevive en nuestros días, esta es la tortuga de agua dulce más grande de Mesoamérica y su carne es muy apreciada por lo que alcanza precios elevados en el mercado (CONABIO, 1998).

Capítulo 3

Propuesta de aprovechamiento de energía eólica

3.1. Selección del área más apta para la instalación del parque eólico

Una vez explicado qué es y cómo funciona la energía eólica, así como los aspectos generales del lugar de estudio, es posible comenzar a realizar el análisis correspondiente de las características óptimas para la instalación de un parque eólico en el municipio de Alvarado.

De acuerdo con la investigación realizada en los capítulos anteriores, se puede decir que, en cuanto a las características geológicas, fisiográficas, las propiedades topográficas y edafológicas son los aspectos que influyen directamente a la hora de seleccionar un sitio específico para el emplazamiento de un parque eólico.

Respecto a la geología cabe mencionar que los únicos aspectos relacionados a ésta, que condicionan la construcción, son aquellos cuyas características sean de valor tanto científico como paisajístico como monumentos naturales o lugares de interés geológico; por lo que en este caso no se presentan inconvenientes para llevar a cabo la actividad deseada ya que no se encontraron estructuras con dichas particularidades.

Se debe considerar que la geología de Alvarado presenta una expresión morfológica de llanura, consecuentemente la fisiografía del lugar está conformada por distintas llanuras aluviales, de estos rasgos se destaca que la cualidad más importante a tomar en cuenta es la pendiente, como ya se dijo en el capítulo anterior las pendientes deben ser menores al 20% para ser consideradas como adecuadas, en este aspecto podemos decir que las llanuras presentan una pendiente casi horizontal por lo que este factor puede ser considerado óptimo.

Otros aspectos como el tipo de suelo no resultaron ser tan favorables ya que la zona de estudio posee un sistema lagunar de gran importancia y extensión, por lo que los suelos que aquí se encuentran son propios de áreas pantanosas como el caso de los Gleysoles y los Solonchak. Es esta misma propiedad la que limita su uso, pues para el caso de la instalación de los aerogeneradores este tipo de suelos además de ser excesivamente húmedos también resultan propicios para algunos cultivos como el arroz y la caña de azúcar, por lo que en general debería evitarse realizar alguna instalación en este tipo de suelos; principalmente por que sustentan al sistema lagunar el cual presenta un gran valor ecológico así como los

inconvenientes de carácter técnico y que pueden ser aprovechados para otra actividad como en este caso la agricultura. Cabe aclarar que en caso de llevarse cabo algún tipo de instalación en estas áreas las características con que es diseñado el parque eólico deberán cumplir con ciertos requisitos para prolongar y asegurar el periodo de vida de la instalación, así mismo estas características especiales finalmente repercuten en el costo inicial de la obra así como en los costos de mantenimiento y lo más importante, el territorio carece de aptitud para la dichas instalaciones.

Ahora bien, respecto a los otros dos tipos de suelo existentes en el lugar: los vertisoles y los arenosoles; si bien ninguno de estos dos suelos presenta las características de humedad e inundación de los anteriores, cada uno conlleva ciertas características que los hacen inadecuados para la instalación de las torres; en el caso de los vertisoles el mayor problema radica en su reacción al humedecerse y al secarse ya que se compactan y se agrietan fácilmente lo cual puede generar problemas con la cimentación.

Los arenosoles por otra parte poseen un buen drenaje y la vegetación que sustentan es escasa y no es de gran importancia, el único inconveniente que presentan es la susceptibilidad a la erosión lo que ocasiona que al igual que en el punto anterior los costos del mantenimiento sean más altos; sin embargo, en este tipo de suelos generalmente encontramos vegetación herbácea con lo cual se evita en gran medida la erosión, se ubican en la parte de las dunas costeras y de pastizales inducidos por lo que la vegetación ha sido alterada previamente; no obstante será necesario llevar a cabo el acondicionamiento correspondiente para que con el paso del tiempo la instalación no se vea afectada por este factor.

Como se puede ver las características edafológicas del lugar de estudio no resultan óptimas para la instalación de un parque eólico; sin embargo, como se ha mencionado con anterioridad es posible llevar a cabo la construcción con algunas adecuaciones y en el caso de los suelos lo más aconsejable es realizar la instalación en los terrenos en donde se encuentran los arenosoles ya que de entre todos los tipos de suelo presentes son los más adaptables, pues el factor negativo de la erosión es más sencillo de amortiguar que mantener los costos en terrenos inundados y de alta salinidad en el caso de los Solonchak y los Gleysoles. Además los arenosoles son suelos estériles por lo que no se estaría sacrificando terreno fértil para llevar a

cabo la central eólica, caso contrario de los Solonchak y Gleysoles.

Al igual que la edafología, la vegetación es otro punto en el que nuestro lugar de estudio no fue tan favorecido, nuevamente por la presencia del sistema lagunar, el cual como se mencionó en el capítulo anterior alberga numerosas especies animales y vegetales de gran importancia ecológica, de entre los que se destaca la existencia del manglar y el popal.

La presencia de este tipo de vegetación está sustentada sobre los tipos de suelos Gleysoles y Solonchak los cuales ya habían sido descartados por su bajo nivel de acogida, por lo que de igual manera no resultan ser lugares adecuados para la finalidad que se busca. Si bien lo primero a tomar en cuenta en estos casos es la presencia de vegetación ecológicamente valiosa como el caso de los manglares también se destaca que cerca de la mitad del territorio del municipio corresponde a vegetación de pastizal siendo la más abundante.

De los pastizales se puede decir que es justo este tipo de vegetación el que presenta las características más adecuadas junto con la vegetación herbácea, ya que al ser una cubierta vegetal de grandes extensiones evita la erosión del suelo, además hay que recordar que los pastizales generalmente son áreas altamente modificadas por el hombre, por lo que no se ejercería ningún impacto adicional o demasiado agresivo para con el medio ahí presente.

Otra ventaja de este tipo de vegetación es que ahorra costos para retirarla ya que no hay que talar o quitar grandes volúmenes de plantas para comenzar con los trabajos correspondientes a la construcción de caminos y los sitios para los cimientos, tal como indican Molina y Tudela (2008 p. 175) **“La vegetación se ve afectada en la etapa preoperacional por las labores de desbroce y retirada de la cubierta vegetal y por la ocupación física del terreno con la construcción de plataformas, caminos de acceso y edificios auxiliares”, así mismo el proceso de regeneración de la cubierta vegetal después del periodo de construcción suele ser más rápido.**

Ahora bien el tema de la vegetación está muy relacionado con la fauna del lugar y así como se indicó que el ecosistema correspondiente al manglar y al tular deben conservarse, pues en el

caso del manglar este se encuentra particularmente protegido por la Ley General de Vida Silvestre en su artículo 60 tercero:

...Queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos...

Lo mismo respecta a la conservación de especies animales que dependen de él como el manatí (*Trichechus manatus*) que como ya se había mencionado se encuentra en peligro de extinción.

En el sistema lagunar habitan diversas especies que van desde moluscos y peces hasta aves siendo esta un área de reproducción de rapaces como: el gavilán caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), aguililla negra menor (*Buteogallus anthracinus*), gavilán cangrejero (*B. urubitinga*) y aguililla canela (*Busarellus nigricolis*) por lo que los lugares en donde estas se encuentran deberán ser excluidas como potenciales para las instalaciones de un parque eólico (CONABIO, 1998); sin embargo, no está demás resaltar nuevamente la importancia de este ecosistema que si bien ya ha sido descartado desde el tipo de suelo y vegetación que sustenta, también es hogar de un gran número de especies y de suma importancia para su preservación y reproducción por lo que una vez más se reitera la incompatibilidad de este medio para la instalación de un parque eólico ya que su baja aptitud resultaría contraproducente.

Cuando se habla de fauna y de un parque eólico generalmente surge la oposición casi de manera inmediata, ya que está muy reprobado el hecho de que las aves se estrellen contra las turbinas, no obstante la realidad es que si bien las aves pueden llegar a estrellarse, la muerte que las turbinas generan resulta mínima cuando se compara con otras causas de muerte (Foster, 2006), si a esto se suman adecuaciones para evitar la colisión, el hecho de rechazar la instalación de una central eólica por este motivo debe ser considerado pero no debería condicionar su puesta en marcha.

...El impacto sobre las aves es pequeño y de tipo fundamentalmente indirecto: posibles colisiones con líneas aéreas y con torres de soportes de cables. De hecho, la colisión no suele producirse contra los aerogeneradores, porque las aves se acostumbran rápidamente a su existencia y a su movimiento, e incluso las migratorias desvían su trayectoria cuando el parque eólico se encuentra en la dirección de su vuelo... (Espejo, 2004 p. 56).

En el caso de Alvarado es importante mencionar que posee una característica especial en cuanto a las aves ya que es parte de la ruta de aves migratorias, se tienen contabilizadas al menos 35 especies migratorias, 112 especies son residentes en el invierno, 6 son residentes en el verano y 7 especies se encuentran ocasional o accidentalmente en el lugar, mientras que las especies residentes todo el año suman 173, por lo anterior podemos ver que el 48% de las aves migran al menos una vez al año, lo cual resulta en un número bastante elevado de aves que se movilizan en toda el área (CONABIO, 1998).

Los aerogeneradores por lo tanto representan la modificación de pautas en su comportamiento, respecto a este se encuentran algunas características específicas de las aves que suponen un mayor riesgo de colisión como son: volar bajo y seguir a presas en picada, esta última referente a rapaces. De igual forma la instalación que se lleve a cabo deberá realizarse tomando en cuenta diferentes adecuaciones para evitar la colisión de las aves principalmente la selección cuidadosa de los puntos para su emplazamiento así como algunos cambios en el diseño de las turbinas (Foster, 2006).

Algunos otros métodos para evitar el choque de las aves son bastante recientes, como detectores que apagan las turbinas cuando un ave se acerca, sin embargo, aún son muy recientes estos dispositivos por lo que aún se encuentran en fases de prueba.

Como siempre existen otras alternativas; como poner luces en los extremos de las aspas o algunas señales en el tendido eléctrico; otras formas que demuestran un menor impacto en la muerte de las aves es instalar turbinas más grandes y más separadas ya que así cuentan con mayor espacio para poder pasar, así mismo un rotor más grande gira más lentamente que uno

pequeño, dando así oportunidad de esquivarlo.

Pero además de la colisión de las aves el simple hecho de interferir en el entorno puede representar grandes impactos por lo que es importante mencionar que deberá evitarse llevar a cabo algún tipo de instalación en lugares de anidamiento, con especial cuidado de las siguientes especies: perico mexicano (*Psittacara holochlorus*), loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*), el colibrí de cola hendida (*Doricha eliza*) y pato real (*Cairina moschata*) ya que se encuentran en peligro de extinción

...Durante las actividades para la construcción y operación de las instalaciones eoloeléctricas no se debe capturar, perseguir, cazar, coleccionar, traficar ni perjudicar a las especies de flora y fauna silvestres terrestre y acuática que habitan en la zona de estudio, especialmente sobre aquellas que se encuentren en alguna categoría de protección... (PROY-NOM-151-SEMARNAT-2006).

Como se ha visto en gran medida las características que determinaron la aptitud negativa del sistema lagunar persisten desde la edafología, hasta la fauna, sin mencionar la importancia que esta cuenca hidrológica tiene tanto ecológicamente como para los habitantes, por lo que deberá descartarse por completo cualquier tipo de instalación o alteración a este ecosistema, ya que cualquier cambio por somero que sea representa grandes impactos en un ecosistema tan frágil como es este.

Aclarado el punto anterior a continuación se retoman las áreas que sí cuentan con la aptitud territorial para llevar a cabo el emplazamiento de un parque eólico. El terreno más adecuado para la instalación corresponde a los suelos arenosos los cuales cuentan con pendientes suaves y vegetación de dunas costeras y pastizales para evitar la erosión, esta vegetación resulta apta para evitar costos en la etapa de construcción así como menores problemas de regeneración después de puesta en marcha la central eólica.

Si bien, tanto los aspectos de suelo y flora son favorables, aún quedan otros aspectos importantes por mencionar y que pueden poner en juego la puesta en marcha del parque eólico aun cuando las características del terreno sean las apropiadas; se trata del patrimonio

arqueológico y el paisaje.

Un punto tan importante como la arqueología no puede pasar desapercibido ya sea por su alto valor científico y cultural o por su importancia que puede difundirse más allá de la región, por lo que la instalación de una granja eólica no resulta compatible con estos hallazgos (Molina y Tudela, 2008).

El actual municipio de Alvarado fue un área habitada por la cultura Olmeca, así mismo la cultura Totonaca se encontraba asentada en parte en la cuenca del Río Papaloapan, de esta **última destaca “El Zapotal” un sitio arqueológico** ubicado en el municipio de Ignacio de la Llave y que se encuentra cerca de la Laguna de Alvarado, por lo que se infiere que es posible el hallazgo de restos arqueológicos en el lugar de estudio.

Este es uno de los aspectos más importantes a tomarse en cuenta ya que el hecho de encontrar restos arqueológicos en el lugar supone desde la demora para llevar a cabo más excavaciones hasta la detención total del proyecto en caso de encontrar estructuras como ruinas, edificios o centros ceremoniales. Se aclara que en este estudio no se realizó ningún tipo de investigación arqueológica por lo que es conveniente realizar un estudio aparte por un profesional en el tema.

Además de la arqueología del lugar también es indispensable hablar sobre el paisaje. Cuando se habla de una central eólica es fácil imaginarse unas torres muy altas con aspas enormes; de inmediato se rechaza la idea de tener algo tan antiestético a la vista, no obstante, la valoración del paisaje es muy subjetiva y por demás complicada para su estudio.

...Establecer la protección de un paisaje frente a determinadas actividades supone tener un conocimiento profundo del mismo y llegar a establecer el grado de afición que la actividad en cuestión supondría sobre ese sistema. Ello requiere el análisis y la valoración del paisaje de forma rigurosa, tarea difícil ya que las metodologías al uso conducen con demasiada frecuencia al establecimiento de juicios subjetivos...(Molina y Tudela, 2008).

En la actualidad existen diversas tácticas para aminorar los impactos visuales tales como el uso de colores adecuados, que no sean demasiado brillantes, así como colores que armonicen con el paisaje; por ejemplo en Alemania se utiliza una gama de tonos verdes la cual se degrada desde la base de las torres hasta los cuatro metros aproximadamente, lo cual permite que se vincule con el verde del paisaje; además también es muy importante la correcta elección de los puntos en donde se llevará a cabo la instalación de cada aerogenerador con respecto al relieve, evitando aquellos en donde los rotores sean demasiado visibles (Molina y Tudela, 2008). En general, se puede decir que, en un parque eólico los aspectos visualmente negativos son los aerogeneradores mismos, y la sombra que estos producen.

No obstante como se mencionó “Por otro lado el impacto visual de estas instalaciones depende de criterios subjetivos: mientras que un parque de unos pocos aerogeneradores puede llegar a ser incluso atractivo, una gran concentración de máquinas plantea problemas **mayores.**” (Cayetano 2004 p. 57).

Por último cabe mencionar que respecto a los impactos de la energía eólica deberán ser comparados con otros impactos negativos que propician otras fuentes de energía como por ejemplo la contaminación generada por los combustibles fósiles para así determinar si esta es una razón válida para no llevar a cabo el proyecto.

Entre otras cosas también se debe considerar el valor ecológico, es decir, si el terreno se encuentra dentro de un Área Natural Protegida (ANP) o si se albergan especies protegidas, por lo que respecta al municipio de Alvarado no se encuentra ninguna ANP, según **información de CONABIO “Se propone la creación de un área natural protegida “Sistema Lagunar de Alvarado” como reserva de la Biósfera”** (CONABIO, 1998); pero hasta este momento aún no se encuentra considerada como tal. Sin embargo, existen otras categorías en las que la región si se encuentra incluida tales como la Región Marina Prioritaria RMP-50, Sistema Lagunar de Alvarado, la Región Terrestre Prioritaria RTP-124 Humedales del Papaloapan, la Región Hidrológica Prioritaria RHP-79, Humedales del Papaloapan, San Vicente y San Juan, Área de Importancia para la Conservación de las Aves AICA C-50 Humedales de Alvarado, así como los sitios RAMSAR 1355 Sistema Lagunar de Alvarado y 1462 Humedales de la laguna La Popotera (Portilla, 2003).

En estas categorías se encuentran enlistadas las especies amenazadas así como las especies endémicas de México por lo se encuentra considerada la información contenida para la mejor toma de decisión en el área de estudio.

3.2. Propuesta de generación eólica

Si bien el propósito principal de esta investigación es reconocer aquellas propiedades que son óptimas para esta actividad, también lo es fomentar la producción de energía por sistemas renovables como lo es la energía eólica. Así mismo se desea corroborar el amplio potencial con que cuenta la región siendo este el principal motivo para aprovechar el recurso disponible.

Ahora que se han analizado las características del entorno para la instalación de un parque eólico, se realiza una propuesta para llevar a cabo la instalación de aerogeneradores en el municipio de Alvarado, **Veracruz. Tomando en cuenta que** “Una instalación eólica de gran tamaño produce alteraciones con el medio físico – impacto visual, sobre las aves, ruido y erosión- y en el medio socioeconómico” (Cayetano 2004 p. 56).

Las áreas más aptas para llevar a cabo la instalación de un parque eólico en el municipio de Alvarado son aquellas en donde la vegetación no representa un problema por ser demasiado densa, alta o ecológicamente muy importante, el tipo de suelo no sea inundable, salino y preferentemente no apto para la agricultura, la pendiente no debe ser abrupta, no debe ser hogar de especies en peligro y por último este lugar no ha de encontrarse cerca de los centros urbanos o viviendas.

Expuestos los requerimientos la selección del emplazamiento se limita a un área la cual cumple con todas estas características, localizada al sur oriente del municipio entre el sistema lagunar y el Golfo de México se encuentran las dunas costeras, ya que estos terrenos son los que cuentan con suelos arenosoles que si bien no son perfectos para la actividad si son los más aptos de los suelos disponibles en el municipio. Por otra parte el uso de suelo de estas áreas no es apto para la agricultura debido a la edafología ya que como se mencionó los arenosoles son suelos infértiles; en cuanto a la vegetación resulta bastante propicia ya que se trata de una vegetación arbustiva baja, el único cuidado que se requiere en cuanto a la vegetación es la

preservación de la palma de bola que como se indico es una especie endémica del lugar y la cual se encuentra en peligro de extinción.

Por lo que se sugiere que una vez puesto en marcha el parque eólico se propicie la regeneración de la cubierta vegetal endémica lo cual traería grandes beneficios ya que el área en donde se encuentran los aerogeneradores esta comúnmente restringida, es decir, solo puede ingresar a ella personal autorizado. Y por lo tanto no es un área en donde se sustraigan las especies fácilmente. Dicho lo anterior se permitiría rehabilitar la vegetación original del lugar además de reforzar el cuidado con la palma de bola.

Otro de los puntos a favor de instalar los aerogeneradores en esta área es que se encuentra libre de obstáculos pues se encuentra de frente al mar, como se mencionó en el primer capítulo la velocidad del viento es mayor cuanto más cercana se encuentre de la costa, incrementándose mar adentro, lo cual resulta en una gran ventaja pues se eliminan las turbulencias que pueden ser causadas por casas, árboles o el relieve mismo.

Así mismo este lugar se encuentra alejado del principal centro urbano, aquí solamente se encuentran localizadas algunas viviendas por lo que la contaminación visual y auditiva que se pueda generar será mínima, en este aspecto lo único que debemos considerar es que el lugar de la posible instalación se encuentra cercano a la carretera federal 180 (Matamoros, Tamaulipas – Puerto Juárez, Quintana Roo) que si bien no afecta auditivamente hay que tener mucho cuidado con el impacto visual que se pueda generar a los conductores procurando la visibilidad de los aerogeneradores pero que esta no resulte demasiado agresiva o contrastante con el paisaje.

Este mismo aspecto también resulta óptimo para el emplazamiento del parque eólico ya que al encontrarse cerca de una carretera la accesibilidad facilita mucho tanto la fase de construcción como la de mantenimiento, ya que permite el acceso de los aerogeneradores al lugar de la instalación lo cual es una gran ventaja, además también es importante mencionar que casi paralelamente a la carretera se encuentran las líneas del tendido eléctrico por lo que en estos aspectos la ubicación es óptima.

3.3. Selección del aerogenerador

Ahora bien para seleccionar el tipo de aerogenerador que ha de utilizarse se deben tomar en cuenta diversos factores como el propósito, pudiendo ser el ahorro de energía, el autoabastecimiento de casas habitación o bien el ahorro de energía en una empresa.

En el caso de este estudio se considera que el propósito principal de instalar un parque eólico en el municipio es el de producir energía de una forma más limpia y respetuosa con el medio ambiente y con los recursos locales disponibles para beneficio de la mayor cantidad de personas posible, ya que según datos del gobierno de Veracruz este es el Estado en donde se pagan los costos más elevados de electricidad a nivel nacional.

Para tener una referencia de la cantidad de energía que se requiere se debe tomar en cuenta que el consumo normal de una casa es de aproximadamente 4000 kWh al año; además se cuenta con la siguiente información del lugar de estudio:

Altura	Densidad de potencia	Promedio de la velocidad del viento	Promedio de potencia entregada a la red	Promedio de energía entregada a la red	Factor de potencia
50 m	1, 563 W/m ²	6.26 m/s	1,029.60 kW	761,870 kWh/año	28.6%

Energía, potencia generada y factor de potencia (Hernández 2012 p. 219) *Esta información corresponde a la instalación de un solo aerogenerador.

Se sugiere que las turbinas a utilizarse sean lo más grande posible respecto al potencial obtenido a la altura seleccionada, en este caso se toma en cuenta la altura a la que se realizaron las mediciones pues son los datos que se están considerando cabe mencionar que aun cuando a una mayor altura se puede producir más energía debido a que el viento es más fuerte, se considera que la producción de energía a la altura de 50 metros resulta bastante beneficioso.

A continuación se muestra la potencia que debe tener la turbina respecto a la altura seleccionada:

Potencia de la turbina (kW)	Altura del rotor (m)
600	40 – 60
1000	60 - 70
1500	70 – 80
2000	80 – 90

Relación altura potencia del aerogenerador (Snel, 2006)

De acuerdo al cuadro anterior la selección que corresponde al sitio de estudio es de entre 40 y 60 metros, téngase en cuenta que otra de las razones por las que se selecciona este rango de altura es el costo de la torre ya que estas tienen un costo proporcional de la altura al cuadrado, lo que significa que una torre de 85 metros costará cuatro veces más que una de 40 metros, además también han de tomarse en cuenta los costos y la factibilidad de los traslados de la torre y las piezas de mayores dimensiones, ya que esto es conveniente únicamente cuando la manufactura es local, lo cual no es el caso.

Una vez que se ha seleccionado el rango de altura de entre 40 y 60 metros corresponde entonces una turbina de entre 600 y 1000 kW, que presentan un diámetro de entre 44 y 60 m de las cuales se muestran los siguientes modelos:

- Aerogenerador Fuhrländer FL600 de 0.6 MW, diámetro de 50 m altura 59 m
- Aerogenerador de baja potencia Enercon E-48/800 800 kW, diámetro de 48 m altura de 50 m
- Aerogenerador Enercon E-53/800 800 kW, diámetro de 52.9m altura 60 m
- Aerogenerador Enercon E-44/900 900 kW, diámetro 44 m, altura 45 y 55m
- Aerogenerador de velocidad variable Gamesa G52 - 850 kW, diámetro 52 altura 44, 55 y 65 m
- Aerogenerador Suzlon S52 600 kW diámetro de 52 m altura s/d
- Aerogenerador Hyosung HS50 750 kW diámetro de 50 m altura s/d

Para los fines de este estudio se seleccionó el aerogenerador de velocidad variable Gamesa 850 kW ya que según información de la compañía en su sitio web, existen diferentes versiones de este modelo para adaptar la maquina a condiciones de ambientes salinos y también es apta para condiciones de viento medio y turbulencias, así mismo se menciona que cuenta con tecnología que permite extraer la máxima energía del viento con la mayor eficiencia.



Aerogenerador Gamesa G52- 850 kW Fuente: The Wind Power

Se ha calculado la cantidad de energía que se produce con este aerogenerador a través de la siguiente fórmula:

$$EAP = (P/A) \times A \times (\text{rendimiento total}) \times (8760 \text{h/año}) / (1000 \text{W/h})$$

En donde:

EAP: Energía Anual Producida

P/A: Densidad de potencia

A: Área del barrido del rotor

Rendimiento total: Se toma en cuenta un rendimiento aproximado del 30% debido a que el máximo presentan los aerogeneradores actuales corresponde al 40%

Por lo tanto:

$$EAP = (1,563 \text{ W/m}^2) (2214 \text{ m}^2) (0.30) (8760 \text{h/año}) / (1000 \text{W/h}) = 9,094,147 \text{ kWh/año}$$

Como se puede apreciar la cantidad de energía producida anualmente solo por una de estas turbinas es bastante elevada por lo que con una central eólica completa la cantidad de energía producida anualmente se multiplicaría dando grandes beneficios. Ahora bien ya que sabemos cuanta energía produce un aerogenerador es conveniente mencionar cuántos de ellos se han de instalar para conformar el parque eólico. Para saber cuántos aerogeneradores podemos instalar es necesario saber la separación que cada uno de ellos debe tener para lo cual se indica que los rotores instalados sobre una misma línea debe ser de tres a cinco veces la distancia de su diámetro y la distancia entre cada fila de turbinas debe separarse al menos de cinco a nueve veces el diámetro del rotor; por lo que en este caso los aerogeneradores en una misma línea se deberán instalar a una distancia de por lo menos 156 m, mientras que las filas deberán estar separadas al menos 260 metros.

Como se observa cada aerogenerador ocupa un área aproximada de 40,000m² y se debe tomar en cuenta que el área seleccionada mide aproximadamente 1.6 km de ancho por lo que se podrán instalar un máximo de dos filas ya que los aerogeneradores se deberán posicionar a barlovento, es decir, de frente al Golfo de México pues esta es la dirección dominante del viento.

Debido a lo anterior se sugiere que se instalen un máximo de ocho aerogeneradores ya que como se indicó el espacio es muy reducido. Por otra parte también hay que asegurarse de que el parque eólico no sea muy grande para evitar mayores impactos al medio. Si bien la instalación de ocho aerogeneradores no basta para cubrir las necesidades de la demanda de electricidad en el municipio, si se considera que representa un ahorro y sobre todo una mejor forma de producir energía, lo cual debe tomado en cuenta como un detonante en el mismo municipio o en la región.

Debido a la intensidad de vientos favorables en todo el municipio incluso se sugiere la instalación de pequeños aerogeneradores para autoabastecimiento de casas habitación que se encuentren alejadas de centros urbanos y que por la misma razón carecen de electricidad; sin embargo cabe aclarar que se trata únicamente de una sugerencia debido a la información que este estudio proporciona, pero serán necesarios estudios más detallados para poder ratificar esta propuesta.

Se considera que la puesta en marcha de un parque eólico con las características antes mencionadas puede resultar beneficiosa de diversas formas, ya que como se ha mencionado a la energía eólica trae muchas ventajas consigo. No obstante algunos factores negativos pueden influir en la toma de decisiones sobre si construir o no un parque eólico en la zona, pero como se mencionó uno de los propósitos de este estudio es también fomentar el uso de esta energía para el beneficio de la población.

Conclusiones y recomendaciones

En el presente estudio a través de la investigación realizada se permitió constatar que el municipio de Alvarado en Veracruz cuenta con ciertas características que son apropiadas para llevar a cabo la instalación de un parque eólico.

Como principal atributo se destacan la densidad de potencia 1, 563 W/m² y la intensidad del viento del lugar de estudio 6.26 m/s determinando así la clase del posible emplazamiento el cual sería clase IV siendo estos óptimos para la producción de energía eléctrica, como se muestra en el siguiente cuadro:

Velocidad de referencia media del viento	Clase de turbina
Valores especificados por el diseñador	S
37.5 m/s	III
42.5 m/s	II
50 m/s	I

Parámetros básicos para la clasificación de turbinas (IEC 2005)

Además de las condiciones tan favorables del viento se cuenta con el tipo de vegetación apropiada como es el caso de los pastizales y la vegetación de las dunas costeras, las cuales presentan características adecuadas para la instalación de los aerogeneradores. La topografía también es considerada como inmejorable, porque se cuenta con una pendiente casi horizontal la cual es altamente favorable para evitar las turbulencias provocadas por el relieve, así mismo otorga mayor facilidad y menores costos a la hora de realizar dichas instalaciones.

La ubicación estratégica del municipio de Alvarado se estima como una de las mayores ventajas que se observan ya que este se encuentra en las costas del golfo de México de frente al **norte por lo cual los vientos locales llamados “Nortes” proporcionan condiciones favorables** para una granja eólica en la región. Cabe destacar que otro punto a favor de esta ubicación es que al situarse en la costa también se reducen las turbulencias generando aún mayor estabilidad y uniformidad al viento de la región, lo cual resulta muy conveniente si se toma en cuenta que muchas veces las turbulencias ocasionan que las turbinas tengan que pararse por cuestiones de seguridad.

Se valora el hecho de que justo en el lugar propuesto para llevar a cabo este proyecto ya se cuenta con la infraestructura necesaria como lo son las carreteras y el tendido eléctrico, pues esto reduce bastante los costos para la preparación del lugar así mismo facilita el traslado de la maquinaria y los aerogeneradores mismos, además se encuentra cerca del centro de consumo por lo que también favorece para evitar tener pérdidas en la red.

Otro punto bastante importante a considerar es el hecho que el uso de suelo en el municipio de Alvarado es predominantemente no apto para la agricultura, lo que quiere decir que no se estaría comprometiendo terreno valioso para esta actividad, así mismo se estima que es posible permitir la regeneración de la vegetación en el lugar del emplazamiento una vez realizados los trabajos de instalación.

En el caso de los suelos a pesar de ser susceptibles a la erosión se los encuentra aptos para la actividad ya que la vegetación que sustentan evita que se erosionen y es posible implementar medidas correctoras para prevenir esta problemática.

Sin embargo elegir el lugar adecuado no ha sido tarea fácil tomando en cuenta la diversidad territorial del municipio de Alvarado; por ejemplo se muestra que la vegetación más apta para llevar a cabo el emplazamiento eólico son los pastizales, sin embargo, se seleccionó el área con vegetación de dunas costeras ya que esta área posee otras características que la hacen más favorables como son el tipo de suelo o sea los arenosoles y su ubicación frente a las costas del Golfo de México las cuales dan hacia el norte, dirección de los vientos dominantes en todo el Estado de Veracruz; mientras que los pastizales se encuentran ubicados en suelos vertisoles que son de menor acogida que los arenosoles y que son utilizados para la agricultura en su mayoría.

Por último cabe mencionar que se reconoce la importancia ecológica del Sistema Lagunar de Alvarado ya que a lo largo de toda esta investigación se mostró como un factor determinante a la hora de considerar las propiedades del lugar, de la misma manera se contempla esta categoría ecológica por sobre la instalación del parque; por lo que siempre se consideró como prioritario.

Siendo el principal objetivo de este estudio reconocer si se cuentan con las cualidades óptimas para la instalación de un parque eólico, se concluye que si bien el municipio de Alvarado no cuenta con las características óptimas, si resultan adecuadas siempre y cuando se introduzcan las medidas correctoras pertinentes y se respeten las áreas de importancia ecológica mayor; Otro de los objetivos de este estudio es impulsar la energía eólica en nuestro país, por lo que se desea animar a llevar a cabo este tipo de proyectos, ya que como se expuso las ventajas por mucho son mayores a las desventajas que presenta este tipo de energía; así mismo se aspira a que los proyectos de esta índole sean de beneficio para las poblaciones locales, ya que es a esta escala en donde se adquiere mayor rentabilidad en este tipo de energía.

Como deducción a partir del presente estudio y de manera alterna se propone realizar estudios más específicos en la región, tanto de las aves migratorias como del entorno marino ya que como se mencionó anteriormente se infiere que una mejor alternativa podría ser un proyecto de un parque eólico marino, ya que estos se encuentran alejados de las costas minimizando o desapareciendo el impacto visual así como el impacto a las aves ya que las rutas migratorias no siguen largas trayectorias mar adentro. Además un parque eólico marino produce en promedio mayor energía ya que el viento es más constante al carecer de fricción con la superficie, y no se tiene el problema de la compatibilidad con el uso de suelo y la propiedad, lo cual resulta en grandes ventajas tomando en cuenta que en nuestro país muchos de los actuales problemas con los parque eólicos son sobre el arrendamiento de los terrenos y el pago de los mismos.

Sin embargo empero, para confirmarlo serán necesarios estudios más detallados y enfocados específicamente a emplazamientos marinos lo cual supone un gran reto ya que hasta este momento no se cuenta con ningún parque eólico marino en nuestro país.

Por otra parte se reitera no solo el potencial eólico del municipio de Alvarado sino en general de la entidad por lo que se confía en que existan propuestas enfocadas a la generación de este tipo de energía para fomentar la diversificación energética, el uso de energías limpias y el beneficio a la población para el Estado de Veracruz.

REFERENCIAS

- Arriaga Cabrera, L., E. Vázquez Domínguez, J. González Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López, V. Aguilar Sierra (coordinadores). 1998. *Regiones marinas prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.
- Cancino Solórzano Yoreley, Xiberta Bernart Jorge (2007). *Situación Actual de la Energía Eólica en México: Alcances y Perspectivas*. 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (8° CIIM) Cusco 23 - 25 de Octubre Perú.
- Cancino Y.; Gutiérrez A. y Xiberta J. (2010). *Analytical methods for wind persistence: their application in assessing the best site for a wind farm in the state of Veracruz, México*. *Renewal Energy* (35) pp. 2844 – 2852.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2011. *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Espejo Marín, Cayetano (2004). *La energía eólica en España*. *Investigaciones Geográficas*, No. 35 (2004) pp. 45 – 65. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante.
- Foster, M. R.; Rodríguez, B. M.; Martínez, R.; García, R. R.; Córdova, C. M. y Ricardez, J. A. T. 2006. *Recolección y análisis de estudios realizados a nivel mundial en torno al impacto que tienen sobre la avifauna, las actividades de construcción y operación de instalaciones eoloeléctricas*. Preparado por: Ing. Luis Martín Gómez R. Simposio "La avifauna y los aerogeneradores en el Istmo" 7 y 8 de septiembre de 2006 Cuernavaca, Morelos Consultado en: <http://planeolico.iiie.org.mx/docavifaunaSEMARNAT.pdf>
- Hernández Escobedo Quetzalcóatl, Espinosa Arenal Francisco, Saldaña Flores,

Ricardo, Rivera Blanco Carlos. 2012. *Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el estado de Veracruz México*. Dyna 2012 79 (171) pp. 215 – 221. Medellín.

- Huacuz Villamar Jorge M. (2010, Febrero). *La energía del viento ¿cómo aprovechar su valor?* Ciencia y desarrollo CONACYT. pp. 34– 53.
- Iannini, R., González, J. y Mastrángelo S. (2004) Energía eólica, Teoría y características de las instalaciones [versión electrónica]. Boletín energético Año VII No. 13 1° Semestre de 2004, Comisión Nacional de Energía Atómica CNEA, disponible en: <http://www.cnea.gov.ar/boletin-energetico-detalle?nid=373> [Accesado en mayo 2014].
- International Electrotechnical Commission Wind turbines - Part 1: Design requirements IEC 61400-1 ed3.0 2005-08-31. Geneva, Switzerland.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI (2009) Alvarado, Veracruz de Ignacio de la Llave, clave geoestadística 30011. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.
- Llanos Arias, J., y Cervantes Pérez, J. (1995). *Vientos máximos en el estado de Veracruz*. In La Ciencia y el Hombre (Vol. 7, No. 21, pp. 185-208). México. Universidad de Veracruzana.
- *Ley General de Vida Silvestre*. Diario Oficial de la Federación 3 de julio de 2000. México.
- Molina Ruiz, José y Tudela Serrano Ma. Luz (2008). *Elección de criterios y valoración de impactos ambientales para la implantación de energía eólica*. Universidad de Murcia. Papeles de Geografía, 2008, 47 – 48; pp. 171 – 183.
- “*Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*” Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Diario

Oficial de la Federación, jueves 30 de diciembre de 2010.

- Portilla Ochoa, Enrique (2003). *Ficha informativa de los humedales Ramsar* (FIR) Instituto de investigaciones Biológicas. Universidad Veracruzana.
- Snel, Herman. *Guía de las mejores Prácticas* (2006). Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México (Abril 2006). Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Universidad Veracruzana 2010. *Patrimonio Natural* Tomo 1 Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, Florescano, Enrique y Ortíz Escamilla, Juan coordinadores. Gobierno del Estado de Veracruz: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. México., 2010. v. 1, p. 29-42.
- Tudela Serrano Ma. Luz y Molina Ruiz, José (2005). *Estudio de viabilidad ambiental para la localización de parques eólicos en un municipio de la región de Murcia*. Universidad de Murcia, Papeles de Geografía, 2005, 41-42; pp. 225-236.