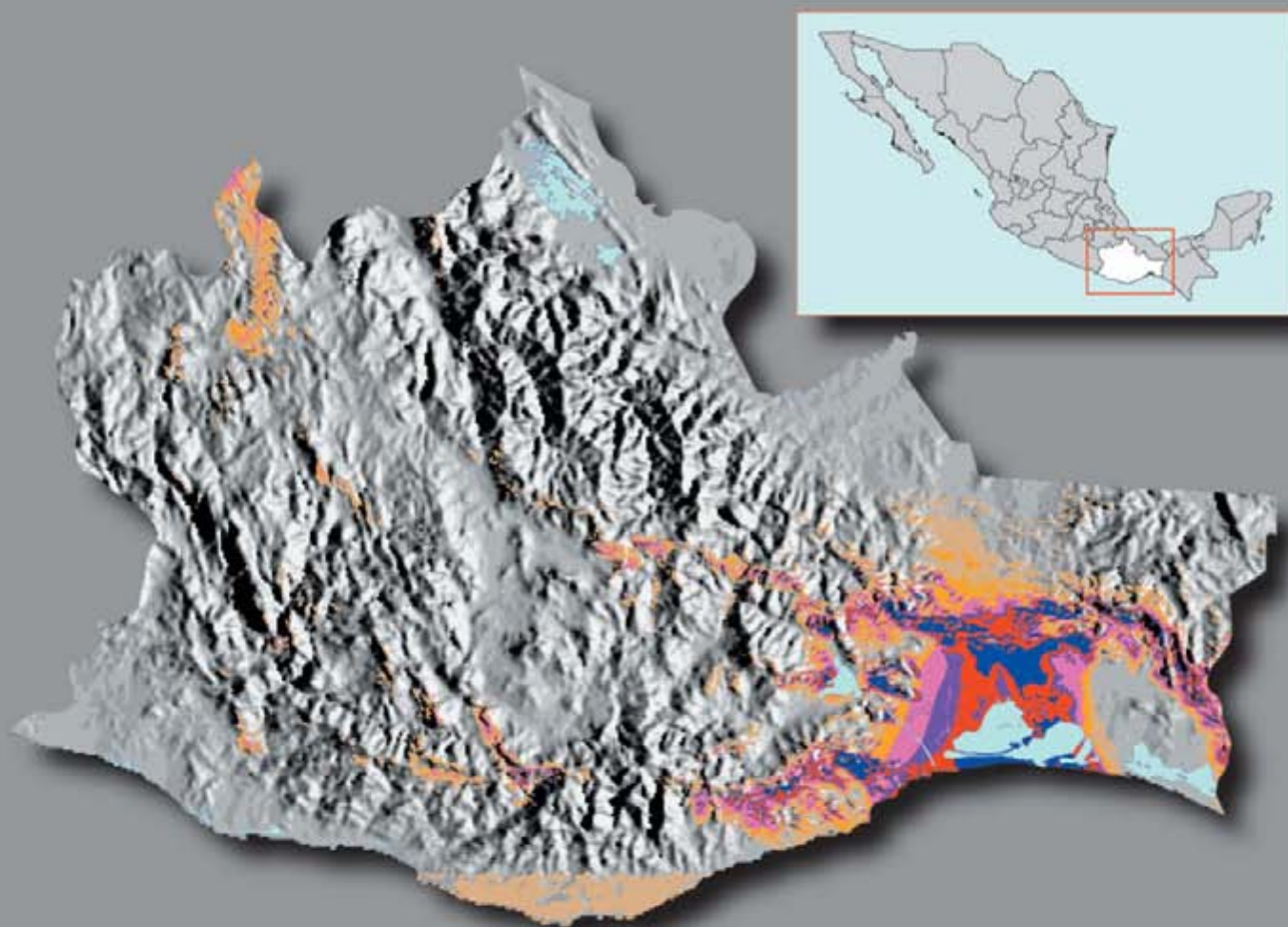


# Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca



D. Elliott, M. Schwartz, G. Scott, S. Haymes, D. Heimiller, R. George  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

# **Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca**

D. Elliott  
M. Schwartz  
G. Scott  
S. Haymes  
D. Heimiller  
R. George

Elaborado bajo la tarea números WF7C0310, WF3N1030

Esta versión en español, traducida a partir del original, se realizó gracias al apoyo de Winrock International mediante fondos de la USAID bajo el convenio de cooperación No. LAG-A-00-99-00037-00 a solicitud de la Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC) del Gobierno del Estado de Oaxaca, en coordinación con NREL.

### AVISO

Este informe fue elaborado como parte del trabajo patrocinado por una dependencia del gobierno de los Estados Unidos. El gobierno de los Estados Unidos, sus dependencias, y sus empleados no ofrecen ninguna garantía, explícita o implícita, ni asumen ninguna responsabilidad legal ni de otro tipo por la exactitud, integridad o utilidad de ninguna información, aparato, producto o proceso aquí divulgados, ni declaran que su uso no infrinja derechos de propiedad privada. La referencia que aquí se haga a cualquier producto, proceso o servicio comercial por su nombre comercial, nombre registrado, fabricante o de alguna otra forma no constituye ni implica necesariamente que éste sea sugerido, recomendado ni favorecido por el gobierno de los Estados Unidos o alguna de sus dependencias. Los puntos de vista y las opiniones aquí expresadas por los autores no expresan ni reflejan necesariamente los del gobierno de los Estados Unidos ni de sus dependencias.

Disponible en formato electrónico en <http://www.osti.gov/bridge>

Disponible por una cuota de trámite para el Departamento de Energía de los Estados Unidos y sus contratistas, en formato impreso, solicitándolo a:

U.S. Department of Energy  
Office of Scientific and Technical Information  
P.O. Box 62  
Oak Ridge, TN 37831-0062  
Teléfono: 865.576.8401  
Fax: 865.576.5728  
Correo electrónico: [reports@adonis.osti.gov](mailto:reports@adonis.osti.gov)

Disponible para su venta al público, en formato impreso, solicitándolo a:

U.S. Department of Commerce  
National Technical Information Service  
5285 Port Royal Road  
Springfield, VA 22161  
Teléfono: 800.553.6847  
Fax: 703.605.6900  
Correo electrónico: [orders@ntis.fedworld.gov](mailto:orders@ntis.fedworld.gov)  
Pedidos en línea: <http://www.ntis.gov/ordering.htm>



# Contenido

<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>VI</b>
<b>1.0 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.0 GEOGRAFÍA Y CLIMA DE OAXACA.....</b>	<b>3</b>
2.1 GEOGRAFÍA .....	3
2.2 CLIMA .....	3
<b>3.0 FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO DEL RECURSO EÓLICO .....</b>	<b>7</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	7
3.2 VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	7
3.3 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	8
3.4 FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	8
3.5 DENSIDAD DE POTENCIA DISPONIBLE EN EL VIENTO.....	8
3.6 CIZALLADURA DEL VIENTO Y LA LEY DE LA POTENCIA .....	10
3.7 FUENTES DE DATOS DEL VIENTO .....	10
3.7.1 <i>Observaciones de la Superficie.....</i>	<i>10</i>
3.7.2 <i>Observaciones del Aire en Niveles Superiores .....</i>	<i>11</i>
3.7.3 <i>Mediciones del Viento Marino por Medio de Satélite (SSMI) .....</i>	<i>11</i>
3.7.4 <i>Datos Climáticos de Modelos Informáticos.....</i>	<i>11</i>
<b>4.0 METODOLOGÍA DEL RECURSO EÓLICO Y SISTEMA CARTOGRÁFICO .....</b>	<b>12</b>
4.1 INTRODUCCIÓN.....	12
4.2 METODOLOGÍA.....	12
4.2.1 <i>Evaluación y Análisis de los Datos.....</i>	<i>12</i>
4.2.1.1 <u>Enfoque Inicial</u> .....	12
4.2.1.2 <u>Evaluación de Datos Superficiales</u> .....	12
4.2.1.3 <u>Evaluaciones de Datos en Niveles Superiores del Aire</u> .....	13
4.2.1.4 <u>Objetivos de la Evaluación de Datos</u> .....	13
4.2.2 <i>Clasificaciones de la Potencia del Viento .....</i>	<i>14</i>
4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CARTOGRÁFICO.....	14
4.3.1 <i>Datos de Entrada.....</i>	<i>14</i>
4.3.2 <i>Cálculos de la Potencia del Viento.....</i>	<i>15</i>
4.3.3 <i>Productos Cartográficos .....</i>	<i>16</i>
4.3.4 <i>Limitaciones de la Técnica Cartográfica .....</i>	<i>18</i>
<b>5.0 DATOS DEL RECURSO EÓLICO PARA OAXACA .....</b>	<b>19</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	19
5.2 DATOS SUPERFICIALES.....	19
5.2.1 <i>Datos DATSAV2 .....</i>	<i>19</i>
5.2.2 <i>Datos de la Comisión Nacional del Agua.....</i>	<i>21</i>
5.2.3 <i>Datos de Validación de los Desarrolladores Eólicos.....</i>	<i>22</i>
5.3 DATOS DE NIVELES SUPERIORES DEL AIRE .....	23
5.3.1 <i>Datos de Procesamiento Automatizado de Datos (ADP, por sus siglas en inglés) .....</i>	<i>23</i>
5.3.2 <i>Conjuntos de Datos Derivados de Modelos Informáticos .....</i>	<i>23</i>
5.3.2.1 <u>Atlas Climático Mundial de los Niveles Superiores del Aire (GUACA)</u> .....	23
5.3.2.2 <u>Datos de Reanálisis</u> .....	23
5.3.2.3 <u>Datos de Modelo de Mesoescala</u> .....	24
5.4 DATOS EÓLICOS MARINOS SATELITALES.....	24



<b>6.0</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO EÓLICO EN OAXACA .....</b>	<b>25</b>
6.1	INTRODUCCIÓN .....	25
6.2	CLASIFICACIONES DE LA POTENCIA DEL VIENTO .....	25
6.3	METODOLOGÍA.....	25
6.4	DISTRIBUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO EÓLICO.....	26
6.4.1	<i>Distribución Anual del Recurso Eólico</i> .....	26
6.4.2	<i>Distribución Estacional del Recurso Eólico</i> .....	28
6.4.3	<i>Distribución Diurna de la Velocidad del Viento</i> .....	29
6.4.4	<i>Distribución de la Frecuencia de la Dirección del Viento</i> .....	30
6.4.5	<i>Confirmación de los Estimados de Recurso Eólico</i> .....	31
6.5	RESÚMENES REGIONALES DEL RECURSO EÓLICO .....	32
6.5.1	<i>Este de Oaxaca</i> .....	32
6.5.2	<i>Oeste de Oaxaca</i> .....	33
<b>7.0</b>	<b>POTENCIAL ELÉCTRICO DEL VIENTO.....</b>	<b>48</b>
7.1	INTRODUCCIÓN.....	48
7.2	ESTIMADOS DEL POTENCIAL ELÉCTRICO DEL VIENTO.....	48
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>50</b>
	<b>APÉNDICE A: ESTACIONES METEOROLÓGICAS SUPERFICIALES DATSAV2 .....</b>	<b>A-1</b>
	<b>APÉNDICE B: SITIOS DE MEDICIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA.....</b>	<b>B-1</b>
	<b>APÉNDICE C: REANÁLISIS DE DATOS DEL VIENTO A NIVELES SUPERIORES .....</b>	<b>C-1</b>
	<b>APÉNDICE D: DATOS OCÉANICOS SATELITALES DEL VIENTO .....</b>	<b>D-1</b>

## Lista de Tablas

TABLA 4.1. CLASIFICACIÓN DE LA POTENCIA DEL VIENTO .....	18
TABLA 5.1. PROVEEDORES DE DATOS DE VALIDACIÓN.....	22
TABLA 6.1. CLASIFICACIÓN DE LA POTENCIA DEL VIENTO .....	25
TABLA 6.2. COMPARACIÓN DEL RECURSO EÓLICO .....	32
TABLA 7.1. OAXACA – POTENCIAL ELÉCTRICO DEL VIENTO .....	49

## Lista de Figuras

FIGURA 2.1 OAXACA – MAPA POLÍTICO. ....	4
FIGURA 2.2 OAXACA – MAPA DE ELEVACIÓN.....	5
FIGURA 2.3 OAXACA – MAPA A RELIEVE CON ELEVACIONES SOMBREADAS.....	6
FIGURA 4.1 OAXACA – MAPA DE PORCENTAJE DE COBERTURA ARBÓREA SEGÚN MODIS. ....	17
FIGURA 5.1 OAXACA – ESTACIONES METEOROLÓGICAS SUPERFICIALES GTS. ....	20
FIGURA 5.2 OAXACA – VIENTOS QUE DESAPARECEN EN HUATULCO (VELOCIDAD POR AÑO).....	22
FIGURA 6.1 OAXACA – MAPA DE RECURSOS EÓLICOS.....	34
FIGURA 6.2 OAXACA – MAPA DE RECURSOS EÓLICOS CON CAMINOS Y TRANSMISIÓN. ....	35
FIGURA 6.3 OAXACA – MAPA DE RECURSOS EÓLICOS CON RELIEVE SOMBREADO. ....	36
FIGURA 6.4 DATOS EÓLICOS SATELITALES OCÉANICOS MENSUALES PARA LA REGIÓN COSTA AFUERA DEL ISTMO. ....	37
FIGURA 6.5 REGIÓN DEL ISTMO – COMPARACIÓN DE SITIOS DE MEDICIÓN Y DATOS COSTA AFUERA. ....	37
FIGURA 6.6 REGIÓN COSTA AFUERA DEL ISTMO – POTENCIA DEL VIENTO Y VARIABILIDAD MENSUAL. ....	38
FIGURA 6.7 REGIÓN COSTA AFUERA DEL ISTMO – VARIABILIDAD INTERANUAL DE POTENCIA DEL VIENTO. ....	38
FIGURA 6.8 UBICACIONES DE LOS DATOS DE MEDICIÓN PARA LA VALIDACIÓN DE LOS MAPAS. ....	39
FIGURA 6.9 ESTE DE OAXACA – MAPA DE CABECERAS POLÍTICAS.....	40
FIGURA 6.10 ESTE DE OAXACA – MAPA DE ELEVACIONES. ....	41
FIGURA 6.11 ESTE DE OAXACA –MAPA DE RECURSOS EÓLICOS.....	42
FIGURA 6.12 REGIÓN DEL ISTMO - MAPA DE RECURSOS EÓLICOS CON CAMINOS Y TRANSMISIÓN. ....	43
FIGURA 6.13 REGIÓN DEL ISTMO - MAPA DE RECURSOS EÓLICOS CON RELIEVE SOMBREADO.....	44
FIGURA 6.14 OESTE DE OAXACA – MAPA DE CABECERAS POLÍTICAS. ....	45
FIGURA 6.15 OESTE DE OAXACA –MAPA DE ELEVACIONES.....	46
FIGURA 6.16 OESTE DE OAXACA – MAPA DE RECURSOS EÓLICOS. ....	47

## Resumen Ejecutivo

Este atlas de recursos eólicos identifica las características del viento y la distribución del recurso eólico en el estado de Oaxaca, México. Los detallados mapas eólicos y otra información contenida en el atlas facilitan la identificación de las áreas prospectivas para el uso de tecnologías eoloeléctricas para aplicaciones que incluyen la generación de electricidad a escala comercial, energía para poblaciones y energía eólica fuera de la red. Los mapas eólicos fueron creados en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés) utilizando un sistema computarizado de cartografía eólica que utiliza software de Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés), y representan el recurso eólico con cuadrículas de alta resolución de densidad de potencia del viento a 50 m sobre el nivel del suelo.

La avanzada metodología de cartografía eólica de NREL integra conjuntos de datos del terreno y aspectos climáticos, tecnología GIS y técnicas analíticas e informáticas. Las fuentes de datos meteorológicos incluyen datos del aire a nivel de la superficie y a niveles más elevados tomados de estaciones de medición, vientos de superficies oceánicas derivados de mediciones satelitales y estimados basados en modelos. Se utilizaron datos del modelo de mesoescala de TrueWind Solutions (subcontratista de NREL) para los estimados iniciales de energía eólica en Oaxaca. Los estimados iniciales en ciertas regiones de Oaxaca fueron ajustados después de que NREL evaluara extensamente los conjuntos de datos disponibles (incluyendo datos de medición recopilados en sitios prospectivos para desarrollo eólico). Las principales regiones ajustadas fueron áreas con flujo eólico realzado o acelerado en algunas regiones montañosas de Oaxaca, partes de la región del Istmo de Tehuantepec y el área de la costa centro sur cerca de Bahías de Huatulco y Puerto Escondido.

Los resultados del desarrollo de los mapas eólicos de Oaxaca muestran muchas áreas que se estima cuentan con recursos eólicos buenos a excelentes (Clases de potencia del viento 4 a 7, donde 7 es el valor máximo). Las mejores áreas de recurso eólico en Oaxaca se concentran en la región sureste del estado, principalmente en la parte sur del Istmo de Tehuantepec. La región con viento del Istmo se extiende desde la costa norte aproximadamente 60 km y aproximadamente de 60 a 80 km de este a oeste. Esta región del Istmo cuenta con un recurso eólico excelente (Clase 5 o mayor). El recurso más alto (Clase de potencia 7) en el Istmo se presenta cerca de las colinas (incluyendo La Mata y La Venta), cordilleras y en la costa. Los fuertes vientos del norte son frecuentes en la región del Istmo, particularmente durante la temporada pico de viento de noviembre a febrero. Los datos de alta calidad procedentes de sitios de medición en el Istmo confirman el excelente potencial del recurso eólico en áreas específicas de la región, pero se requieren datos adicionales para validar los estimados de los mapas en otras áreas del Istmo. Se estima que también muchas de las cordilleras y zonas de terreno elevado adyacentes a la región (hasta 100 km al este y oeste del Istmo) cuentan con excelentes recursos eólicos, pero muchos de estos sitios presentarían dificultades de desarrollo debido a su accidentado terreno y difícil acceso. Los conjuntos de datos climáticos indican que el recurso eólico ambiente en el Istmo y sus alrededores se reduce de manera significativa a elevaciones superiores de 1200 a 1500 m, por lo que es probable que muchas de las áreas con mayores elevaciones en esta región cuenten con un menor recurso eólico que lo sitios de menor elevación.

Algunas zonas adicionales que se estima cuentan con un recurso eólico de bueno a excelente se localizan en áreas específicas en el noroeste, centro y sur de Oaxaca. En el noroeste de Oaxaca, las áreas más notables se localizan principalmente al este y norte de Huajuapán de León. En el centro de Oaxaca, las áreas más notables se localizan aproximadamente de 40-70 km al este de la

ciudad de Oaxaca (cerca de Mitla). En el sur de Oaxaca, algunas áreas notables se localizan aproximadamente 80-110 km al sur de la ciudad de Oaxaca (cerca de Miahuatlán). En todas estas regiones, se estima que las mejores áreas ocurren donde las características del terreno canalizan y/o aceleran los vientos del noreste. La temporada pico de viento es de octubre a febrero, cuando los vientos fuertes del noreste son más dominantes.

NREL estima que existen aproximadamente 6600 km<sup>2</sup> de terreno con un recurso eólico potencial de bueno a excelente en Oaxaca. El terreno con viento representa un poco más del 7% de la superficie total del estado (91,500 km<sup>2</sup>). Usando un supuesto conservador de 5 MW por km<sup>2</sup>, este terreno con viento podría alojar aproximadamente 33,000 MW de capacidad instalada potencial. Si se consideran únicamente aquellas zonas con el más alto potencial de recurso eólico, la superficie total estimada de terreno con viento es de aproximadamente 1200 km<sup>2</sup>, teniendo este terreno el potencial de alojar aproximadamente 6000 MW de capacidad instalada. La mayoría de la zona con terreno con viento de Oaxaca se localiza en la región del Istmo. Aunque la Comisión Federal de Electricidad de México ha llevado a cabo una evaluación general de la red de transmisión y la accesibilidad, se requieren estudios adicionales para evaluar con mayor precisión el potencial eléctrico del viento, considerando factores tales como la red de transmisión y accesibilidad existentes en la actualidad.

Aunque los mapas del recurso eólico y otra información característica provista por NREL ayudará a identificar aquellas áreas prospectivas para aplicaciones de energía eólica, recomendamos de manera vehemente que se lleven a cabo programas de medición del viento para validar los estimados de recursos y para refinar los mapas eólicos y los métodos de evaluación.

## **1.0 Introducción**

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés) y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés) auspiciaron un proyecto para ayudar a acelerar el uso de tecnologías de energía eólica en el estado de Oaxaca, México, por medio del desarrollo de un atlas de recursos eólicos de Oaxaca.

El Laboratorio Nacional de Energías Renovables del Departamento de Energía (NREL, por sus siglas en inglés) encabezó el proyecto en colaboración con USAID, la Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC) del Gobierno del Estado de Oaxaca, la Secretaría de Energía (SENER), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y su Gerencia de Energías no Convencionales (GENC), así como la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Las principales metas del proyecto fueron el desarrollo de mapas detallados del recurso eólico para todas las regiones de Oaxaca y la producción de un atlas comprehensivo del recurso que documentara los resultados.

Esta actividad respalda una colaboración más amplia entre el DOE y SENER para ayudar al gobierno mexicano a lograr su meta de instalar 1000 MW de energía renovable para el año 2006. El gobierno de Oaxaca también ha establecido la meta de instalar 2000 MW basados en energía renovable para el año 2015. Este atlas de recursos eólicos es un ejemplo de la colaboración entre México y Estados Unidos, además de ser un elemento importante de la estrategia mexicana para asegurar la disponibilidad de la información y de las herramientas necesarias para definir proyectos específicos de energía renovable así como para acceder a apoyo de financiamiento y desarrollo. El objetivo al crear este atlas eólico, además de otras evaluaciones de recursos renovables, es asegurar que las comunidades de Oaxaca reciban al final de cuentas los beneficios sociales y económicos de la energía renovable.

NREL estuvo a cargo de obtener los datos meteorológicos disponibles de fuentes de Estados Unidos, tales como el Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC, por sus siglas en inglés) y el Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés) que serían de utilidad en la evaluación. NREL estuvo además a cargo del análisis de los datos, el desarrollo de los mapas eólicos finales y la producción del atlas eólico. TrueWind Solutions (subcontratista de NREL) proporcionó datos de modelo de mesoescala para los estimados iniciales del recurso eólico en Oaxaca. Algunas organizaciones apoyaron a NREL proporcionando datos de fuentes del gobierno mexicano y de fuentes de Oaxaca. La Fundación para el Desarrollo Eólico en el Istmo (Fundación) coordinó la identificación de los datos disponibles de distintas organizaciones que cuentan con datos de medición en Oaxaca y la entrega de estos datos a NREL. A través de este proceso, NREL obtuvo datos de 20 sitios de medición del viento instalados para evaluar el potencial del viento en diferentes zonas de la Región del Istmo de Tehuantepec. CFE proporcionó datos de 10 de estos sitios. La Fundación también proporcionó resúmenes de velocidades medias del viento de 126 estaciones meteorológicas operadas por la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA). Sin embargo, los datos de CONAGUA tuvieron un uso muy limitado en la evaluación del recurso eólico debido a la falta de información detallada acerca de los procedimientos de medición y a inquietudes acerca de la calidad de los datos. Además de proporcionar los datos de Oaxaca, la Fundación también apoyó a NREL en la coordinación de revisiones de los mapas eólicos preliminares y en la organización de un taller para la presentación de los resultados de la cartografía eólica. GENC-IIE apoyó a NREL con la

integración de importantes datos GIS, tales como principales líneas de transmisión y caminos para ser incluidos con los mapas finales del recurso eólico.

El atlas de recursos eólicos de Oaxaca presenta el análisis del recurso eólico y los resultados del proceso cartográfico en Oaxaca. Se utilizó una avanzada técnica automatizada de cartografía eólica desarrollada en NREL con ayuda de consultores de Estados Unidos para generar los mapas del recurso eólico. Esta técnica utiliza Sistemas de Información Geográfica (GIS) para producir mapas anuales promedio de alta resolución que representan el recurso eólico. Además de los mapas del recurso eólico, el atlas incluye información sobre importantes características del viento incluyendo la variabilidad por temporada y variabilidad diurna así como la frecuencia de la dirección del viento.

Este atlas es el más reciente en una serie de atlas y evaluaciones de recursos eólicos producidos por NREL. Además de Oaxaca, NREL ha aplicado su sistema cartográfico eólico para producir evaluaciones de recursos eólicos de la República Dominicana (Elliott et al., 2001), las Filipinas (Elliott et al., 2001), Mongolia (Elliott et al., 2001) y regiones específicas de Chile, China, Indonesia, México y Estados Unidos (Schwartz, 1999; Elliott et al., 1999). Muchos de los mapas internacionales de recursos eólicos elaborados por NREL y algunos otros elaborados por otros grupos pueden encontrarse en la Internet en [http://www.rsvp.nrel.gov/wind\\_resources.html](http://www.rsvp.nrel.gov/wind_resources.html).

El atlas eólico de Oaxaca se divide en siete secciones. La sección 2.0 ofrece una perspectiva general de la geografía y clima de Oaxaca. La sección 3.0 contiene un resumen de los fundamentos del cálculo del recurso eólico. La sección 4.0 describe la metodología y el sistema cartográfico del recurso eólico. La sección 5.0 presenta datos del recurso eólico obtenido y analizado para la evaluación. La sección 6.0 describe las características del recurso eólico y los resultados del proceso cartográfico en Oaxaca, mientras que la sección 7.0 contiene una evaluación del potencial eléctrico del viento en Oaxaca.

Los apéndices proporcionan resúmenes pertinentes de los datos de las características del viento a partir de estaciones meteorológicas selectas de la superficie, datos del aire en niveles superiores y datos del viento en el océano procedentes de satélites.



## **2.0 Geografía y Clima de Oaxaca**

### **2.1 Geografía**

El estado de Oaxaca se localiza en el sur de México. Su tamaño es de aproximadamente 95,364 km<sup>2</sup>, lo que lo convierte en el quinto estado más grande de México. Oaxaca colinda con los estados de Puebla y Veracruz al norte, Guerrero al oeste, Chiapas al este y con el Océano Pacífico al sur. Se extiende aproximadamente 340 km de norte a sur y 500 km de este a oeste, con una localización de aproximadamente 96 grados de longitud oeste entre 16 y 18 grados de latitud norte.

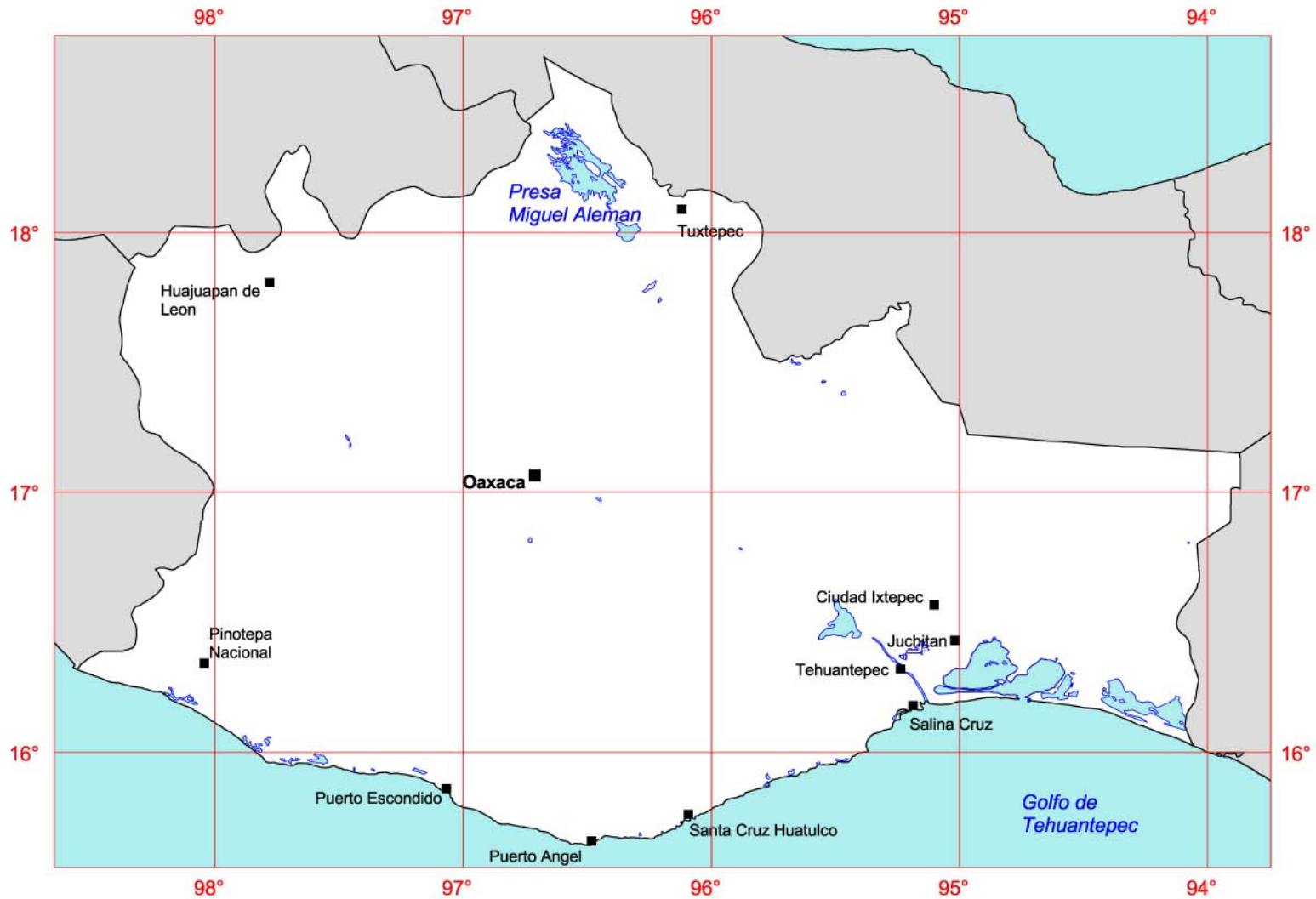
La Figura 2.1 es un mapa político de Oaxaca que muestra sus principales ciudades. La población de Oaxaca es de aproximadamente 3.4 millones (2003). La capital de Oaxaca, que es además la ciudad más grande del estado, es Oaxaca de Juárez, con una población de aproximadamente 260,000 habitantes.

El terreno de Oaxaca, el cual se muestra en las Figuras 2.2 y 2.3, es variado e incluye sierras, mesetas amplias, valles altos y planicies costeras. Una gran parte de Oaxaca es montañosa, encontrándose la mitad del estado a una altitud mayor a los 1000 metros (m) sobre el nivel del mar. La parte norte de Oaxaca es dominada por la Sierra de Oaxaca, con cordilleras de más de 3,000 m, la cual se extiende de noroeste a sureste hasta terminar en el Istmo de Tehuantepec. La Sierra Madre del Sur, la cual también se extiende de noroeste a sureste, se encuentra al sur de los valles centrales de Oaxaca e incluye el punto más alto del estado, el Cerro El Nacimiento con una altitud de 3749 metros. La elevación de Oaxaca de Juárez es aproximadamente de 1,540 m. La Sierra Madre de Chiapas ocupa el extremo este de Oaxaca. La parte sur del estado se caracteriza por una planicie costera. Existen varias lagunas grandes en el sureste de Oaxaca: Laguna Superior, Laguna Inferior y Mar Muerto.

### **2.2 Clima**

Oaxaca cuenta con una variedad de climas que van desde el tropical a lo largo de la costa al templado en el interior. El estado tiene temporadas seca y de lluvias claramente definidas. La temporada de lluvias generalmente dura de abril a octubre, aunque las variaciones en el clima local pueden abreviar o prolongar la temporada. La precipitación pluvial promedio es de aproximadamente 700 mm a lo largo de la costa, 600 a 700 mm en los valles centrales y 2000 mm o más en la sierra. La temperatura anual varía de 26 a 28 grados centígrados en la costa, 20 a 22 grados centígrados en los valles centrales y 12 a 15 grados centígrados en la sierra.

# Oaxaca - Mapa de Cabeceras Políticas



50 0 50 100 150 Kilómetros

**Leyenda**

- Poblado o ■ Capital
- Lago o Laguna



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

19-APR-2004 1.2.1

Figura 2-1

# Oaxaca - Mapa de Elevaciones

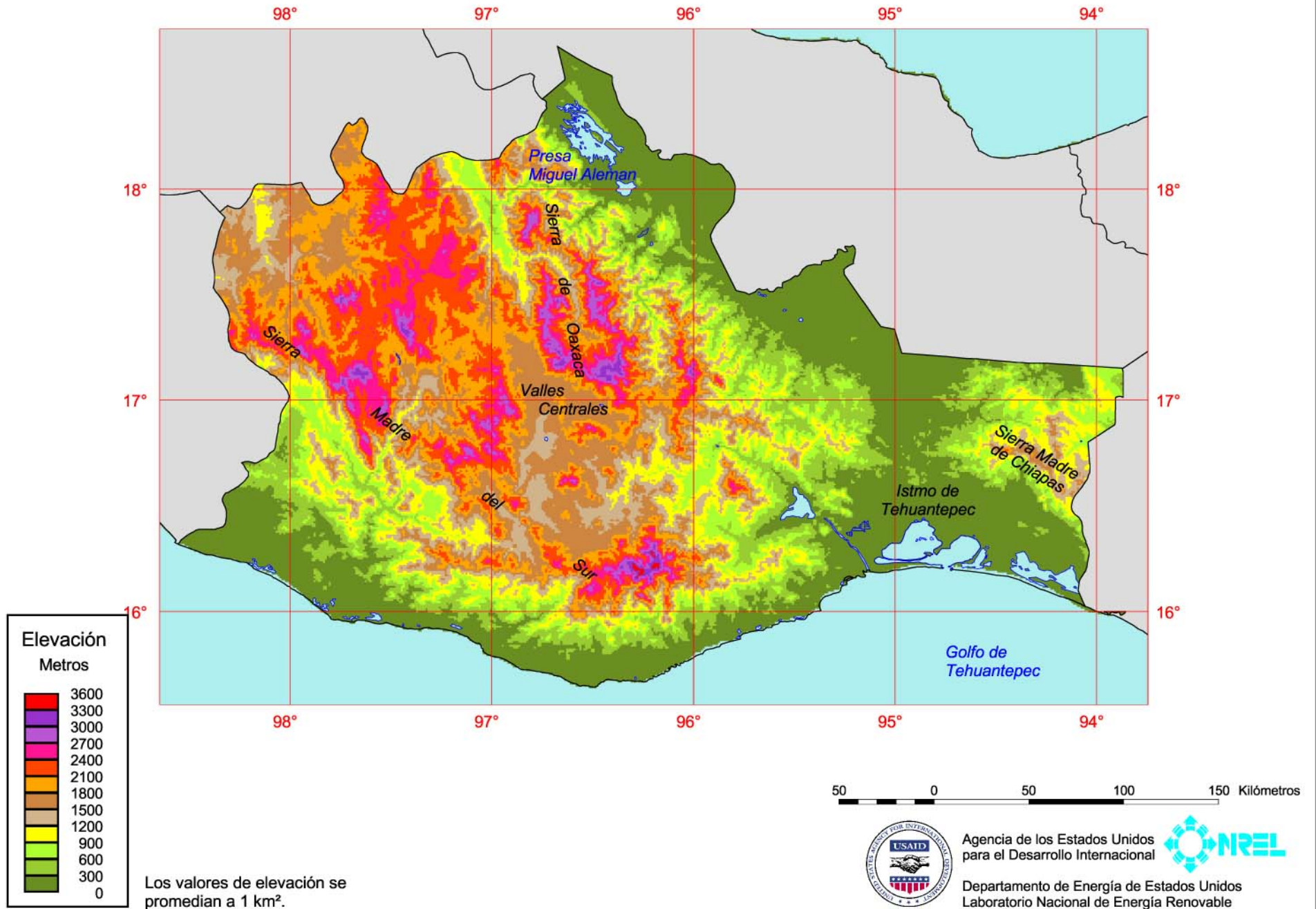
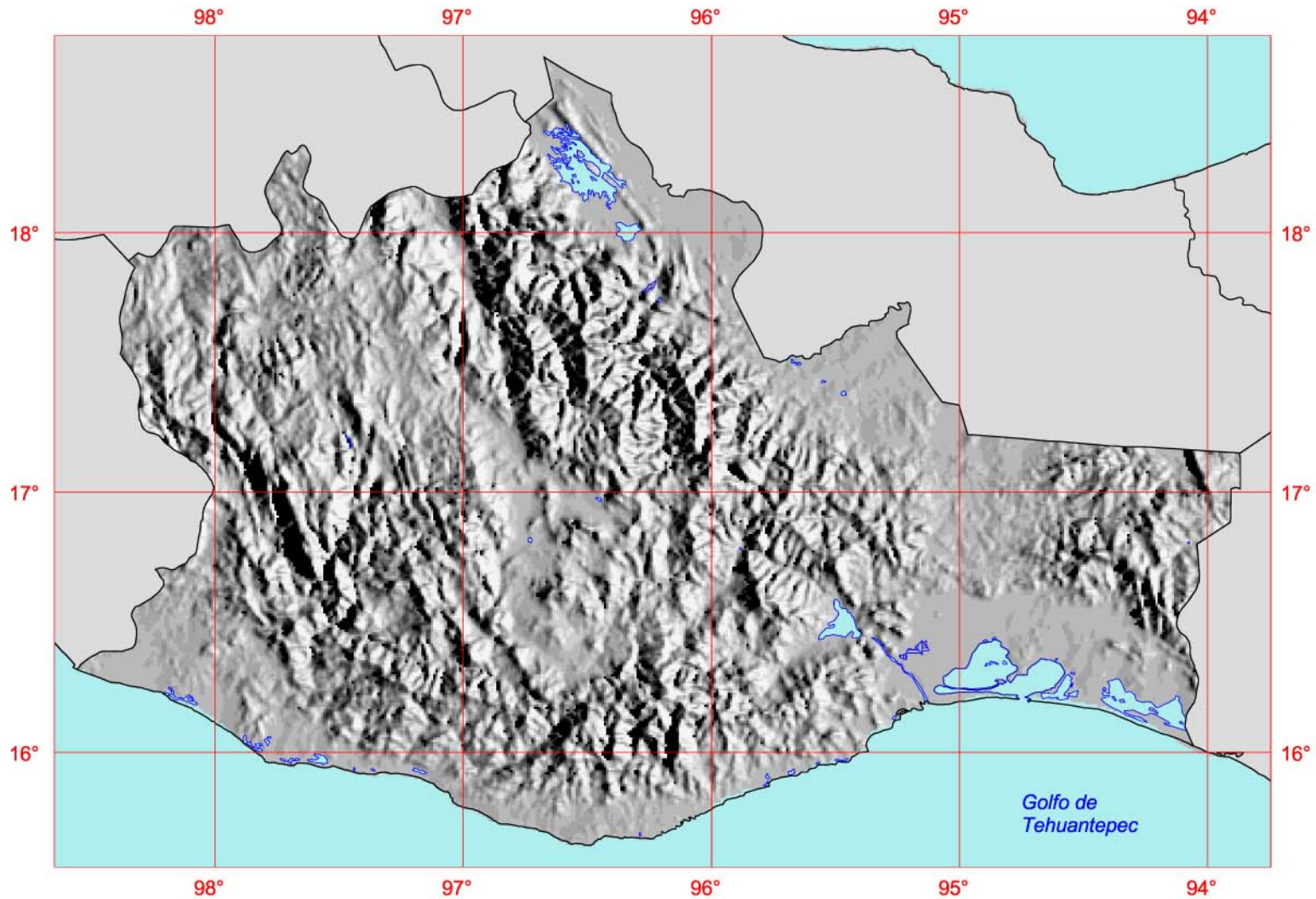


Figura 2-2

# Oaxaca - Mapa a Relieve con Elevaciones Sombreadas



50 0 50 100 150 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos  
para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

20-APR-2004 1.2.3

Figura 2-3



## **3.0 Fundamentos del Cálculo del Recurso Eólico**

### **3.1 Introducción**

Esta sección introduce los conceptos básicos del cálculo del recurso eólico y presenta algunas de las fuentes de datos que pueden utilizarse en un estudio de evaluación.

Los estudios de evaluación del recurso eólico pueden clasificarse en tres categorías básicas:

- Identificación preliminar de la zona
- Evaluación del recurso eólico de la zona
- Determinación de microsítios.

Los atlas de recursos eólicos de NREL son útiles para las primeras dos categorías, pero no contienen la información detallada necesaria para estudios de determinación de microsítios. Se pueden encontrar detalles sobre la determinación de microsítios y programas de monitoreo del viento en el *Manual de Evaluación del Recurso Eólico* (NREL/AWS Scientific, 1997).

### **3.2 Velocidad y Dirección del Viento**

La velocidad del viento es la representación más sencilla del viento en un momento dado. La velocidad del viento se mide con anemómetros u otros instrumentos calibrados. Las velocidades del viento pueden ser calculadas como un promedio o expresadas como un valor instantáneo. Generalmente se utilizan intervalos para promediar la velocidad del viento en los estudios de evaluación de recursos que incluyen periodos de 1 ó 2 minutos (observaciones del clima), 10 minutos (la norma para programas de monitoreo de energía eólica), por hora, mensuales y anuales. Es importante conocer la altura de medición para una velocidad del viento dada, debido a la variación de la velocidad del viento con la altura. También es deseable conocer la exposición de un lugar en particular a vientos dominantes debido a que los obstáculos cercanos, tales como árboles y edificios, pueden reducir la velocidad aparente del viento.

La dirección del viento se mide con una veleta, la cual usualmente se localiza a la misma altura que el anemómetro. El conocer la velocidad prevalente del viento es importante para evaluar el recurso disponible. La alineación correcta de la veleta a una dirección de referencia es importante para medir con precisión la dirección del viento, pero no siempre están debidamente alineadas. Las observaciones de la dirección del viento en estaciones meteorológicas con frecuencia se basan en una brújula de 36 puntos (cada 10 grados). Algunos datos de la dirección del viento se expresan a intervalos menos precisos de 8 puntos (cada 45 grados), 12 puntos (cada 30 grados) o 16 puntos (cada 22.5 grados).

La distribución de la dirección del viento con frecuencia se presenta como una rosa de los vientos (una gráfica de la frecuencia de ocurrencia por dirección). Las rosas de los vientos también pueden representar cantidades tales como la velocidad promedio o el porcentaje de potencia disponible en cada dirección.

### 3.3 Distribución de Frecuencia de la Velocidad del Viento

La distribución de frecuencia de la velocidad del viento caracteriza al viento en un lugar dado de dos maneras. Primero, la distribución de frecuencia determina con qué frecuencia se observa una cierta velocidad del viento en ese lugar y segundo, identifica el rango de velocidades del viento observado en dicho lugar. Este análisis con frecuencia se obtiene ordenando las observaciones de velocidad del viento en *bins* de 1 metro por segundo (m/s) y calculando el porcentaje de cada *bin*. La distribución de la velocidad del viento es importante porque los sitios con idénticas velocidades promedio del viento pero diferentes distribuciones pueden resultar en un recurso eólico disponible sustancialmente diferente. Estas diferencias pueden corresponder a un factor de hasta dos o tres.

### 3.4 Función de Distribución de Weibull

La distribución de la frecuencia de la velocidad del viento en muchas áreas puede ser aproximada muy de cerca por la Función de Distribución Weibull. La Función Weibull se define como:

$$f(V) = (k/c)(V/c)^{k-1} \exp(-V/c)^k$$

donde:

- $f(V)$  = la función de densidad de probabilidad de Weibull, la probabilidad de encontrar una velocidad del viento de  $V$  m/s;
- $c$  = el factor de escala de Weibull, el cual típicamente se relaciona con la velocidad promedio del viento por medio del factor de forma expresado en m/s;
- $k$  = el factor de forma Weibull, el cual describe la distribución de las velocidades del viento.

Existen explicaciones detalladas de la Función de Distribución Weibull y su aplicación en muchos textos, entre los que se encuentra el de Rohatgi y Nelson (1994).

### 3.5 Densidad de potencia disponible en el viento

El recurso eólico en un sitio puede ser descrito a grandes rasgos por la velocidad media del viento, pero la densidad de potencia disponible en el viento proporciona una indicación más correcta del potencial de energía eólica de un sitio. La densidad de potencia disponible en el viento expresa la energía eólica promedio sobre un metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La densidad de potencia es proporcional a la suma del cubo de la velocidad instantánea (o promedio a corto plazo) del viento y la densidad del viento. Debido a este término cúbico, dos sitios con la misma velocidad promedio del viento pero con diferentes distribuciones pueden tener valores muy diferentes de densidad de potencia. La densidad de potencia disponible en el viento, en unidades de  $W/m^2$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$WPD = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho \cdot v_i^3$$

donde

- WPD = la densidad de potencia del viento en  $W/m^2$ ;
- n = el número de registros en el intervalo utilizado para el promedio;
- $\rho$  = la densidad del viento ( $kg/m^3$ ) en una hora particular de observación;
- $v_i^3$  = el cubo de la velocidad del viento (m/s) a la misma hora de observación.

Esta ecuación sólo debe utilizarse para registros individuales de medición (por hora, cada 10 minutos, etc.) y no para los registros promedio a largo plazo tales como el valor mensual o anual. Utilizar esta ecuación con promedios a largo plazo subestimarán la densidad de potencia disponible en el viento debido a que los promedios a largo plazo no incluirán la mayoría de los registros de más alta velocidad que calcularían con mayor precisión la densidad de potencia.

La duración de la densidad del viento ( $kg/m^3$ ) depende de la temperatura y de la presión y puede variar de 10% a 15% por temporada. Si se conocen la presión y temperatura del sitio, la densidad del viento puede ser calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T}$$

donde

- $\rho$  = la densidad del viento en  $kg/m^3$ ;
- P = la presión del aire (Pa o  $N/m^2$ );
- R = la constante específica de gas del aire ( $287 J/kg \cdot K$ );
- T = la temperatura del aire en grados Kelvin ( $^{\circ}C+273$ ).

Si la presión del sitio no está disponible, la densidad del viento puede estimarse como una función de la elevación del sitio (z) y la temperatura (T) de la siguiente manera:

$$\rho = \left( \frac{P_0}{R \cdot T} \right) \varepsilon^{\left( \frac{-gz}{R \cdot T} \right)}$$

donde

- $\rho$  = la densidad del viento en  $kg/m^3$ ;
- $P_0$  = la presión atmosférica estándar a nivel del mar (101,325 Pa), o la lectura de presión real ajustada a nivel del mar desde un aeropuerto local;
- g = la constante gravitacional ( $9.8 m/s^2$ );
- z = la elevación del sitio sobre el nivel del mar (m).

Sustituyendo con valores numéricos  $P_0$ , R y g, la ecuación resultante es:

$$\rho = \left( \frac{353.05}{T} \right) \varepsilon^{-0.034 \left( \frac{z}{T} \right)}$$

Esta ecuación de densidad del viento puede ser sustituida en la ecuación de densidad de potencia del viento (WPD) para determinar cada valor promedio instantáneo o múltiple.



### 3.6 Cizalladura del Viento y la Ley de la Potencia

La cizalladura del viento es una descripción del cambio en la velocidad horizontal del viento con la altura. La magnitud de la cizalladura del viento es específica para el sitio y depende de la dirección del viento, de la velocidad del viento y de la estabilidad atmosférica. Al determinar la cizalladura del viento, uno puede extrapolar datos existentes de velocidad del viento o densidad de potencia del viento a otras alturas. La siguiente ecuación de la forma de la ley de la potencia puede utilizarse para hacer estos ajustes:

$$U = U_0 (z/z_0)^\alpha \quad \text{[Velocidad del viento]}$$

$$\text{WPD} = \text{WPD}_0 (z/z_0)^{3\alpha} \quad \text{[Densidad de potencia disponible en el viento]}$$

donde

- U = la velocidad del viento desconocida a la altura z sobre el suelo;
- U<sub>0</sub> = la velocidad conocida a una altura de referencia z<sub>0</sub>;
- WPD = la densidad de potencia del viento desconocida a la altura z sobre el suelo;
- WPD<sub>0</sub> = la densidad de potencia del viento conocida a una altura de referencia z<sub>0</sub>;
- α = el exponente de la ley de potencia.

Un exponente de 1/7 (ó 0.143), el cual es representativo de áreas bien expuestas con baja rugosidad superficial, se utiliza con frecuencia para extrapolar datos a alturas mayores.

### 3.7 Fuentes de Datos del Viento

#### 3.7.1 Observaciones de la Superficie

Existen datos meteorológicos de la superficie disponibles de muchas fuentes. La mayoría de los países cuentan con una agencia meteorológica que recolecta datos de una red de estaciones en todo el país. Otros datos pueden estar disponibles en agencias regionales, organizaciones científicas, compañías eléctricas y compañías privadas.

Para un cálculo preciso del recurso eólico, deben incluirse la velocidad y dirección del viento, pero la temperatura y la presión también pueden ser de utilidad. La exposición de un sitio, la altura de los anemómetros, la topografía local y el historial de mantenimiento del sitio son también bastante útiles.

Se observa que las velocidades del viento en algunos sitios se reducen de manera estable a lo largo de un periodo de años (el efecto de la “desaparición de los vientos”). Esta tendencia puede ser ocasionada por la construcción de nuevos edificios cerca del sitio, crecimiento arbóreo cerca del sitio o falta de mantenimiento de anemómetros. Se deben aplicar procedimientos de control de calidad adicionales para analizar los datos de sitios con esta tendencia de velocidad del viento.

### **3.7.2 Observaciones del Aire en Niveles Superiores**

Las estaciones del aire en niveles superiores miden las propiedades meteorológicas de la atmósfera arriba de la superficie por medio del lanzamiento de globos, usualmente de una a cuatro veces diariamente. Los globos piloto, globos sin instrumentos que se rastrean por medio de teodolitos, son el instrumento más sencillo para las observaciones del aire en niveles superiores. Las observaciones de globos piloto sólo pueden estimar la velocidad y la dirección del viento. Para mediciones más complejas y precisas se utilizan paquetes de instrumentos por radiosonda (o rawinsonda) que envían las condiciones atmosféricas a la estación base por radio. Los paquetes instrumentados miden datos de temperatura, presión y humedad además de la velocidad y dirección del viento.

### **3.7.3 Mediciones del Viento Marino por Medio de Satélite (SSMI)**

El SSMI, parte del Programa Satelital Meteorológico de Estados Unidos, proporciona mediciones de la velocidad del viento en el océano a 10 m. El conjunto de datos ofrece una cobertura mucho más uniforme y detallada de las velocidades de los vientos marinos que los datos históricos de navíos. Las comparaciones entre los datos obtenidos vía satélite y las observaciones de navíos a lo largo de las principales rutas de embarque indican resultados consistentes. NREL actualmente cuenta con 15 años de datos SSMI que cubren el periodo de 1988 a 2002.

### **3.7.4 Datos Climáticos de Modelos Informáticos**

Los modelos informáticos de predicción del clima pueden generar datos climáticos, incluyendo velocidad y dirección del viento. Estos modelos informáticos analizan datos meteorológicos de muchas fuentes y generan conjuntos de parámetros meteorológicos en puntos regulares de la red. Los resultados del modelo a gran escala abarcan todo el planeta y usualmente incluyen datos meteorológicos en la superficie y para varios niveles por encima de la superficie. La distancia horizontal entre puntos de la red para los datos a gran escala con frecuencia es mayor de 200 kilómetros. Los resultados meteorológicos de lo que se conoce como modelos informáticos de mesoescala cubren regiones específicas. Los puntos de la red de datos del modelo de mesoescala están mucho más cercanos entre sí que aquellos de los datos a gran escala, con una distancia horizontal que va desde aproximadamente 2 km hasta 20 km. Los datos del modelo informático son valiosos para fines de evaluación en regiones del mundo donde los datos son escasos. La principal desventaja de depender por completo de los datos del modelo informático es que los datos de los resultados en un punto particular de la red pueden verse seriamente influenciados por los datos meteorológicos ingresados que pueden no ser muy representativos de las condiciones climáticas en la región de estudio. Se requiere de un buen criterio meteorológico al utilizar datos del modelo informático con fines de evaluación.

## **4.0 Metodología del Recurso Eólico y Sistema Cartográfico**

### **4.1 Introducción**

Esta sección describe la metodología utilizada para analizar y evaluar los datos meteorológicos utilizados para esta evaluación de recursos y el sistema cartográfico utilizado para generar los mapas de recursos. Ambos componentes son cruciales para la producción de un atlas de recursos eólicos que sea suficientemente preciso para estimular el desarrollo de la energía eólica en el área de estudio.

NREL utiliza una técnica cartográfica del recurso eólico basada en GIS para producir los mapas presentados en este atlas. Esta técnica también fue utilizada en la producción de atlas eólicos para Filipinas (Elliott et al., 2001), República Dominicana (Elliott et al., 2001), Mongolia (Elliott et al., 2001) y el Sureste de China (Elliott et al., 2002) y mapas de regiones específicas de Chile, Indonesia, México y Estados Unidos (Schwartz, 1999; Elliott et al., 1999; Schwartz y Elliott, 2001; Elliott, 2002). NREL desarrolló el sistema cartográfico con dos objetivos principales en mente:

- 1) Producir un análisis más consistente y detallado del recurso eólico, particularmente en áreas de terreno complejo
- 2) Generar mapas de alta calidad y fáciles de usar.

### **4.2 Metodología**

#### **4.2.1 Evaluación y Análisis de los Datos**

##### **4.2.1.1 Enfoque Inicial**

La calidad de los datos meteorológicos de entrada depende del entendimiento de las características importantes del viento en la región de estudio, tales como la variabilidad interanual, estacional y diaria del viento y de la dirección prevalente del viento. NREL utilizó innovadores métodos de evaluación sobre conjuntos de datos climáticos existentes para desarrollar una comprensión conceptual de estas características clave del viento. Como parte de su archivo global, NREL mantiene estos conjuntos de datos, obtenidos de fuentes de Estados Unidos tales como el Centro Nacional de Datos Climáticos y el Centro Nacional para la Investigación Atmosférica, complementados con conjuntos de datos obtenidos de Oaxaca. Los datos de superficie y niveles superiores del aire (globos meteorológicos) utilizados en este proyecto usualmente tenían un periodo de registro prolongado (más de 20 años). El enfoque de NREL depende del análisis crítico de todos los datos climáticos disponibles (meteorológicos de la superficie y de niveles superiores del aire) para Oaxaca y áreas circundantes. NREL utilizó un comprehensivo paquete de procesamiento de datos para convertir los datos en resúmenes estadísticos de las características del viento para cientos de estaciones superficiales y numerosas locaciones en niveles superiores del aire. Los resúmenes se utilizaron para resaltar características regionales del viento.

#### 4.2.1.2 Evaluación de Datos Superficiales

Años de trabajo en NREL revelaron muchos problemas con los datos eólicos superficiales basados en tierra recolectados en estaciones meteorológicas en gran parte del mundo. Los problemas asociados con las observaciones tomadas en las estaciones meteorológicas incluyen una falta de información sobre la altura de los anemómetros, exposición, materiales, historial de mantenimiento y procedimientos de observación. Estos problemas pueden ocasionar que la calidad de las observaciones sea extremadamente variable. Además, muchas áreas del mundo con un potencial recurso eólico bueno o excelente cuentan con muy pocos o inexistentes datos de estaciones meteorológicas para ayudar a evaluar el nivel del recurso eólico disponible.

NREL tomó pasos específicos en su evaluación y análisis para superar estos problemas. Se revisó la consistencia y utilidad razonable de los productos existentes en cada sitio. Por ejemplo, se evaluaron las velocidades interanuales del viento para identificar tendencias obvias en los datos o periodos de datos cuestionables. Sólo se seleccionaron periodos de datos representativos para la evaluación. Los productos resumidos también fueron comparados entre sí para seleccionar los sitios que parecían tener la mejor exposición al viento prevalente. Estos sitios se utilizaron para desarrollar una comprensión de las características del viento en la región de estudio.

#### 4.2.1.3 Evaluaciones de Datos en Niveles Superiores del Aire

Los datos de niveles superiores del aire pueden ser útiles al evaluar el recurso eólico regional de varias maneras. Primero, estos datos pueden utilizarse para estimar el recurso a niveles bajos justo por encima de la superficie. El estimado de recursos a bajo nivel es bastante importante en áreas donde los datos superficiales son escasos o inexistentes. Segundo, dichos datos pueden utilizarse para crear perfiles verticales aproximados de la velocidad y potencia del viento. Los perfiles verticales se utilizan para extrapolar la cantidad de recurso eólico a áreas de terreno elevado y para identificar las máximas velocidades del viento a bajo nivel que pueden mejorar el recurso eólico a nivel del buje del aerogenerador.

NREL generó resúmenes de velocidad y potencia del viento a niveles específicos de presión y altura utilizando datos de niveles superiores del aire, así como perfiles verticales mensuales y anuales promedio de la velocidad y potencia del viento. Un problema que ocurre continuamente en la evaluación de datos de niveles superiores del aire es que en muchos de los lugares donde se lanzan los globos el flujo del viento ambiental es bloqueado por terrenos altos. Utilizar los perfiles verticales de estos lugares “bloqueados” puede ser engañoso puesto que los perfiles solo representan las condiciones en la estación a niveles altos y no aplican en toda la región de interés. Por lo tanto, el análisis de NREL de los datos de niveles superiores del aire utiliza perfiles verticales que consideramos representativos del flujo ambiental del viento en una región específica.

#### 4.2.1.4 Objetivos de la Evaluación de Datos

El objetivo de un análisis y evaluación críticos de la superficie y de los datos en niveles superiores del aire es desarrollar un modelo conceptual de los mecanismos físicos a escala regional y local que afectan el flujo del viento. Cuando existen datos de características del viento en conflicto en una región de análisis, la preponderancia de la evidencia meteorológica de la región es la base del modelo conceptual. Varios artículos elaborados por NREL (Elliott, 2002; Schwartz y Elliott, 1997; Elliott y Schwartz, 1998; Schwartz, 1999) describen la integración, análisis y evaluación de conjuntos de datos meteorológicos típicamente utilizados para evaluaciones del recurso eólico.

El análisis crítico de los datos y el modelo conceptual son de particular importancia debido a que un componente clave del sistema cartográfico del viento de NREL requiere que se hagan ajustes empíricos a los valores de la potencia del viento antes de producir los mapas finales. La comprensión conceptual desarrollada por el análisis crítico de los datos disponibles dirige el desarrollo de relaciones empíricas que son la base de los algoritmos utilizados para ajustar la potencia del viento. Este enfoque empírico depende de un perfil eólico ambiental de los cientos de metros más cercanos a la superficie y de tener la posibilidad de ajustarlo a la capa de la superficie. Una ventaja primordial de este método es que NREL puede producir mapas confiables del recurso eólico sin tener datos eólicos de la superficie de gran calidad en la región de estudio.

#### **4.2.2 Clasificaciones de la Potencia del Viento**

Los valores que aparecen en los mapas eólicos del atlas se basan en la densidad de potencia del viento, no en la velocidad del viento. La densidad de potencia del viento es un mejor indicador del recurso disponible puesto que incorpora los efectos combinados de la distribución de la frecuencia de la velocidad del viento, la dependencia de la potencia del viento sobre la densidad del viento y el cubo de la velocidad del viento. Para los mapas de Oaxaca se utilizaron siete clasificaciones de la potencia del viento basadas en los rangos de la densidad de potencia disponible en el viento. Cada una de las clasificaciones fue definida cualitativamente para aplicaciones a escala comercial (pobre a excelente). En general, los lugares con un recurso eólico anual promedio mayor de  $400 \text{ W/m}^2$  o aproximadamente  $7 \text{ m/s}$  a  $50 \text{ m}$  por arriba del suelo son los mejores para aplicaciones a escala comercial. Las aplicaciones de electrificación rural o para poblaciones pequeñas, pueden ser viables en lugares con menores niveles de recurso eólico. En Oaxaca tales aplicaciones pueden ser viables con un recurso eólico mayor a  $200 \text{ W/m}^2$ , o aproximadamente  $5.5 \text{ m/s}$  a  $50 \text{ m}$  sobre el nivel del suelo.

### **4.3 Descripción del Sistema Cartográfico**

El sistema cartográfico de NREL utiliza software cartográfico basado en GIS. El principal software GIS, ArcInfo<sup>®</sup>, es un poderoso y complejo paquete que incluye un gran número de rutinas para análisis científico. Puesto que ninguna de las rutinas de análisis de ArcInfo<sup>®</sup> están diseñadas específicamente para la evaluación del recurso eólico, la técnica cartográfica de NREL requiere de una extensa programación en ArcInfo<sup>®</sup> para crear combinaciones de rutinas científicas que simulen métodos de evaluación directa del recurso eólico. Para mayor información acerca de GIS y de la investigación de energía eólica en NREL, consulte a Heimiller y Haymes (2001).

El sistema cartográfico se divide en tres principales componentes: datos de entrada, ajustes de potencia del viento y la sección de salida que produce el mapa eólico final. A continuación aparece una descripción de dichos componentes.

#### **4.3.1 Datos de Entrada**

Las dos principales entradas del modelo son datos digitales del terreno y datos meteorológicos. La información de elevación consiste de datos digitales del modelo de elevación del terreno (DEM, por sus siglas en inglés) que dividen la región analizada en celdas individuales en una cuadrícula, cada una de las cuales tiene un valor de elevación único. El Centro de Datos

Satelitales de la Observación de los Recursos del Planeta Tierra del Estudio Geológico de Estados Unidos produjo DEMs actualizados para la mayor parte del mundo a partir de datos del Departamento de Defensa de Estados Unidos que anteriormente eran clasificados y de otras fuentes. Los conjuntos de datos tienen una resolución de 1 km<sup>2</sup> y están disponibles para áreas extensas del mundo. Esto representa una mejora significativa en los datos de elevación utilizados por el sistema cartográfico. El modelo anteriormente se basaba en mapas a escala 1:1,000,000 y en contornos de 305 m (1,000 pies) de elevación. La versión final de los mapas utiliza una cuadrícula de 400 m por 400 m.

Las entradas meteorológicas para el sistema cartográfico se presentan en dos fases. La primera fase proporciona datos de la potencia del viento para cada celda de cuadrícula obtenida por medio de la salida de un modelo numérico de mesoescala. La segunda fase, después del proceso de selección de datos, proporciona los perfiles verticales correspondientes de la densidad de potencia disponible en el viento y las rosas de la potencia del viento que expresan el porcentaje de la energía total potencial del viento por dirección. Los perfiles verticales se dividen en intervalos de 100 metros centrados cada 100 metros sobre el nivel del mar. Se usa la rosa de potencia del viento para determinar el grado de exposición de una celda de cuadrícula en particular a los vientos que generan la energía. Estas entradas y la cuadrícula original de potencia del viento se incorporan como archivos compatibles con Arc/Info<sup>®</sup> y se utilizan en los algoritmos de ajuste de potencia.

#### **4.3.2 Cálculos de la Potencia del Viento**

La metodología utilizada para calcular la potencia del viento se presenta en la sección 3.5. TrueWind Solutions (TWS), una empresa estadounidense de Albany, Nueva York, proporcionó a NREL los valores iniciales de densidad de potencia del viento para cada celda de cuadrícula en Oaxaca. TWS utilizó su exclusivo sistema MesoMap (Brower et al., 2001) para calcular los valores de densidad de potencia del viento. El sistema MesoMap consiste de MASS (un modelo de mesoescala) y WindMap (un modelo de flujo del viento con conservación de masa).

El modelo MASS simuló las condiciones climáticas sobre Oaxaca y las regiones circundantes para 366 días seleccionados aleatoriamente de un periodo de 15 años. El muestreo aleatorio fue estratificado para lograr una representación equitativa de cada mes y temporada. Cada simulación genera variables de viento y otros aspectos meteorológicos en todo el dominio del modelo para un día en particular y almacena la información a intervalos de una hora. Las simulaciones utilizan una variedad de datos meteorológicos y geofísicos. MASS utiliza datos climáticos para establecer las condiciones iniciales para cada simulación así como las condiciones límite laterales para el modelo. El modelo determina la evolución de las condiciones atmosféricas dentro de la región estudiada durante cada simulación.

Las principales entradas geofísicas para MASS son la elevación, cobertura del suelo y humedad del suelo. Se utilizaron en las simulaciones MASS los nuevos datos de Espectroradiómetro de Resolución Moderada (MODIS) desarrollados por la NASA, los cuales incluyen datos de cobertura del suelo y un conjunto de datos de porcentaje de cobertura arbórea. Los datos MODIS presentan varias ventajas sobre el conjunto de datos previamente utilizado para cobertura del suelo: Las imágenes utilizadas en la clasificación son de años recientes (2000 y 2001), los datos tienen una resolución horizontal de 500 m (en comparación con 1000 m) y el sistema sensor de MODIS incluye siete bandas que fueron diseñadas específicamente para capturar información de cobertura del suelo. Los datos de porcentaje de cobertura arbórea de MODIS se correlacionaron bien con otro conjunto de datos de cobertura de suelo proporcionado por USAID para el área del

istmo de Oaxaca y basándose en dicha correlación, se utilizaron los datos de porcentaje de cobertura arbórea para todo Oaxaca. MASS tradujo el porcentaje de cobertura arbórea en el importante parámetro superficial de rugosidad superficial. La Figura 4.1 es un mapa de los datos MODIS del porcentaje de cobertura arbórea para Oaxaca.

Se ejecutó el MASS con una resolución horizontal de 2 km. Después de terminar todas las simulaciones, los resultados fueron procesados en archivos de datos sumarios que se utilizaron como entradas para el modelo WindMap. WindMap a su vez calculó la densidad de potencia del viento hasta la última resolución de celda de cuadrícula de 400 m por 400 m.

Los módulos de ajuste de la potencia del viento en el sistema cartográfico eólico de NREL utilizan diferentes rutinas dependiendo de los resultados de la evaluación de datos de NREL. Los módulos de ajuste de potencia pueden activarse para tomar en cuenta el bloqueo del flujo ambiental por terreno, la elevación relativa de ciertas regiones en particular, la aceleración y áreas mejoradas de flujo eólico, proximidad a lagos, océanos u otros cuerpos de agua extensos, o cualquier combinación de los anteriores. Las rutinas de ajuste de potencia utilizan descripciones topográficas generales clasificadas como terreno complejo (cerros y cordilleras), terreno complejo con grandes superficies planas, o zonas designadas como planas. El ajuste a la densidad inicial de energía eólica depende de cuáles rutinas se activen durante la ejecución cartográfica final.

### **4.3.3 Productos Cartográficos**

El resultado principal del sistema cartográfico es un mapa eólico con códigos por color en unidades de  $W/m^2$  y una velocidad del viento media equivalente para cada una de las celdas de la cuadrícula. El esquema de clasificación de la potencia eólica para los mapas de Oaxaca se presenta en la Tabla 4-1. En este atlas se eligió una altura de 50 m sobre el nivel del suelo (agl) como la altura del buje promedio para aerogeneradores a escala comercial que pueden variar entre 30 m y 80 m.



# Oaxaca - Porcentaje de Cobertura Arbórea en MODIS

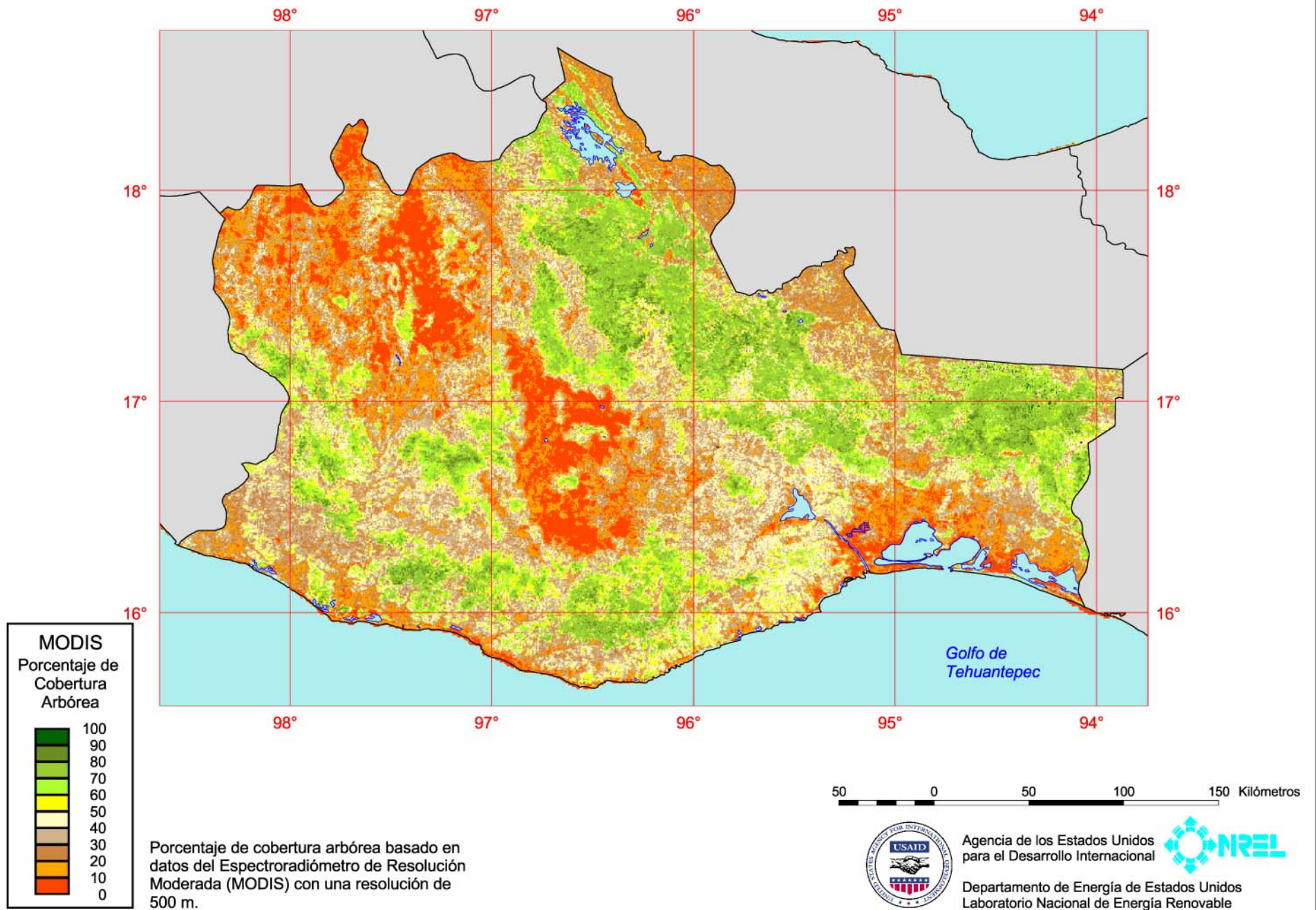


Figura 4-1

La potencia del viento se indica solo para aquellas celdas que cumplen con ciertos requerimientos de pendiente. Una celda se excluye si la pendiente del terreno es demasiado pronunciada. La pendiente del terreno en una celda de cuadrícula debe ser menor o igual a 20% para ser incluida en los cálculos de potencia del viento. Los valores del recurso eólico son estimados basados en la rugosidad de la superficie por cada celda derivada de la salida del modelo MASS.

**Tabla 4.1. Clasificación de la Potencia del Viento**

Clase	Potencial de Recursos (Escala Comercial)	Densidad de Potencia del Viento (W/m <sup>2</sup> ) @ 50 m agl	Velocidad del Viento <sup>(a)</sup> (m/s) @ 50 m agl
1	Pobre	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Escaso	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderado	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Bueno	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excelente	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excelente	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excelente	> 800	> 8.5

<sup>(a)</sup> La velocidad media del viento se estima asumiendo una elevación sobre el nivel del mar y una distribución Weibull de velocidades del viento con un factor de forma (k) de 1.8. La velocidad media real del viento puede diferir de estos valores estimados por hasta 20%, dependiendo de la distribución real de la velocidad del viento (o valor k de Weibull) y de la elevación sobre el nivel del mar.

La salida del sistema cartográfico utiliza software para producir la proyección de mapa adecuada para la región estudiada y para colocar en el mapa información útil tal como leyenda, líneas de latitud y longitud, ubicaciones de estaciones meteorológicas y otras estaciones de medición del viento, ciudades importantes y una escala de distancia. Los datos DEM también pueden utilizarse para crear un mapa de elevación con código de color, un mapa a relieve con cerros sombreados y un mapa de los contornos de elevación. Al combinarse con los mapas de potencia del viento, estos productos proporcionan al usuario una imagen tridimensional de la distribución de la potencia del viento en la región analizada.

#### **4.3.4 Limitaciones de la Técnica Cartográfica**

La técnica cartográfica tiene varias limitaciones, siendo la primera la resolución de los datos DEM. Pueden ocurrir variaciones significativas de terreno dentro del área de 1 km<sup>2</sup> de los DEMs, por lo que el estimado del recurso eólico para una celda específica de la cuadrícula pudiera no corresponder a todas las áreas dentro de la celda. Un segundo problema potencial tiene que ver con la extrapolación del modelo conceptual del flujo del viento a la región analizada. Muchas complejidades en el flujo del viento la convierten en una metodología inexacta. Las complejidades incluyen la estructura de chorros a bajo nivel y de su interacción con la capa límite, circulaciones localizadas, tales como brisas entre tierra firme y mar y flujos montaña-valle, así como los efectos de canalización en áreas de terreno con pendientes pronunciadas. Finalmente, los estimados de potencia se basan en la rugosidad superficial de cada celda de la cuadrícula basándose en la salida de MASS. Debido a que la entrada geofísica a MASS no es 100% exacta, pueden ocurrir errores en el estimado de la rugosidad superficial y por lo tanto, en los estimados del recurso eólico para lugares específicos.

## **5.0 Datos del Recurso Eólico para Oaxaca**

### **5.1 Introducción**

Una correcta evaluación del recurso eólico depende de la cantidad y calidad de los datos de entrada. NREL revisa muchas fuentes de datos del viento y anteriores evaluaciones eólicas como parte de su evaluación global. En esta evaluación se utilizaron varios conjuntos de datos a nivel mundial, incluyendo observaciones superficiales y de niveles superiores del aire que cubren muchos años de registro y que son mantenidos en NREL. Debido a que la calidad de los datos en cualquier conjunto de datos en particular puede variar y a que los datos de alta calidad pueden ser bastante escasos en muchas regiones del mundo, cada conjunto de datos juega un papel integral en la evaluación global. En esta sección resumimos los conjuntos de datos utilizados para preparar la actividad cartográfica del recurso eólico para el Estado de Oaxaca, México. Todos los conjuntos de datos fueron analizados y evaluados de acuerdo con los procedimientos definidos en la sección 4.0.

### **5.2 Datos Superficiales**

Los datos eólicos superficiales de alta calidad de lugares con buena exposición pueden brindar la mejor indicación de la magnitud y distribución del recurso eólico en la región. Estudios realizados por NREL y otros investigadores en muchas diferentes regiones del mundo han determinado que la calidad de los datos eólicos superficiales de estaciones meteorológicas varían y con frecuencia son poco confiables para fines de evaluación del recurso eólico.

Las siguientes secciones presentan un resumen de los conjuntos de datos superficiales obtenidos y examinados en la evaluación.

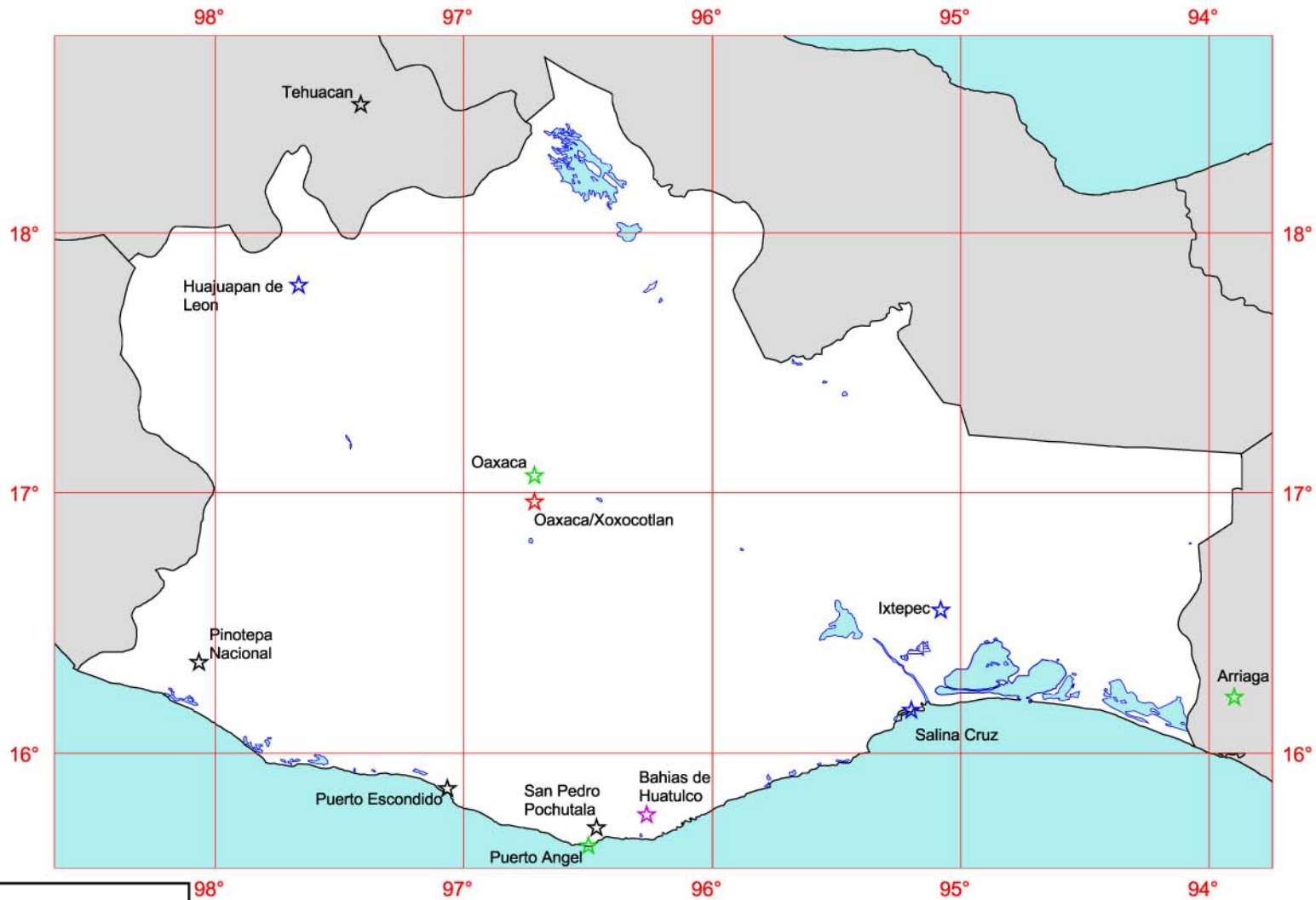
#### **5.2.1 Datos DATSAV2**

La base de datos climáticos mundial DATSAV2 obtenida de NCDC contiene las observaciones climáticas superficiales, transmitidas vía el Sistema Global de Telecomunicaciones (GTS, por sus siglas en inglés), de estaciones meteorológicas de primer orden en todo el mundo. Los parámetros meteorológicos tales como velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, presión y configuración de altímetros, se utilizan para crear resúmenes estadísticos de las características del viento. Un número único de seis dígitos basado en el sistema de numeración de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) identifica cada estación del conjunto de datos DATSAV2.

Diez estaciones de Oaxaca se incluyen en el Conjunto de datos DATSAV2. De éstas, 8 estaciones cuentan con suficientes datos meteorológicos para ser utilizados en este análisis. Estos datos de estaciones fueron complementados por datos DATSAV2 de dos estaciones en otros estados cercanos a Oaxaca: Arriaga en Chiapas y Tehuacán en Puebla. La Figura 5.1 muestra las ubicaciones y el número de observaciones de estas estaciones.

El número de observaciones en cada sitio para cada año y de un año a otro presentan gran variación. Las estaciones de Oaxaca típicamente registraban datos cada 3 horas o en algunos casos 3 veces al día.

# Oaxaca - Estaciones Meteorológicas Superficiales GTS



## Estaciones Meteorológicas Observaciones Totales

- ★ 80,000 a 130,000
- ★ 40,000 a 80,000
- ★ 20,000 a 40,000
- ★ 5,000 a 20,000
- ★ 500 a 5,000

Total de Estaciones = 12

Las estaciones meteorológicas superficiales del Sistema Global de Telecomunicaciones (GTS) son parte de la base de datos global de NREL.

50 0 50 100 150 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

20-APR-2004 1.2.5

Figura 5-1

Los registros de los datos procesados para cada una de estas estaciones contenían promedios mensuales y anuales de velocidad y potencia del viento. La Tabla A.1 (Apéndice A) proporciona datos de ubicación y resúmenes de velocidad del viento para estas estaciones. Se muestran también resúmenes gráficos para estaciones seleccionadas en el Apéndice A. Estos datos son útiles para evaluar la variabilidad interanual y mensual, la distribución diurna de la velocidad y potencia del viento y la frecuencia conjunta de la velocidad y dirección del viento.

La calidad de estos datos del viento es en gran medida desconocida debido a la falta de información sobre mantenimiento de equipo y exposición al viento. Algunas de las estaciones tenían tendencias obvias o cambios abruptos en las velocidades del viento históricas registradas interanualmente. La Figura 5.2 muestra un ejemplo del “síndrome de los vientos que desaparecen”, según lo demuestra la tendencia a la baja en las velocidades históricas del viento en la estación del aeropuerto de Huatulco. Nuevas construcciones, el crecimiento de los árboles alrededor de la estación meteorológica, o la degradación del equipo de medición, pueden haber ocasionado estas menores velocidades del viento. Grandes reducciones en las velocidades del viento corresponden a reducciones porcentuales aún mayores en la densidad de potencia disponible en el viento. Por estos motivos, el promedio histórico a largo plazo de muchas estaciones no es un indicador confiable del recurso eólico, particularmente donde existen tendencias obvias o cambios abruptos en las velocidades históricas del viento.

### **5.2.2 Datos de la Comisión Nacional del Agua**

Se obtuvieron los promedios anuales de las velocidades del viento de 121 estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de México. Las estaciones, sus ubicaciones y sus velocidades promedio del viento aparecen en la Tabla B.1. Las ubicaciones de algunas estaciones no fueron proporcionadas o no pudieron ser determinadas con precisión. Se proporcionaron también los promedios mensuales de las velocidades del viento para muchas de las estaciones, las cuales aparecen en la Tabla B.2 para estaciones con promedios anuales de velocidades del viento de 4 m/s o más.

La calidad de estos datos se desconoce en gran medida debido a la falta de información acerca del equipo de medición, exposición al viento y métodos de observación. Cualquier presencia de edificios y árboles alrededor de la estación meteorológica o degradación del equipo de medición puede tener un efecto importante sobre las velocidades del viento registradas en estas estaciones. Por estos motivos, las velocidades promedio del viento reportadas para estas estaciones no son necesariamente un indicador confiable del recurso eólico del área. La sección 6 incluye una evaluación de estos datos.

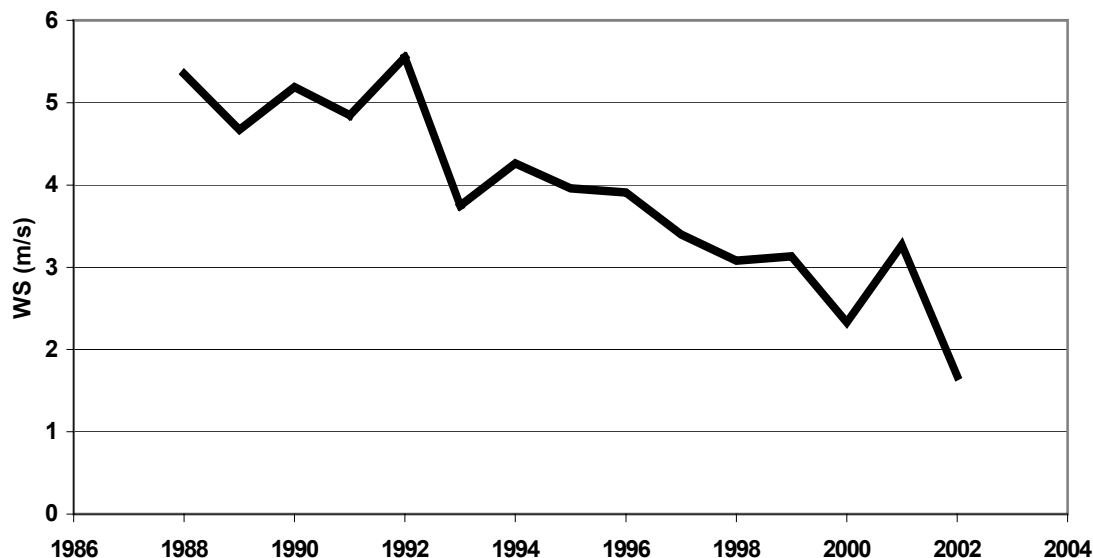


Figura 5.2 Oaxaca – Vientos que Desaparecen en Huatulco (velocidad por año).

### 5.2.3 Datos de Validación de los Desarrolladores Eólicos

Los datos del viento para validar los mapas eólicos preliminares fueron proporcionados por distintos desarrolladores y compañías eléctricas. Estos datos fueron recolectados en 20 sitios en torres de medición de 30 m a 60 m de altura. Todos los sitios se localizaban en la región del Istmo. Algunos conjuntos de datos incluyeron datos de series (observaciones cada hora o cada 10 minutos) de velocidad y dirección del viento, los cuales fueron procesados para examinar las características del recurso eólico, las cuales incluyeron promedio mensual de velocidad y potencia del viento, promedio de velocidad y potencia del viento por hora del día, frecuencia y velocidad por dirección del viento y frecuencia de la velocidad del viento y porcentaje de potencia por velocidad del viento. Algunos datos consistían de promedios mensuales de velocidades del viento, mientras que otros consistían de promedios anuales y estacionales de velocidades del viento y densidades de potencia disponible en el viento. Debido a convenios de confidencialidad, no podemos mostrar el recurso eólico real en los sitios ni proporcionar la ubicación exacta de los mismos. La Tabla 5.1 incluye una lista de los proveedores de datos y el número de estaciones para las cuales se proporcionaron datos. Estos datos se utilizaron para confirmar los estimados del recurso eólico de los mapas como se describe en la sección 6.

Tabla 5.1 Proveedores de Datos de Validación

Proveedor de Datos	Número de Sitios	Series de Tiempo	Resúmenes
CFE	10	1	9
De Proe	3	3	
Clipper Windpower/Fuerza Eólica	5	5	
Gamesa	2		2

### **5.3 Datos de Niveles Superiores del Aire**

Los datos de niveles superiores del aire, consistentes de perfiles de velocidad y dirección del viento, son un importante parámetro meteorológico de entrada para el modelo de cartografía eólica. Los datos de niveles superiores del aire también proporcionan un estimado del recurso eólico justo sobre la capa superficial y contribuyen a una comprensión de la distribución vertical del recurso eólico. Esto es útil para estimar los vientos en características de terrenos elevados y el recurso eólico en lugares expuestos para los cuales no se cuenta con observaciones confiables de los vientos superficiales.

Los conjuntos de datos internos de NREL incluyen información de los niveles superiores del aire tanto de tipo observacional como derivada de modelos informáticos. Los siguientes conjuntos de datos de niveles superiores del aire se utilizaron en la evaluación.

#### **5.3.1 Datos de Procesamiento Automatizado de Datos (ADP, por sus siglas en inglés)**

No hubo estaciones representativas de observación de los niveles superiores del aire en la región de interés.

#### **5.3.2 Conjuntos de Datos Derivados de Modelos Informáticos**

##### **5.3.2.1 Atlas Climático Mundial de los Niveles Superiores del Aire (GUACA, por sus siglas en inglés)**

El conjunto de datos GUACA contiene medias y desviaciones estándar mensuales derivadas de modelos informáticos de elementos climáticos para 15 niveles atmosféricos (superficie y 14 niveles de presión) a puntos de cuadrícula cada 2.5° en todo el mundo. El GUACA fue desarrollado utilizando los análisis producidos en el Centro Europeo para Pronósticos Climatológicos a Mediano Plazo. Los datos de NREL, obtenidos en el NCDC, cubren el periodo de 1980 a 1991. Este conjunto de datos se utiliza para complementar la información ADP en áreas donde los datos de niveles superiores del aire son escasos. Los niveles de interés para este estudio incluyen superficie, 850 mb, 700 mb y 500 mb.

Los datos del GUACA fueron utilizados para generar rosas de viento de las direcciones predominantes del viento y para estimar las velocidades del viento a 850 mb y 700 mb para el análisis del recurso eólico. Las tendencias en velocidad y dirección del viento en la cuadrícula del GUACA ayudaron a describir los patrones de viento a gran escala en la región evaluada.

##### **5.3.2.2 Datos de Reanálisis**

Los Centros Nacionales para la Predicción Ambiental de Estados Unidos, en colaboración con NCAR, produjeron un conjunto de datos reanalizado. Se trata de un registro de 40 años de análisis mundiales de parámetros atmosféricos. Este proyecto utilizó un modelo informático de predicción para crear conjuntos de datos a nivel mundial para viento, temperatura y otras variables en una cuadrícula global con resolución de 208-km. El reanálisis incorpora todos los datos rawinsonda y de globo piloto disponibles, así como observaciones de superficie, aeronaves, embarcaciones, satélites y otras fuentes. Los datos del reanálisis sobre Oaxaca se produjeron cuatro veces al día.



### 5.3.2.3 Datos de Modelo de Mesoescala

TrueWind Solutions de Albany, Nueva York, proporcionó a NREL datos de velocidad y potencia del viento para Oaxaca a una resolución horizontal de 400 m por 400 m a niveles de 30 m a 500 m sobre el suelo así como datos de rugosidad superficial y elevación procedentes de su exclusivo sistema MesoMap. Este conjunto de datos se utilizó como un estimado inicial para la distribución del recurso eólico (potencia) en Oaxaca.

## **5.4 Datos Eólicos Marinos Satelitales**

Debido a que Oaxaca colinda en el sur con el Océano Pacífico, las mediciones y estimados de los vientos oceánicos pueden asistir en la evaluación de los estudios del recurso eólico. El conjunto de datos satelital SSMI contiene estimados de velocidades oceánicas del viento a 10 m. Estos datos también proporcionan una excelente perspectiva de las condiciones eólicas ambientales en las áreas oceánicas fuera de la costa sur de Oaxaca. Los mapas y las gráficas de los datos costa afuera satelitales para Oaxaca se presentan en el Apéndice D.

## 6.0 Características del Recurso Eólico en Oaxaca

### 6.1 Introducción

Esta sección presenta una perspectiva general de los resultados de la cartografía eólica y de los estimados de la densidad de potencia del viento para Oaxaca. El esquema de clasificación para la densidad de potencia del viento utilizado en el atlas es aplicable para proyectos a escala comercial.

### 6.2 Clasificaciones de la Potencia del Viento

La Tabla 6.1 muestra las clasificaciones de la potencia del viento para aplicaciones a escala comercial en Oaxaca. Las áreas de recurso eólico de Clase 4 y mayores se consideran adecuadas para el desarrollo de energía eólica a escala comercial. Las aplicaciones rurales o fuera de la red requieren de un menor recurso eólico para que un proyecto sea viable. Para estos tipos de aplicaciones, los recursos de Clase 2 y mayores pueden ser suficientes para un desarrollo eólico viable.

**Tabla 6.1. Clasificación de la Potencia del Viento**

Clase	Potencial del Recurso (Escala comercial)	Densidad de Potencia del Viento (W/m <sup>2</sup> ) @ 50 m agl	Velocidad del Viento <sup>(a)</sup> (m/s) @ 50 m agl
1	Pobre	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Escaso	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderado	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Bueno	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excelente	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excelente	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excelente	> 800	> 8.5

<sup>(a)</sup> La velocidad media del viento se estima asumiendo una elevación sobre el nivel del mar y una distribución Weibull de velocidades del viento con un factor de forma (k) de 1.8. La velocidad media real del viento puede diferir de estos valores estimados por hasta 20%, dependiendo de la distribución real de la velocidad del viento (o valor k de Weibull) y de la elevación sobre el nivel del mar.

### 6.3 Metodología

La metodología cartográfica utilizada en este proyecto se describió en la sección 4.0. Los datos del modelo de mesoescala de TrueWind Solutions se utilizaron como el estimado inicial de la potencia del viento en Oaxaca. Se hicieron ajustes a los estimados iniciales de potencia en ciertas regiones después de la evaluación de NREL de los datos meteorológicos disponibles. Los datos de las torres de medición de la región del Istmo fueron de gran utilidad para evaluar los estimados iniciales de esta región. Las principales regiones ajustadas fueron algunas áreas en algunas regiones montañosas de Oaxaca, áreas específicas del noroeste de Oaxaca, partes de la región del Istmo y áreas seleccionadas de la costa. Los ajustes en las regiones montañosas incluyeron áreas de la Sierra Madre de Chiapas, Sierra de Oaxaca y Sierra Madre del Sur. Debido a que no había

estaciones evidentes de medición de alta calidad disponibles en las áreas con más viento de las regiones montañosas según lo estimó el modelo de mesoescala, los ajustes a los estimados de potencia iniciales de estas áreas se basaron principalmente en el análisis de NREL y en la interpretación de datos climáticos, particularmente del reanálisis de los datos de niveles superiores del aire. En las regiones de la costa, los ajustes se basaron en un análisis de datos de estaciones meteorológicas y datos oceánicos satelitales.

## **6.4 Distribución y Características del Recurso Eólico**

### **6.4.1 Distribución Anual del Recurso Eólico**

Las Figuras 6.1 a 6.3 corresponden a los mapas del recurso eólico de Oaxaca. La Figura 6.1 es el mapa eólico básico, el cual muestra los estimados de la potencia del viento y las principales ciudades y cuerpos de agua. En esta figura, se pueden apreciar claramente los valores del recurso eólico de áreas específicas sin que otra información los oculte. La Figura 6.2 muestra las principales líneas de transmisión y caminos, además del recurso eólico. Las áreas de recurso eólico ubicadas cerca de las principales líneas de transmisión y caminos usualmente son más adecuadas para un desarrollo eoloeléctrico potencial (para aplicaciones a nivel comercial) que los lugares remotos. La Figura 6.3 muestra el recurso eólico en combinación con el relieve sombreado de los cerros. Esta figura es útil porque permite relacionar fácilmente el recurso eólico con las principales características del terreno de Oaxaca. Las áreas muy oscuras o muy claras en el relieve sombreado típicamente son áreas de terreno con pendientes pronunciadas. Estas áreas con grandes pendientes generalmente no son adecuadas para el desarrollo eoloeléctrico, debido a que generalmente existen condiciones turbulentas del viento al existir pendientes pronunciadas. (Como se indicó previamente en la sección 4.3.3, los valores del recurso eólico no se calculan para áreas escarpadas con una pendiente mayor al 20%.)

Oaxaca es influenciada por tres flujos eólicos predominantes: un viento de noreste a norte de octubre a febrero, un viento del este de marzo a mayo y un viento alisio de este a noreste de junio a septiembre.

El viento fluye con mayor fuerza de noreste a norte y debido a que se presentan episodios de este fuerte flujo en marzo y abril, este es el flujo de viento más predominante en Oaxaca. El origen de este flujo del norte es el gradiente de presión entre la mayor presión del Golfo de México y la menor presión del Océano Pacífico. Este flujo de viento típicamente proviene más del norte cerca de la superficie y más del noreste a alturas de varios cientos de metros sobre la superficie de acuerdo con el reanálisis de los datos de niveles superiores del aire. En la Región del Istmo de Tehuantepec, donde el viento se canaliza con gran fuerza debido a la topografía, el viento puede provenir principalmente del norte a mayor elevación. Los vientos fuertes libres de aire, mayores de 10 m/s en el este de Oaxaca durante esta temporada pueden extenderse de apenas unos cientos de metros sobre el nivel del mar hasta aproximadamente 1200 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, los lugares totalmente expuestos a estos fuertes vientos libres, tales como aquellos lugares en la región canalizada del Istmo y en las cordilleras y terreno expuesto donde estos vientos se canalizan o realzan, pueden tener un recurso eólico anual de Clase 6 o Clase 7. En el oeste de Oaxaca, los vientos libres son de 8 m/s a 10 m/s en esta temporada y se extienden a elevaciones mayores de 2000 m a 2400 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, las áreas expuestas del oeste de Oaxaca donde se canalizan o realzan estos vientos pueden tener un recurso eólico de Clase 4 o mayor.

Los vientos son generalmente más débiles durante los flujos dominantes del viento del oeste de abril a mayo y durante los flujos del viento alisio del noreste de junio a septiembre. Durante estos meses, los vientos libres pico tienen un promedio de aproximadamente 6 m/s a 7 m/s. El flujo del viento alisio del verano se extiende a 1500 m en el este de Oaxaca. A pesar de que los vientos alisios del verano son sustancialmente menores que los vientos de otoño-invierno, las áreas que canalizan o realzan los vientos de verano del noreste pueden tener un buen recurso eólico durante esta temporada. Ejemplos de estas áreas son La Mata y La Venta, las cuales cuentan con un buen recurso eólico durante los meses de verano. Los perfiles verticales de velocidad del viento del conjunto de datos de reanálisis muestran las diferencias entre los tres regímenes de flujo de viento dominantes y a lo largo del estado de Oaxaca (Apéndice C).

Los mapas eólicos muestran muchas áreas cuyo recurso eólico se considera bueno a excelente (Clase 4 y mayor). Las áreas con el mejor recurso eólico de Oaxaca se concentran en la región sureste del estado, principalmente en la parte sur del Istmo de Tehuantepec. La región con recurso eólico del Istmo se extiende desde la costa hacia el norte aproximadamente 60 km y aproximadamente 60 a 80 km de este a oeste. Existe un excelente recurso eólico (Clase 5 y superior) generalizado en la región del Istmo. El mayor recurso (Clase 7) del Istmo ocurre cerca de las colinas (incluyendo La Mata, La Venta y La Ventosa), cordilleras y en la costa. Los fuertes vientos del norte son frecuentes en la región del Istmo, particularmente durante la temporada pico de viento de noviembre a febrero. Los datos de alta calidad procedentes de sitios de medición en el Istmo confirman el excelente potencial del recurso eólico en áreas específicas de la región tales como La Mata, La Venta y La Ventosa cerca de las colinas y de la costa. Sin embargo, se requieren datos adicionales para validar los estimados de los mapas en otras áreas del Istmo.

Se estima que también muchas de las cordilleras y zonas de terreno elevado adyacentes a la región (hasta 100 km al este y oeste del Istmo) cuentan con excelentes recursos eólicos, pero muchos de estos sitios presentarían dificultades de desarrollo debido a su accidentado terreno y difícil acceso. Los conjuntos de datos climáticos indican que el recurso eólico ambiente en el Istmo y sus alrededores se reduce de manera significativa a elevaciones superiores de 1200 a 1500 m, por lo que es probable que muchas de las áreas con mayores elevaciones en esta región cuenten con un menor recurso eólico que los sitios de menor elevación del Istmo. La Sierra Madre de Chiapas cuenta con muchas áreas donde se estima que el recurso es de bueno a excelente, pero el recurso eólico se reducirá de manera considerable a mayores elevaciones, especialmente aquellas superiores a 1500 m. Las áreas elevadas con mejor recurso son generalmente las cordilleras más bajas y particularmente las crestas o espolones que tienen 500 a 1000 m de elevación. Por ejemplo, se estima que las crestas localizadas al norte y noreste de Santo Domingo tienen un recurso de Clase 7. De manera similar, las cordilleras localizadas al noroeste y suroeste de Ixtapepec parecen tener excelentes recursos eólicos. La elevación de estas cordilleras, las cuales forman la extensión sureste extrema de la Sierra de Oaxaca, es generalmente de menos de 1500 m, variando la mayoría de las cordilleras de 500 a 1000 m de elevación. Finalmente, se estima que existen muchas áreas de excelente recurso eólico en las cordilleras localizadas al oeste de Salina Cruz y al suroeste de Tehuantepec. Estas cordilleras forman la extensión este extrema de la Sierra Madre del Sur. Se estima que existen áreas con un recurso de bueno a excelente a lo largo de las cordilleras hasta 80 km al oeste de Salina Cruz. Sin embargo, el área más concentrada con recurso de Clase 7 se localiza aproximadamente de 20 a 30 km al oeste de Salina Cruz.

Algunas otras regiones de Oaxaca para las que se estima que el recurso es de bueno a excelente se localizan en áreas específicas de la parte noroeste, centro y sur de Oaxaca. En todas estas regiones se estima que las mejores áreas son aquellas donde las características del terreno

canalizan y/o aceleran los vientos del noreste. La temporada pico de viento es de octubre a febrero, cuando los vientos del noreste son más fuertes y más dominantes. En el noroeste de Oaxaca se localizan notables áreas con altos recursos al este y al norte de Huajuapán de León. La zona con mayor concentración de recurso de Clase 4 y Clase 5 es un área de las planicies y de las colinas en las inmediaciones de Santiago Chazumba, aproximadamente 50 km al norte de Huajuapán de León. Esta zona parece ser parte de un amplio paso que canaliza y acelera los vientos del noreste. Las elevaciones en el área del paso varían entre 1800 m y 2200 m. En un área de 30 km al este y oeste de este paso, las elevaciones bajan a 1200 m o menos. En la parte central de Oaxaca, las áreas más notables se localizan aproximadamente 40-70 km al este de la ciudad de Oaxaca (cerca de Mitla). Aquí los vientos del noreste parecen acelerarse sobre las relativamente bajas cordilleras al norte y este de Mitla a medida que son desviados alrededor del extremo sur de las montañas altas de la Sierra de Oaxaca. En el sur de Oaxaca, las áreas de altos recursos se localizan aproximadamente de 80-110 km al sur de la ciudad de Oaxaca cerca de Miahuatlán. Los vientos del noreste parecen acelerarse sobre las relativamente bajas cordilleras al sur y oeste de Miahuatlán a medida que se desvían alrededor del extremo oeste de las altas montañas de la Sierra Madre del Sur.

#### **6.4.2 Distribución Estacional del Recurso Eólico**

La distribución estacional exacta del recurso eólico para un sitio en particular de Oaxaca depende de la elevación, su ubicación y su exposición a los flujos de viento dominantes y más fuertes. En la mayor parte de Oaxaca, los lugares que están bien expuestos a los vientos del norte y del noreste tendrán un recurso máximo de octubre a marzo. Como se comentó con anterioridad, casi todos los lugares con un recurso eólico bueno a excelente en Oaxaca cuentan con una buena exposición a estos vientos y tienen el máximo recurso eólico durante este periodo. Estos lugares incluyen las áreas de viento del Istmo y cordilleras específicas así como otras zonas de Oaxaca donde los vientos del noreste se canalizan o realzan.

El mejor conjunto de datos a largo plazo para caracterizar la distribución estacional del flujo de vientos libres sobre Oaxaca son los datos de reanálisis, los cuales se incluyen en el Apéndice C para cinco áreas de Oaxaca. Según se aprecia en las gráficas de los datos de reanálisis, las mayores velocidades de vientos libres promedio en los 600 m más bajos sobre el nivel del suelo se presentan de octubre a marzo siendo los vientos más fuertes y más dominantes los de noreste a norte durante estos meses.

En la región con recurso eólico del Istmo, el mejor conjunto de datos a largo plazo para caracterizar la distribución estacional de los vientos superficiales son los datos satelitales del viento oceánico. La Figura 6.4 muestra la distribución estacional de la media mensual de la velocidad y de la densidad de la potencia del viento según los datos medidos de 1988 al año 2002, para un área costa afuera localizada aproximadamente 50 km al sur de Santa María del Mar. Los meses de octubre a marzo cuentan con el promedio más alto de potencia del viento, con valores mayores a  $600 \text{ W/m}^2$  a una altura de 10 metros. Los meses de potencia pico del viento son diciembre, enero y febrero, cuando los valores exceden  $1200 \text{ W/m}^2$ . La temporada baja de potencia del viento es de abril a septiembre, ocurriendo los valores más bajos en mayo y junio. Sin embargo, incluso durante los meses de bajos vientos, el recurso es razonablemente bueno.

NREL seleccionó cuatro sitios de medición tierra adentro que contaban con varios años de datos para evaluar cuán bien los datos costa afuera pudieran representar los patrones estacionales en lugares con recurso eólico del Istmo. La Figura 6.5 muestra una comparación de las relaciones

costa afuera y costa adentro de las velocidades normalizadas del viento (estacionales/ anuales). No había valores mensuales disponibles para los sitios terrestres, por lo que sólo se pudo presentar el promedio estacional. Los resultados indican que la distribución estacional del recurso eólico para sitios terrestres con viento en el Istmo puede caracterizarse bien por los datos marinos.

La Figura 6.6 muestra por qué los meses individuales de un solo año pueden no ser confiables para caracterizar la distribución mensual o estacional del recurso eólico. Para cada mes los triángulos muestran los valores de la potencia del viento de cada uno de 15 meses. La potencia del viento para un mes individual puede desviarse considerablemente del promedio de 15 años de la potencia del viento para dicho mes. La potencia del viento para cada año puede también desviarse de manera significativa de la potencia promedio del viento a largo plazo. La Figura 6.7 indica que la potencia del viento de años individuales puede desviarse hasta 20% del promedio a largo plazo. Creemos que para la región del Istmo, estos datos costa afuera podrían utilizarse para identificar años anómalos de recurso eólico y para ayudar a ajustar o interpretar los datos de años individuales o periodos a corto plazo de datos de medición de sitios.

En áreas de la costa del centro sur de Oaxaca, el máximo recurso eólico se presenta de marzo a mayo cuando los fuertes vientos con brisa marina soplan durante la tarde. La dirección predominante del viento es del sur (todo el año), presentándose los vientos más fuertes durante marzo, abril y mayo. Se estima que los lugares que están expuestos a estos fuertes vientos del sur (tales como el aeropuerto de Bahías de Huatulco de 1989 a 1991) cuentan con un recurso de Clase 4 durante estos meses y con un recurso de Clase 2 como promedio anual. Los datos disponibles indican que los vientos de brisa marina son significativamente más débiles a lo largo de las áreas del suroeste de la costa y que la distribución estacional del recurso eólico es menos pronunciada.

### **6.4.3 Distribución Diurna de la Velocidad del Viento**

La distribución diurna de la velocidad del viento (o velocidad del viento contra hora del día) es influenciada por la elevación del sitio, la topografía y la exposición directa a los flujos de los vientos predominantes. La distribución en los sitios de bajo recurso eólico en las zonas bajas del interior de Oaxaca típicamente presenta una velocidad máxima del viento durante la tarde y una velocidad mínima durante la noche. Las más grandes variaciones diurnas y las más altas velocidades del viento por la tarde ocurren durante los meses de marzo y abril en la mayoría de los lugares.

Ocurren variaciones diurnas bastante amplias en las áreas de la costa centro sur, como lo indican los datos eólicos del aeropuerto de Bahías de Huatulco (Apéndice A). Fuertes vientos de brisa marina del sur ocasionan velocidades del viento de un promedio de 6.0 a 7.5 m/s entre el mediodía y las 5 de la tarde hora local. Estos vientos de brisa marina son más fuertes de marzo a mayo, con un promedio de 7.5 a 8.5 m/s y más débiles de junio a octubre, con un promedio de 5.0 a 6.5 m/s. Los vientos se hacen ligeros y con frecuencia son calmados durante la gran mayoría de la noche y las primeras horas de la mañana. Por consecuencia, incluso durante la tarde el recurso eólico es de bueno a excelente (promedio anual de Clases 4-6), el recurso eólico global es sólo de Clase 2 debido a las muy bajas velocidades del viento durante la noche y en las primeras horas de la mañana. Más hacia el oeste a lo largo de la costa, la brisa marina parece ser significativamente más débil, según se indica en los datos de Puerto Escondido. En Puerto Escondido se presenta

una brisa terrestre durante las primeras horas de la mañana, pero parece tener apenas un promedio de entre 4 y 5 m/s.

El patrón diurno en los sitios con mayor recurso eólico de la región del Istmo es relativamente plana. La amplitud es sólo de aproximadamente 1 m/s en lugares con Clase 7, presentándose el recurso máximo generalmente de media mañana a la tarde. Sin embargo, durante los meses con más viento (noviembre a febrero), el recurso eólico en ocasiones es ligeramente mayor en la noche que durante el día. Durante los meses de menor recurso eólico de abril a septiembre, es típico que se presenten amplitudes diurnas ligeramente mayores y las máximas durante el día. En los lugares del Istmo que cuentan con un menor recurso, tales como la estación meteorológica de Salina Cruz, se presentan amplitudes diurnas mayores de 2 a 3 m/s debido a que los efectos estabilizantes reducen las velocidades nocturnas del viento.

Desafortunadamente, no hubo datos de medición del viento de alta calidad para cumbres expuestas de la cordillera o de áreas de las regiones oeste y central de Oaxaca que se estima que cuentan con un recurso eólico bueno a excelente. En general, los lugares expuestos en las cumbres de las cordilleras con frecuencia tienen máximas nocturnas de velocidad del viento y una mínima cerca del mediodía.

#### **6.4.4 Distribución de la Frecuencia de la Dirección del Viento**

Las direcciones dominantes del viento se ven fuertemente influenciadas por la topografía, la elevación y la exposición directa a los flujos predominantes del viento. En áreas con viento a bajas elevaciones de la región del Istmo, los vientos fuertes dominantes provienen del norte durante todo el año. En lugares elevados que están expuestos a vientos libres, tales como los sitios en las cumbres de las cordilleras de 500 a 1000 m sobre el nivel del mar, los vientos fuertes dominantes provienen del noreste. De marzo a mayo, los vientos del oeste son tan frecuentes como los vientos del noreste pero no tan fuertes. Los estimados de la distribución de la frecuencia de la dirección del viento para características de terreno elevado se basan en datos de reanálisis de niveles superiores del aire, puesto que no había datos disponibles de sitios de terreno elevado.

En las zonas de la costa de las partes central y oeste de Oaxaca, los flujos de vientos terrestres y de brisa marina prevalecen en la mayoría de las áreas. Durante el día, las direcciones dominantes de los vientos son generalmente del sur o suroeste (vientos de brisa marina). Por la noche, las direcciones dominantes del viento son desde el norte (noreste a noroeste). Las características topográficas y las orientación del litoral influyen la fuerza y direcciones exactas de los flujos de brisa marina y terrestre.

En las cuencas y valles de las regiones centro y oeste de Oaxaca, las direcciones dominantes del viento se ven fuertemente influenciadas por la topografía local y por las condiciones de estabilidad atmosférica. Las áreas generalmente cuentan con un bajo recurso eólico y los vientos frecuentemente son ligeros y variables, particularmente durante la noche cuando con frecuencia existen condiciones de calma en muchas áreas. En las áreas expuestas con buen recurso eólico, tales como pasos y cordilleras, los vientos dominantes por lo general son del noreste.

#### **6.4.5 Confirmación de los Estimados de Recurso Eólico**

Comparamos los estimados del recurso eólico de los mapas con mediciones reales en 10 lugares de la región del Istmo donde la CFE y otras organizaciones habían recolectado recientemente datos en torres dentro de un rango de 30 a 60 metros de altura. Elegimos estos 10 lugares debido a que los datos recolectados en estos sitios parecieron ser de suficiente calidad para permitir una comparación razonable entre los valores mapeados y medidos. Aunque hubo datos disponibles para 20 lugares, muchos de los lugares que no fueron utilizados no tenían datos adecuados debido a que los periodos de recolección de datos fueron breves o a que había periodos considerables sin datos. Algunos de los sitios utilizados sólo tuvieron un año de datos de medición, lo cual es insuficiente para resolver dudas sobre la variabilidad de un año a otro. Estos factores ocasionaron que las conclusiones del estudio fueran hasta cierto punto vagas pero útiles. Los resultados de este estudio se resumen en la Tabla 6.2.

La diferencia entre el recurso eólico estimado y la potencia anual del viento en los 10 lugares fue no mayor de una clase de potencia, o aproximadamente el 20%. La Figura 6.8 muestra las tres áreas del Istmo donde se localizaron los sitios de medición. El recurso eólico medido en estos lugares quedó dentro de un rango de una Clase 6 alta a una Clase 7 alta. Como se aprecia en el mapa, se estima en gran medida que estas áreas cuentan con Clase 7, teniendo el área 1 (incluyendo Juchitán) algo de Clase 6. El recurso de Clase 7+ en la región de la costa, incluyendo el área de Santa María del Mar, es también confirmado por los datos satelitales sobre vientos oceánicos. Estos datos indican que el recurso de Clase 7+ se extiende costa afuera cuando menos hasta 50 km al sur de Santa María del Mar.

Aunque CONAGUA proporcionó resúmenes de datos de la velocidad media del viento de aproximadamente 120 estaciones, el análisis realizado por NREL a estos datos indicó que por lo general dichos datos no eran confiables para su uso en la evaluación del recurso eólico. Por ejemplo, ocho estaciones de CONAGUA se localizan en la región del Istmo que se estima que cuenta con un recurso de Clase 4 y mayor. Sin embargo, las velocidades medidas del viento en las estaciones de CONAGUA son bastante bajas, incluso en áreas que se estima que cuentan con un excelente recurso eólico. Las obstrucciones locales (tales como edificios y árboles) alrededor de estas estaciones son la causa probable de las bajas velocidades del viento. Sólo una de las ocho estaciones reportaron una velocidad del viento media anual mayor de 4 m/s (Santa María del Mar, la cual reportó una velocidad media de 5 m/s). Las velocidades medias anuales del viento en las otras siete estaciones variaron de apenas 2.2 a 3.7 m/s. La estación de Juchitán tuvo la más baja velocidad media anual del viento, tan solo 2.2 m/s. Estos datos de Juchitán indicarían un recurso de apenas Clase 1 (pobre) para un área que en el mapa eólico es estimada como Clase 6 (excelente). La mayoría de las alturas reportadas de anemómetros fueron de aproximadamente 7 m sobre el nivel del suelo, pero no se proporcionó información sobre la exposición de los anemómetros con respecto a las inmediaciones circundantes, tales como edificios, árboles u otras obstrucciones del flujo del viento. A esta altura de anemómetros (7 m), los sitios expuestos de áreas con buen recurso eólico generalmente tendrían una velocidad media del viento de cuando menos 5 m/s. Estudios previos hechos por NREL, particularmente para México (Schwartz y Elliott, 1995), han demostrado que las velocidades del viento medidas en anemómetros localizados en pueblos y ciudades son sustancialmente menores que aquellas medidas en aeropuertos cercanos. Las obstrucciones locales tales como edificios y árboles reducirán de manera considerable las velocidades medidas del viento, especialmente a alturas bajas de medición de tan solo 5 a 10 metros (lo cual es típico en estaciones meteorológicas).



**Tabla 6.2. Comparación del Recurso Eólico**

Nombre de la Estación	Clase de Potencia del Viento	
	Medida	Mapa
La Venta A	7+	7+
La Venta B	7+	7+
Santo Domingo	7	7
La Mata	7+	7+
La Ventosa A	7	7
La Ventosa B	7	7
La Ventosa C	7-	6-7
Juchitán A	6+	6-7
Juchitán B	6+	6-7
Santa María del Mar	7+	7+

En resumen creemos que los estimados anuales de potencia del viento mostrados en el mapa están dentro de un 20% de los valores medidos en más del 80% de los sitios utilizados en este estudio. Este grado de precisión es comparable con otros proyectos cartográficos y atlas de NREL, por lo que creemos que los mapas de este atlas reflejan la distribución del recurso en Oaxaca.

## **6.5 Resúmenes Regionales del Recurso Eólico**

En este atlas Oaxaca se divide en dos regiones además de una ampliación de la zona sureste del Istmo. La región oeste de Oaxaca se extiende desde la frontera oeste hasta una longitud aproximada de 96° oeste. La región este de Oaxaca cubre el área que abarca desde aproximadamente 96° este hasta la frontera este del estado. Ocurre cierto empalme entre los dos mapas regionales. La ampliación del sureste se centra en el área del Istmo.

### **6.5.1 Este de Oaxaca**

El este de Oaxaca exhibe un amplio rango de características y elevaciones de terreno. Existen planos de baja elevación a lo largo de la mayor parte de la frontera norte, gran parte de la costa del sur y del Istmo de Tehuantepec. En otras áreas de esta región el terreno es bastante accidentado y montañoso. Las elevaciones exceden los 3000 metros en algunas de las montañas más altas de la Sierra Madre del Sur y de la Sierra de Oaxaca localizada en el oeste de esta región. En la parte este, más cerca del área del Istmo, las montañas son más bajas, presentándose las mayores elevaciones generalmente entre 1500 y 2200 metros. Las montañas incluyen la Sierra de Chiapas al este del Istmo y los linderos este de la Sierra Madre del Sur y de la Sierra de Oaxaca al oeste del Istmo. La característica más dominante del este de Oaxaca, desde una perspectiva eólica, es la relativamente amplia área del Istmo que divide estas cadenas montañosas. El Istmo es un canal para los poderosos vientos del norte ocasionados por fuertes gradientes de presión superficial con mayor presión sobre el Golfo de México y menor presión sobre el Océano Pacífico. Las Figuras 6.9 a 6.11 muestran las características políticas, elevación y recurso eólico potencial de esta región.

Las áreas más concentradas con recurso bueno a excelente en esta región se localizan en la parte sur del Istmo de Tehuantepec. Las Figuras 6.12 y 6.13 son ampliaciones de los mapas del recurso eólico, centradas sobre el área del Istmo. La Figura 6.12 muestra las ubicaciones de las principales ciudades, caminos y líneas de transmisión. La Figura 6.13 es un mapa del área a relieve con elevaciones sombreadas. La región con recurso eólico del Istmo se extiende desde la costa hacia el norte aproximadamente 60 km y aproximadamente de 60 a 80 km de este a oeste. Existe un excelente recurso eólico (Clase 5 y mayor) en toda esta región del Istmo. El recurso más alto (Clase 7) se presenta cerca de las colinas (incluyendo La Mata, La Venta y La Ventosa), las cordilleras y la costa.

Se estima que también muchas de las cordilleras y zonas de terreno elevado adyacentes a la región (hasta 100 km al este y oeste del Istmo) cuentan con excelentes recursos eólicos, pero muchos de estos sitios presentarían dificultades de desarrollo debido a su accidentado terreno y difícil acceso. Las áreas elevadas con mejor recurso son generalmente las cordilleras más bajas y particularmente las crestas o espolones que tienen 500 a 1000 metros de elevación. Por ejemplo, se estima que las crestas localizadas al norte y noreste de Santo Domingo tienen un recurso de Clase 7. De manera similar, se estima que las cordilleras localizadas al noroeste y suroeste de Ixtapec y al oeste de Salina Cruz cuentan con un excelente recurso eólico.

### **6.5.2 Oeste de Oaxaca**

El Oeste de Oaxaca también consiste de un amplio rango de características y elevaciones de terreno. La mayoría del oeste de Oaxaca consiste de terreno accidentado o montañoso con algunas cuencas y valles de alta elevación. Las elevaciones exceden los 3000 metros en algunas de las montañas más altas de la Sierra Madre del Sur y de la Sierra de Oaxaca. Muchas de las cuencas y valles tienen una elevación de 1200 a 2000 metros. Existen planicies y valles de poca elevación a lo largo de gran parte del área sur de la costa y cerca de la frontera norte con el estado de Veracruz. Las Figuras 6.14 a 6.16 muestran las características políticas, elevación y potencial recurso eólico de esta región.

Las áreas específicas con un recurso eólico estimado como bueno a excelente se localizan en las partes noroeste, este y sur de esta región. Se estima que las mejores áreas son aquellas donde las características del terreno canalizan y/o aceleran los vientos del noreste. En el noroeste de Oaxaca, se localizan áreas de recursos altos notables al este y norte de Huajuapán de León. El área más concentrada de recursos de Clase 4 y Clase 5 es un área de planicies y colinas en las inmediaciones de Santiago Chazumba, aproximadamente 50 km al norte de Huajuapán de León. Esta área parece ser parte de un amplio paso que canaliza y acelera los vientos del noreste. En el área central de Oaxaca, las áreas más notables se localizan aproximadamente 40-70 km al este de la ciudad de Oaxaca (cerca de Mitla). Aquí los vientos del noreste parecen acelerarse sobre las relativamente bajas cordilleras al norte y este de Mitla a medida que son desviados alrededor del extremo sur de las montañas altas de la Sierra de Oaxaca. En el sur de Oaxaca, las áreas de altos recursos se localizan aproximadamente de 80-110 km al sur de la ciudad de Oaxaca cerca de Miahuatlán. Los vientos del noreste parecen acelerarse sobre las relativamente bajas cordilleras al sur y oeste de Miahuatlán a medida que se desvían alrededor del extremo oeste de las altas montañas de la Sierra Madre del Sur.

# Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca,  
Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



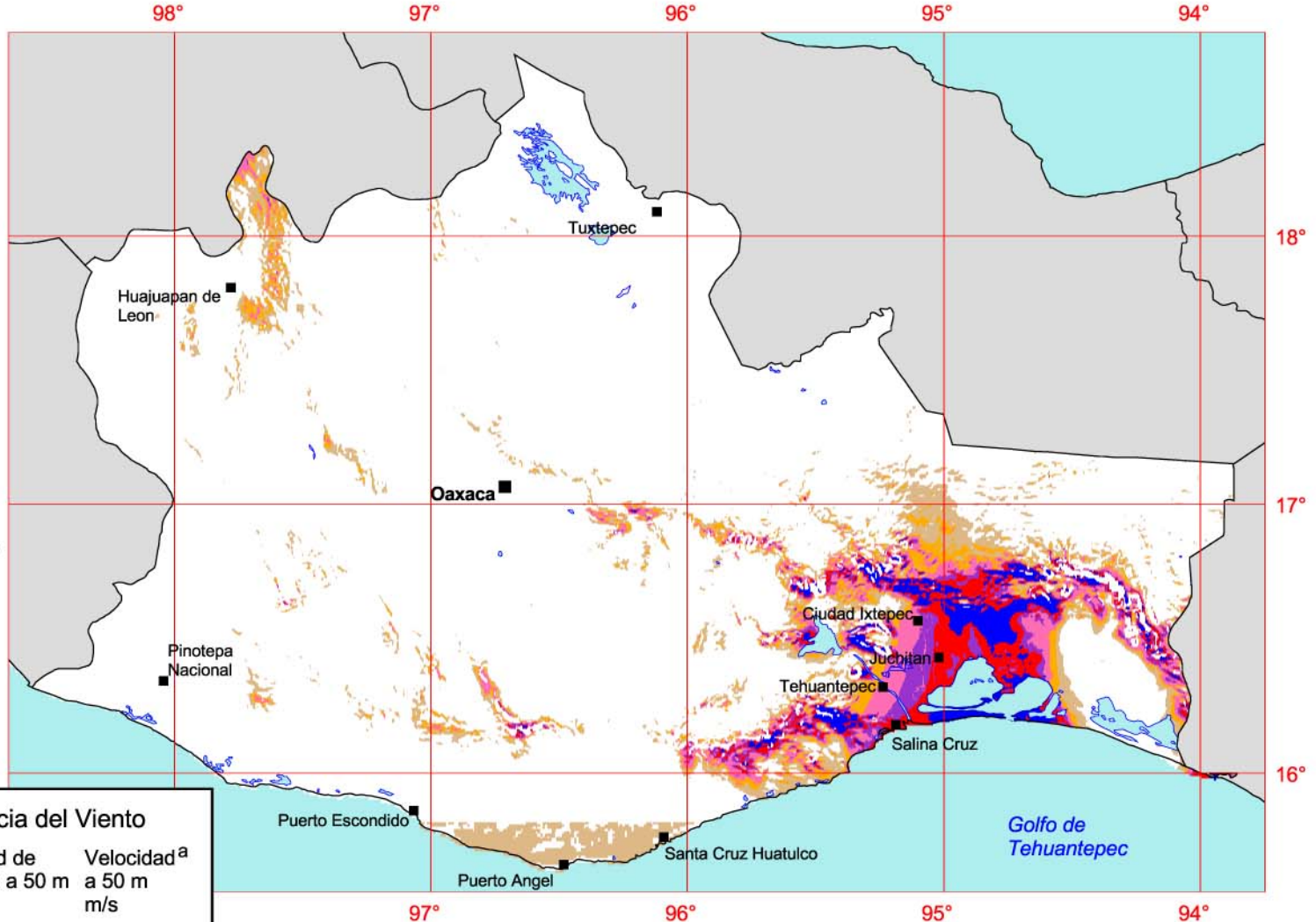
Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



## Clasificación de la Potencia del Viento

Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Buena	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

### Leyenda

■ Poblado o ■ Capital

50 0 50 100 150 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

Figura 6-1

# Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca,  
Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



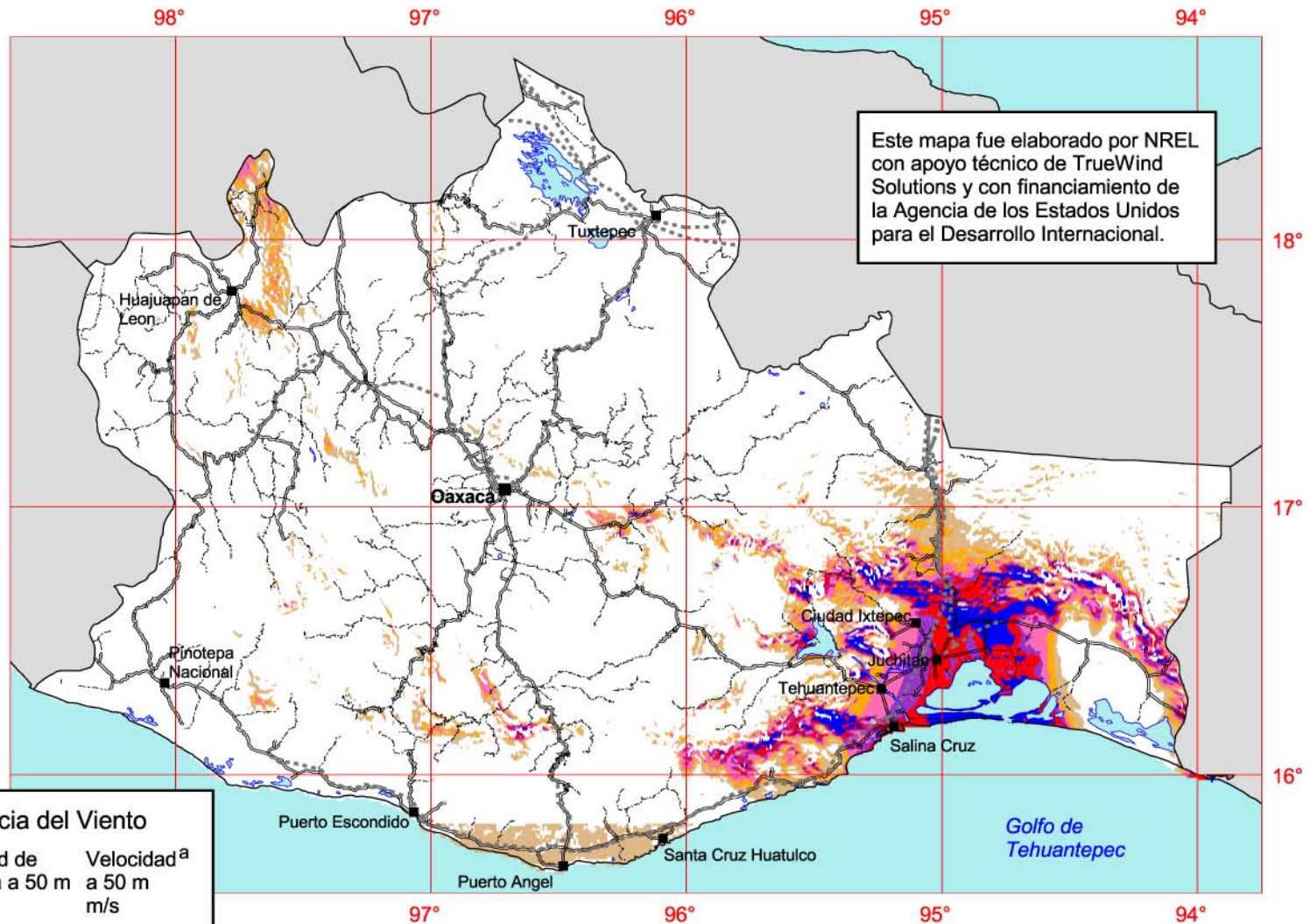
Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

## Clasificación de la Potencia del Viento

Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Bueno	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

## Leyenda

- Poblado o ■ Capital
- Línea de Transmisión
- Camino Pavimentado
- Camino Sin Pavimentar

50 0 50 100 150 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

Figura 6-2



# Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca,  
Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



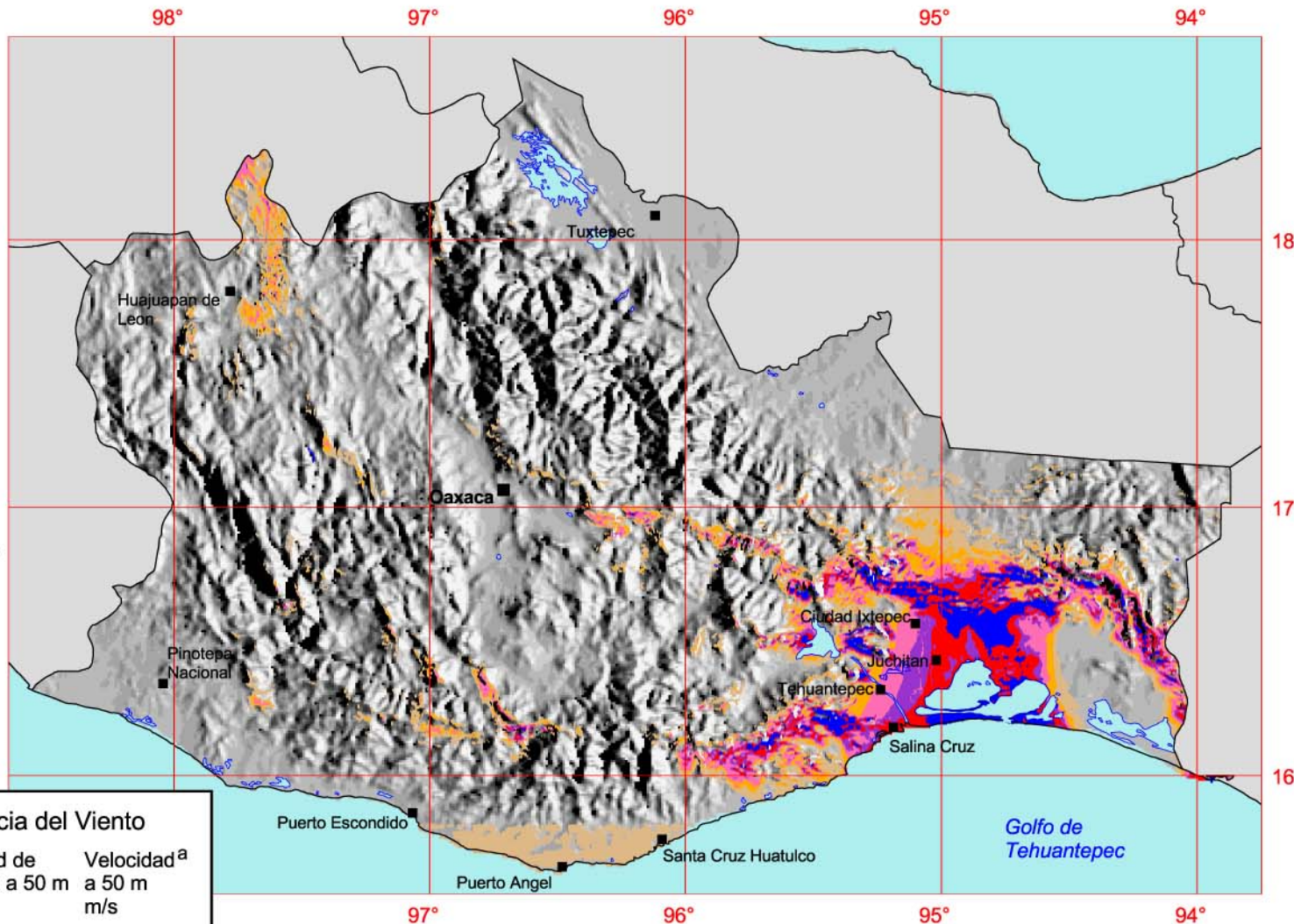
Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



## Clasificación de la Potencia del Viento

Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Buena	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

## Leyenda

■ Poblado o ■ Capital

50 0 50 100 150 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

20-APR-2004 1.2.8

Figura 6-3

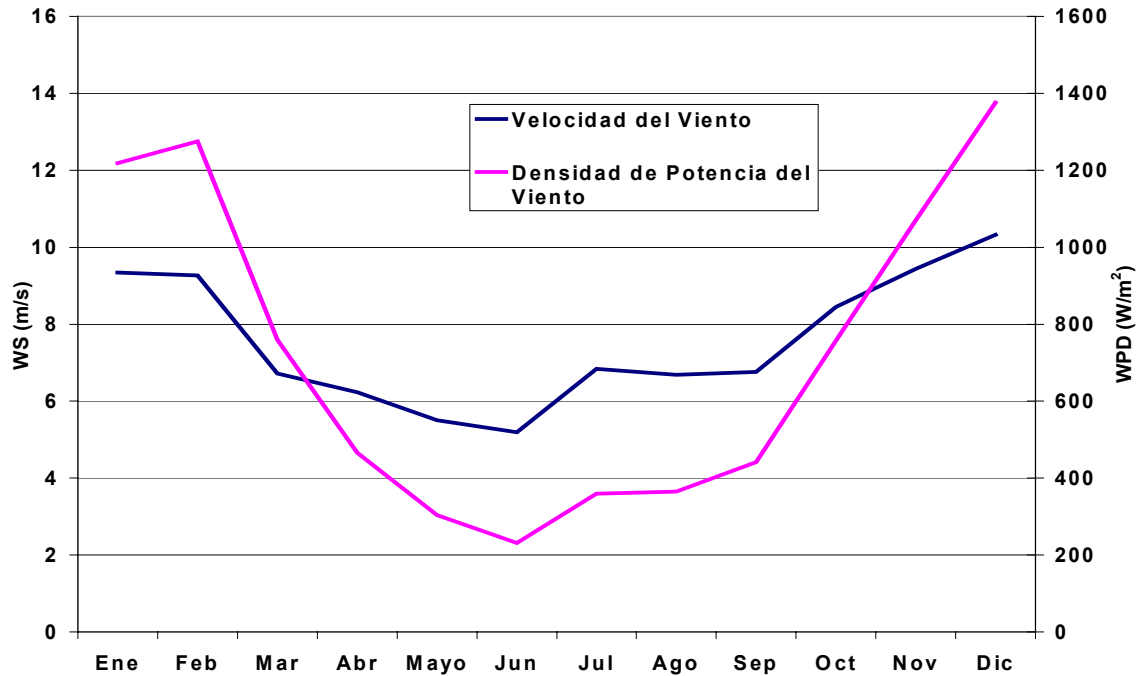


Figura 6.4 Datos Eólicos Satelitales Oceánicos Mensuales para la Región Costa Afuera del Istmo.

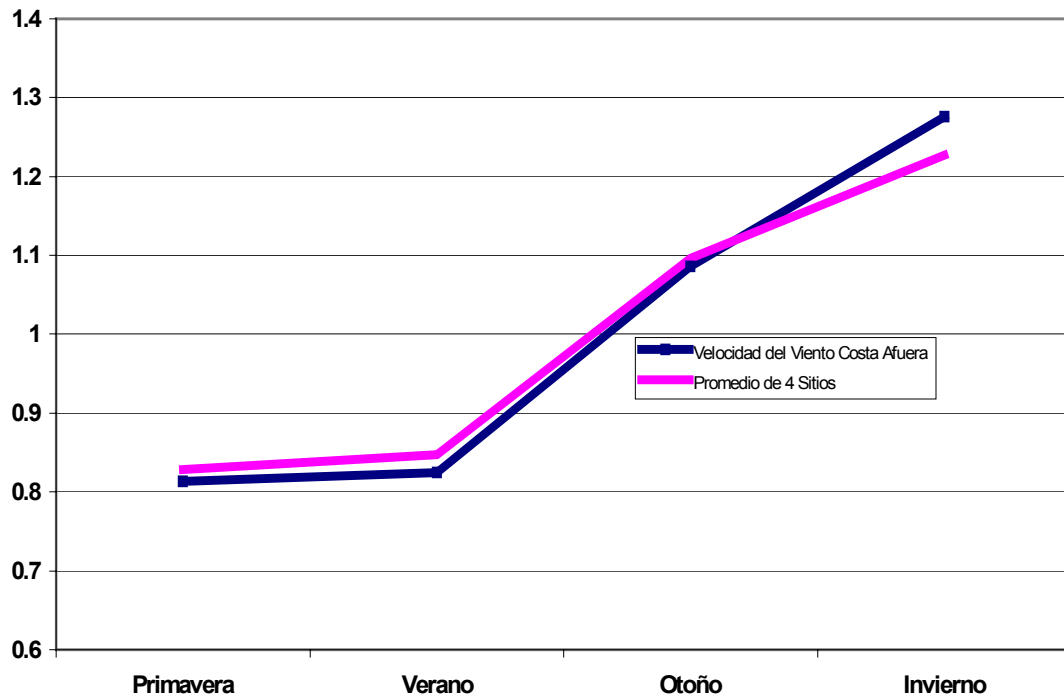


Figura 6.5 Región del Istmo – Comparación de Sitios de Medición y Datos Costa Afuera.

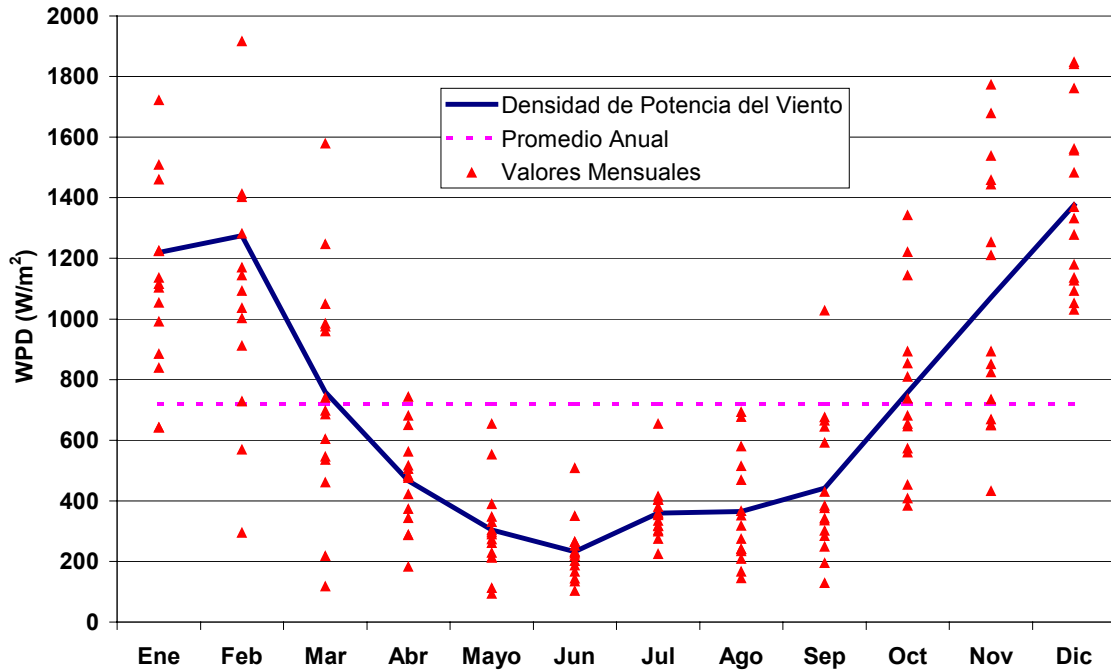


Figura 6.6 Región Costa Afuera del Istmo – Potencia del Viento y Variabilidad Mensual.

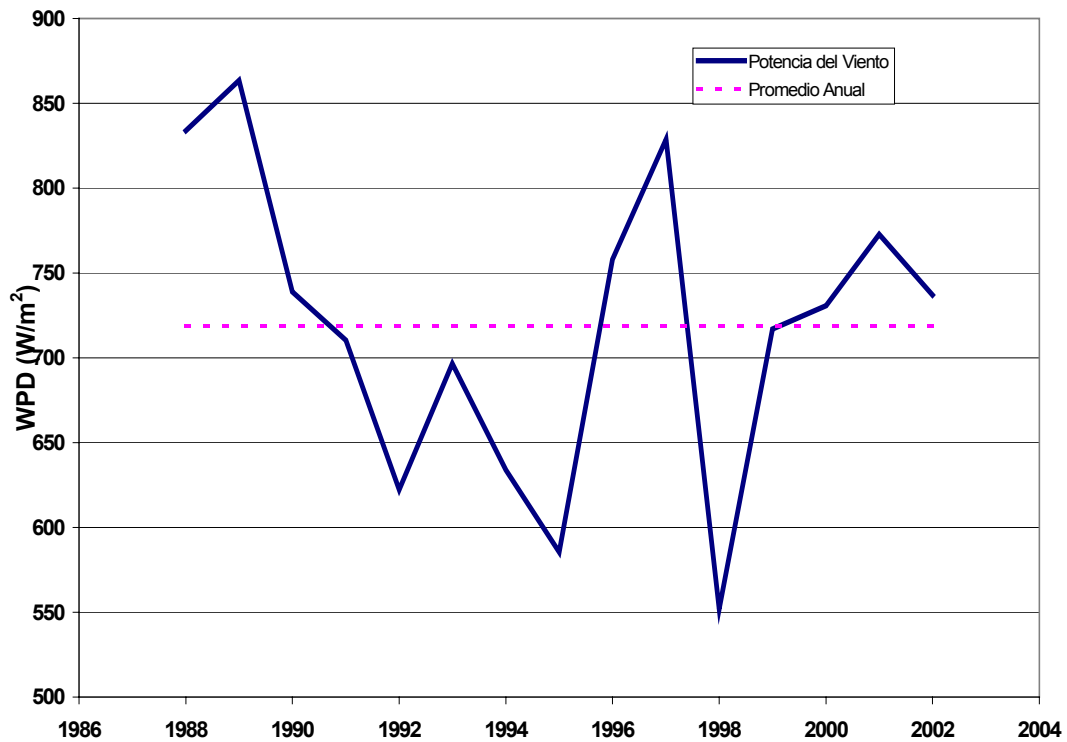


Figura 6.7 Región Costa Afuera del Istmo – Variabilidad Interanual de la Potencia del Viento.



# Ubicaciones de los Datos de Medición para Validación de los Mapas



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



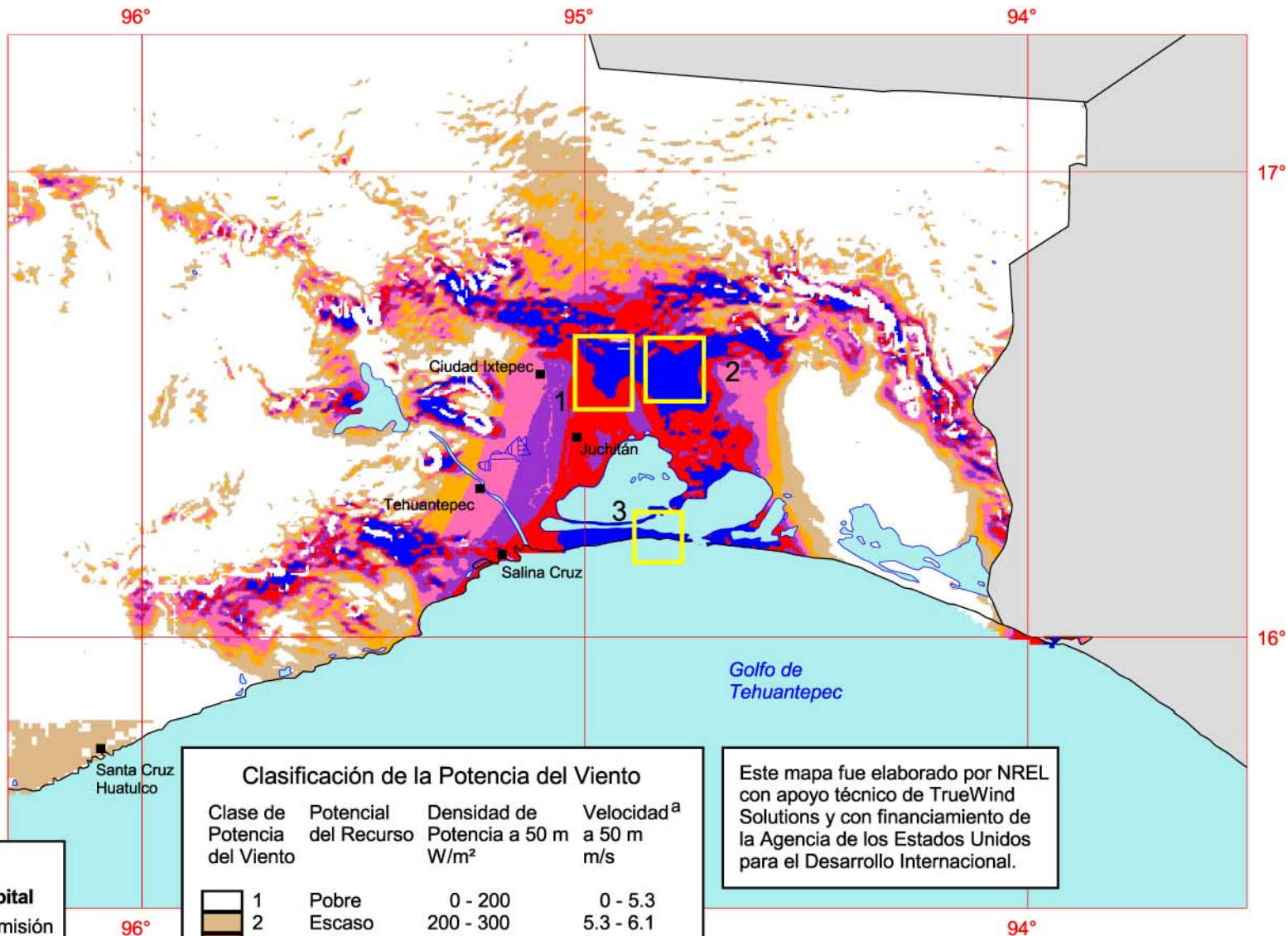
Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



**Leyenda**

- Poblado o ■ Capital
- Línea de Transmisión

**Ubicaciones de Sitios de Medición**

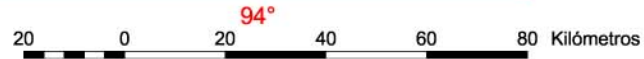
- 1 La Mata - Juchitán
- 2 La Venta - Santo Domingo
- 3 Santa María del Mar

**Clasificación de la Potencia del Viento**

Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Bueno	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.



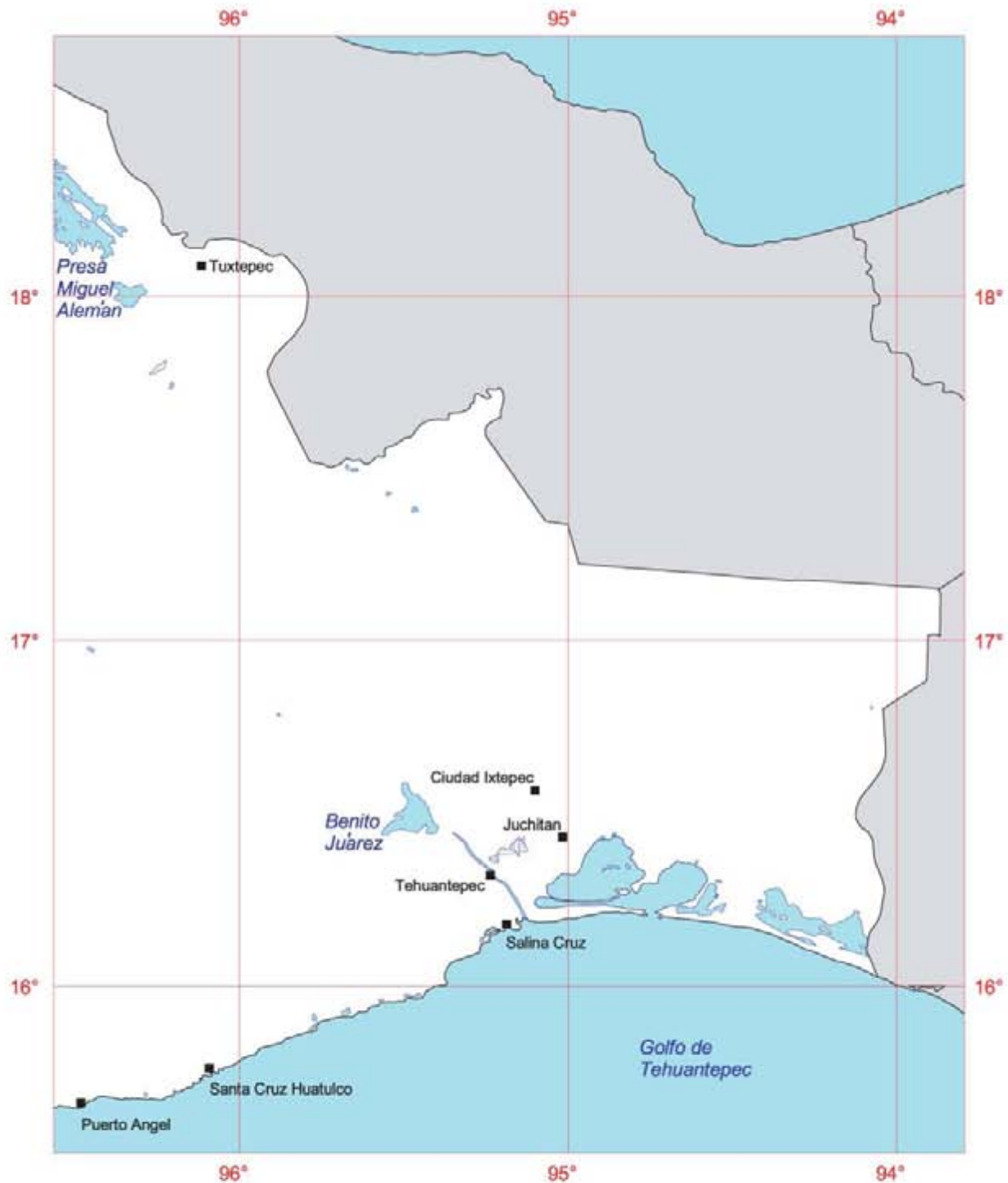
Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable



Figura 6-8



# Este de Oaxaca - Mapa de Cabeceras Políticas



20 0 20 40 60 80 100 Kilómetros

## Leyenda

- Poblado o Capital
- Lago o Laguna



Agencia de los Estados Unidos  
para el Desarrollo Internacional

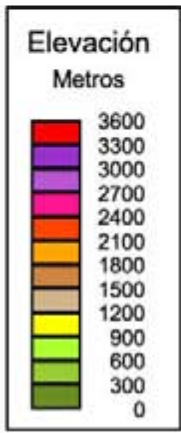
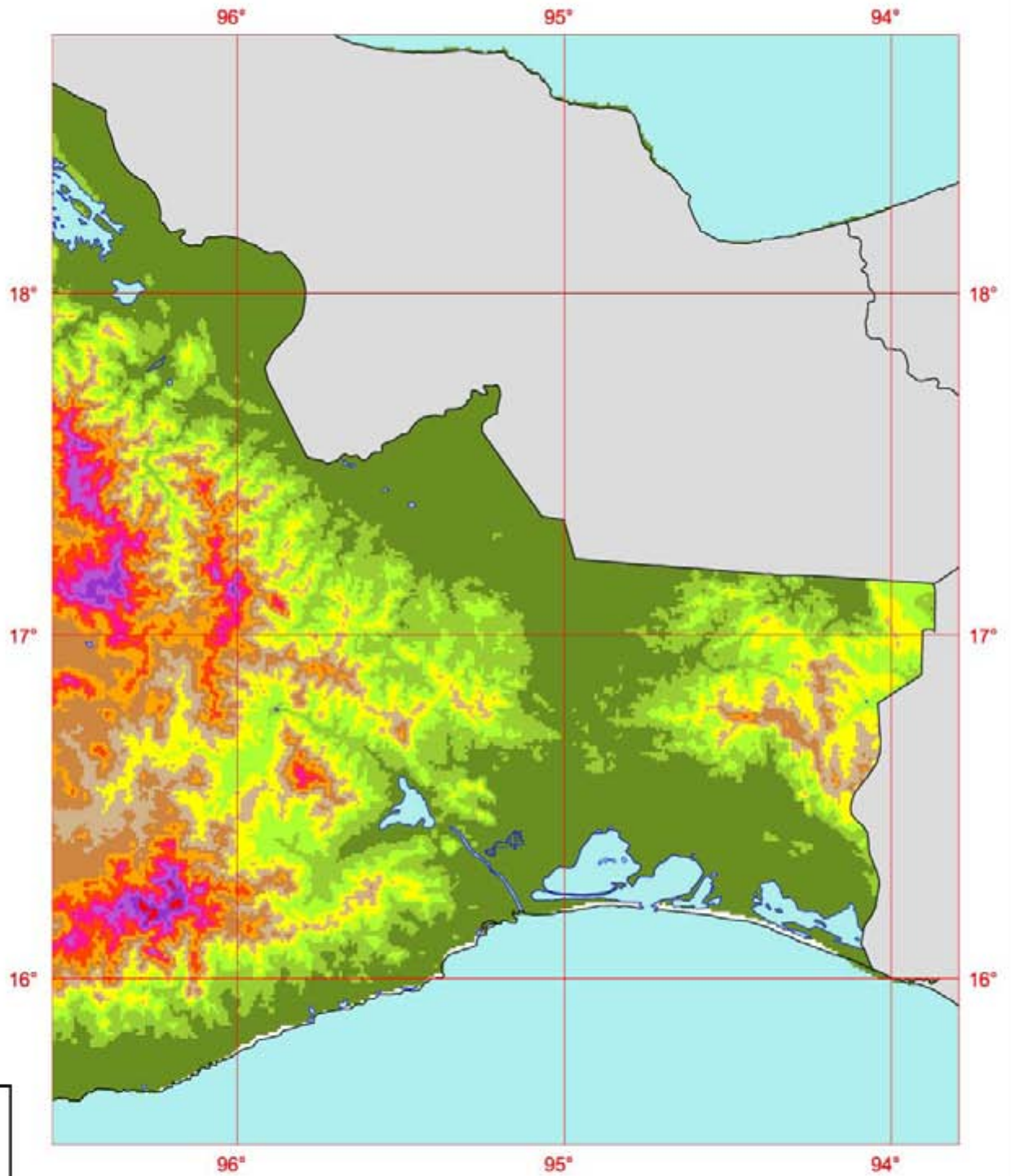


Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

20-APR-2004 2.6.9

Figura 6-9

# Este de Oaxaca - Mapa de Elevaciones



Los valores de elevación se promedian a 1 km<sup>2</sup>.

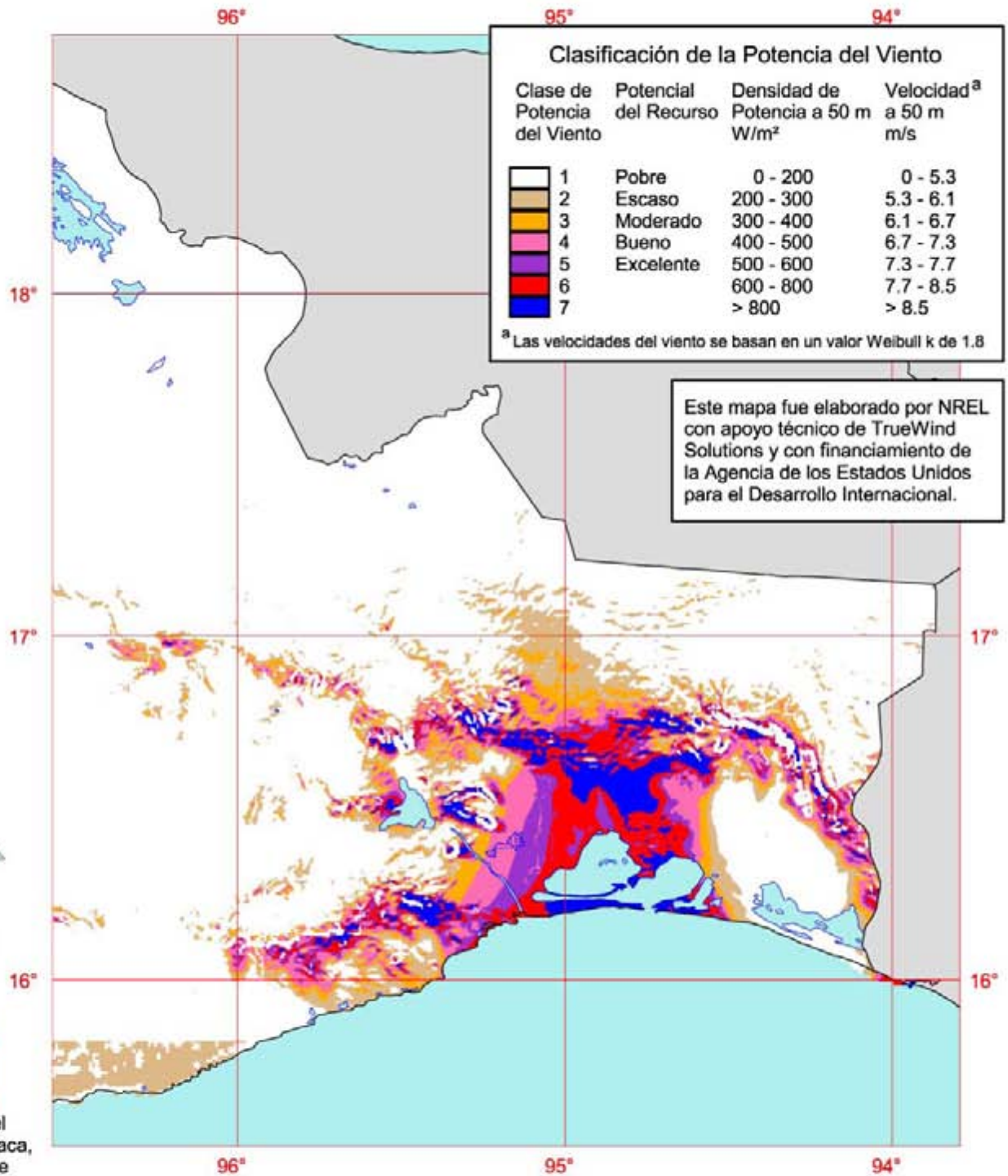


Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable



Figura 6-10

# Este de Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

20 0 20 40 60 80 100 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable

20-APR-2004 2.6.11

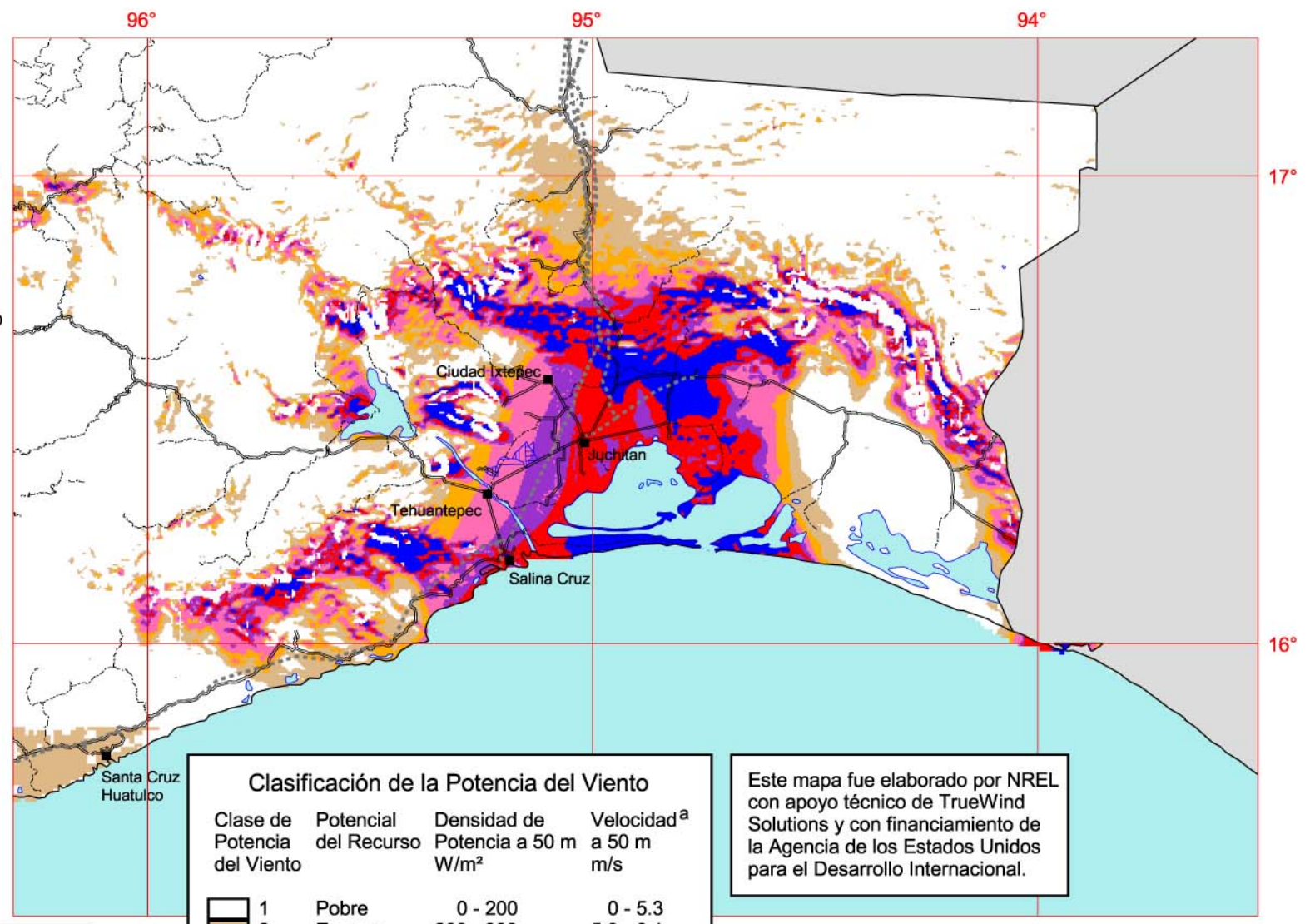
Figura 6-11



# Región del Istmo de Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)  
 Gobierno del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)  
 CFE Comisión Federal de Electricidad  
 Instituto de Investigaciones Eléctricas  
 Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



**Clasificación de la Potencia del Viento**

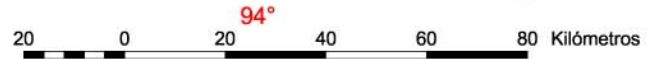
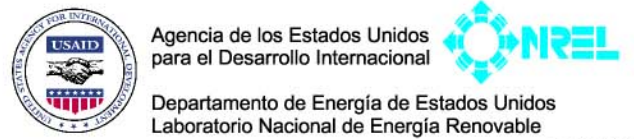
Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Bueno	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

**Leyenda**

- Poblado o ■ Capital
- Línea de Transmisión
- Camino Pavimentado
- Camino Sin Pavimentar

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
 Departamento de Energía de Estados Unidos  
 Laboratorio Nacional de Energía Renovable

Figura 6-12



# Región del Istmo de Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



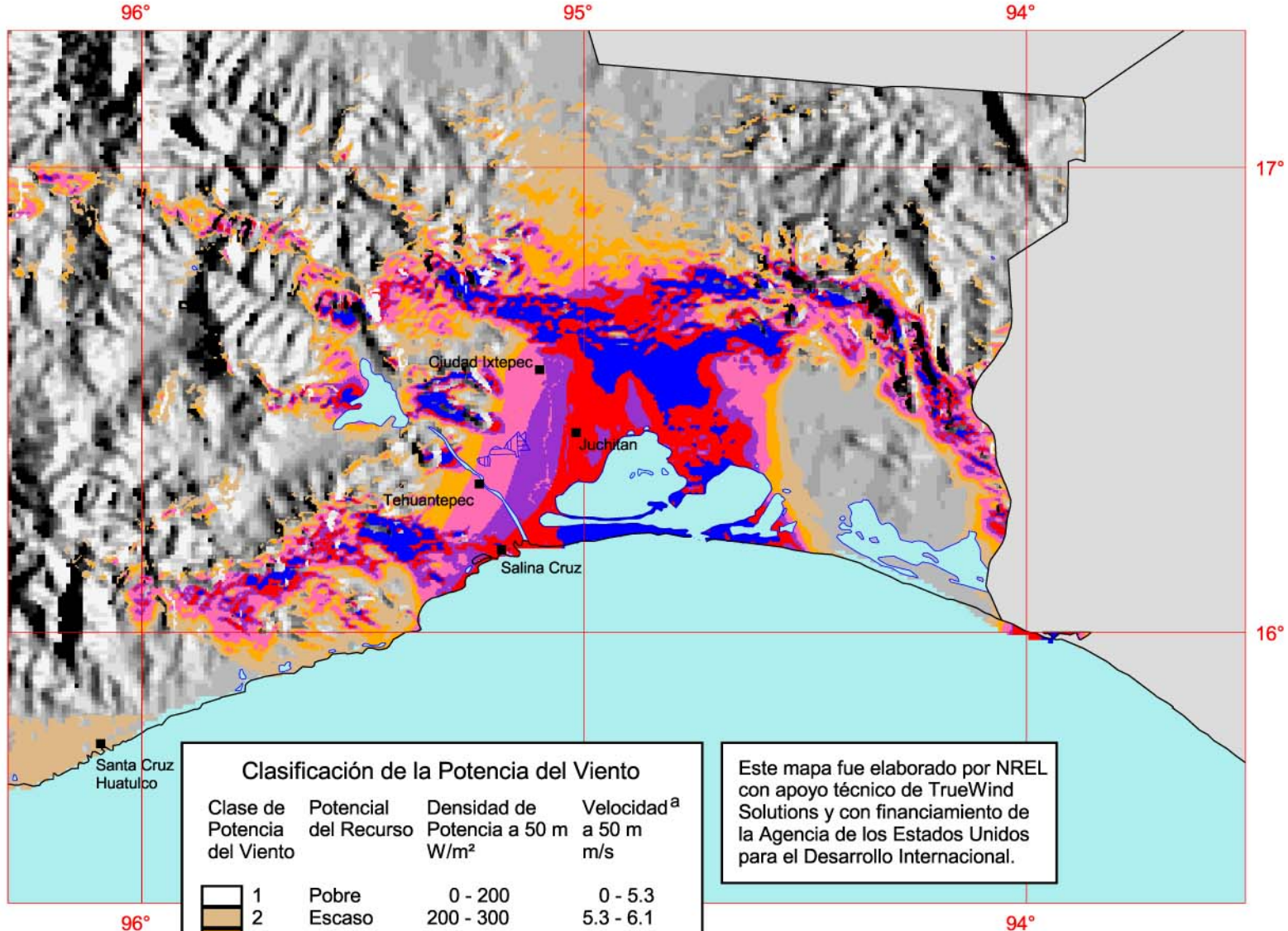
Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



**Leyenda**  
 ■ Poblado o ■ Capital

Clasificación de la Potencia del Viento			
Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Bueno	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.



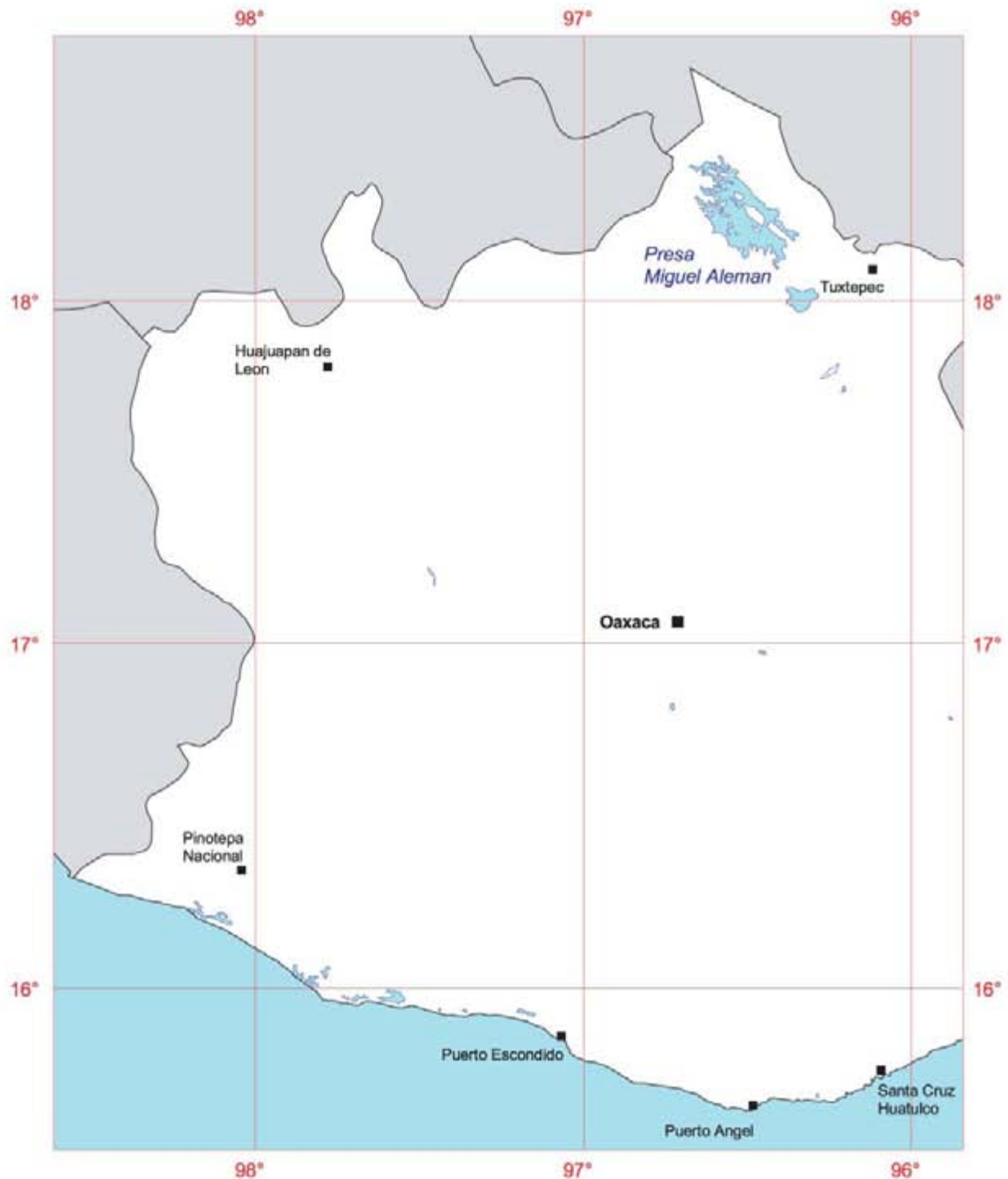
Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos  
 Laboratorio Nacional de Energía Renovable

Figura 6-13

# Oeste de Oaxaca - Mapa de Cabeceras Políticas



**Leyenda**

- Poblado o Capital
- Lago o Laguna

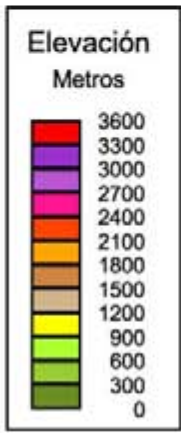
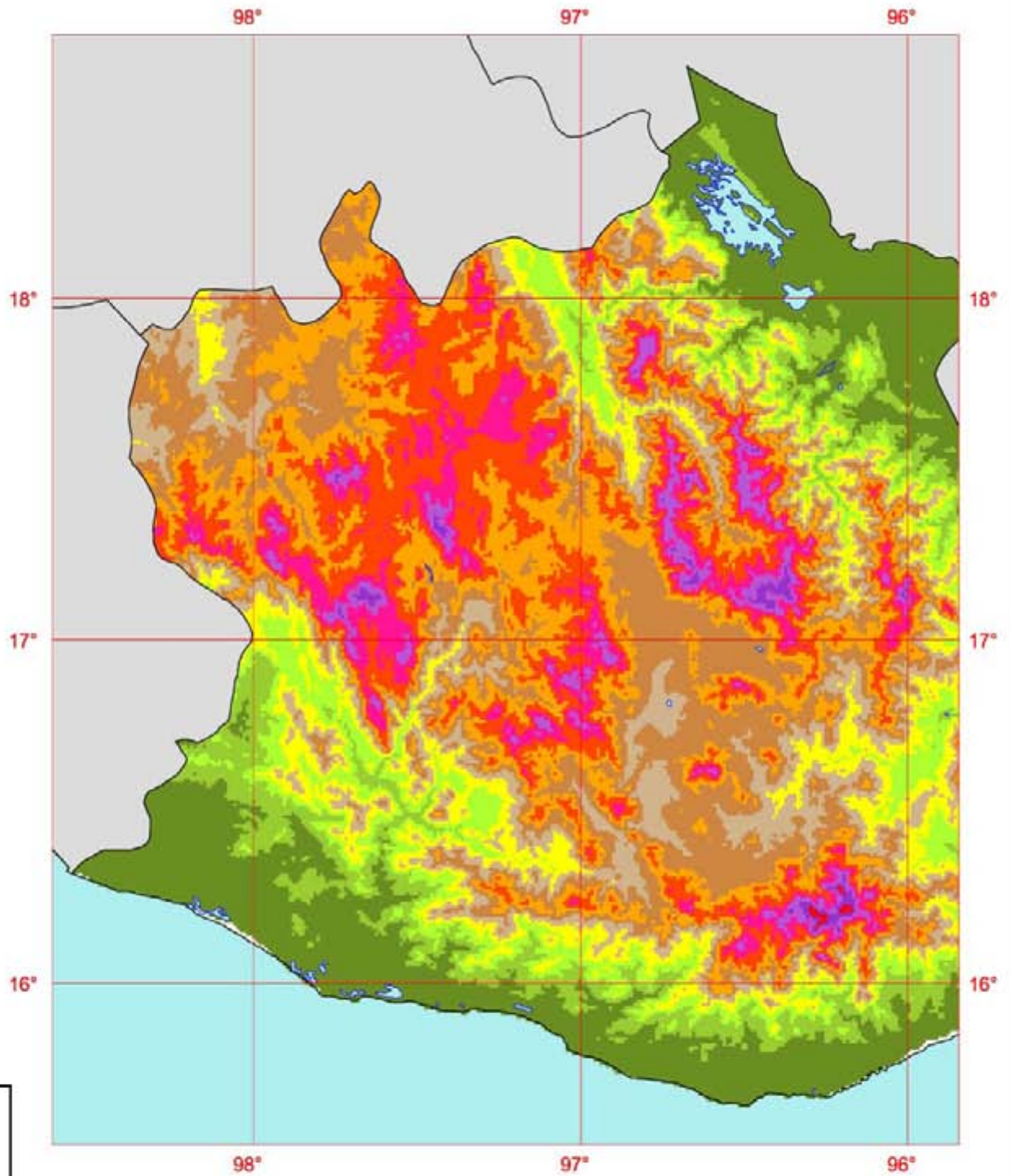
20 0 20 40 60 80 100 Kilómetros

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
Departamento de Energia de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energia Renovable

Figura 6-14



# Oeste de Oaxaca - Mapa de Elevaciones



Los valores de elevación se promedian a 1 km<sup>2</sup>.

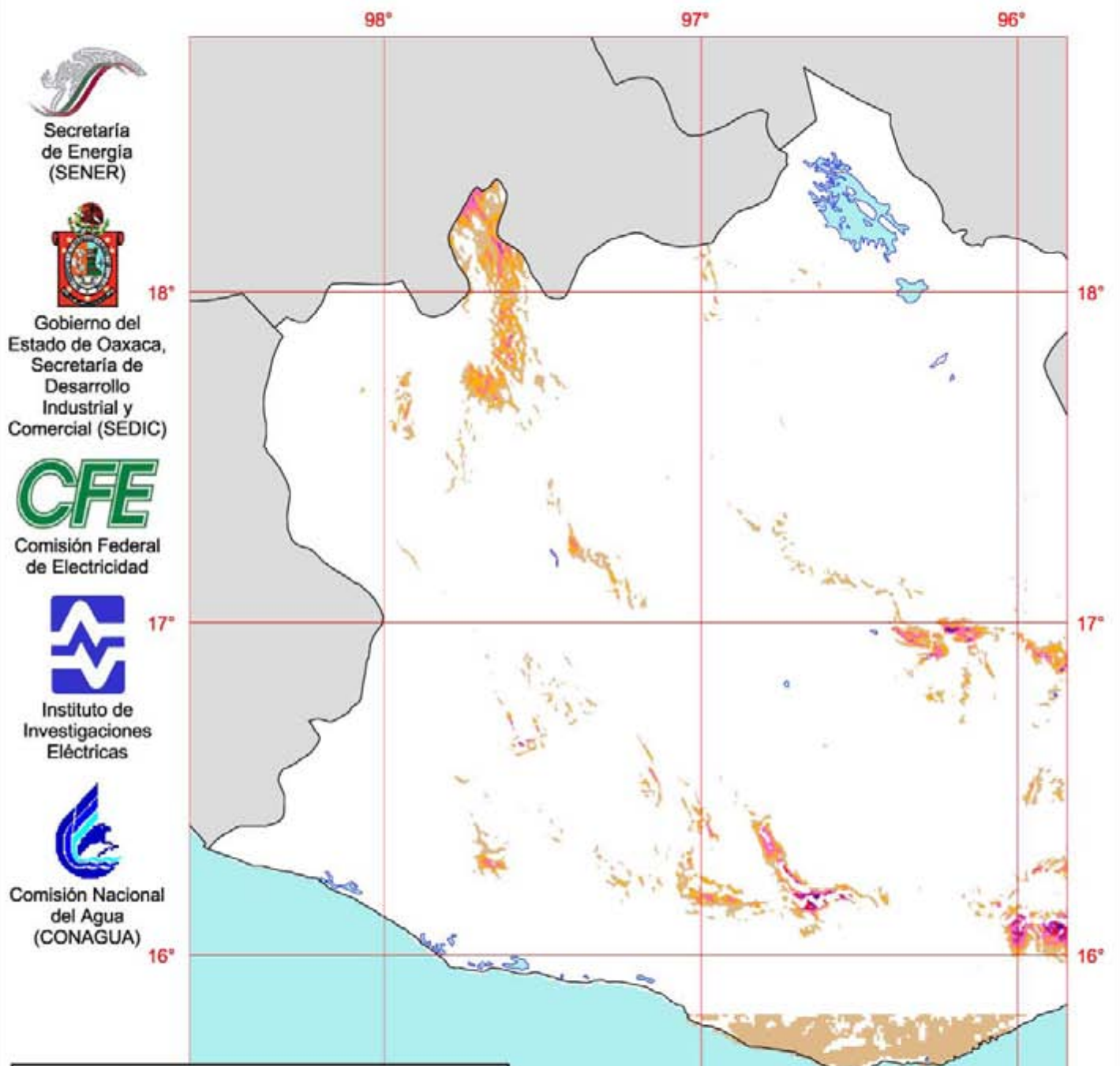


Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional  
Departamento de Energía de Estados Unidos  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable



Figura 6-15

# Oeste de Oaxaca - Mapa de Recursos Eólicos



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)

## Clasificación de la Potencia del Viento

Clase de Potencia del Viento	Potencial del Recurso	Densidad de Potencia a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad <sup>a</sup> a 50 m m/s
1	Pobre	0 - 200	0 - 5.3
2	Escaso	200 - 300	5.3 - 6.1
3	Moderado	300 - 400	6.1 - 6.7
4	Buena	400 - 500	6.7 - 7.3
5	Excelente	500 - 600	7.3 - 7.7
6		600 - 800	7.7 - 8.5
7		> 800	> 8.5

<sup>a</sup> Las velocidades del viento se basan en un valor Weibull k de 1.8

Este mapa fue elaborado por NREL con apoyo técnico de TrueWind Solutions y con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

20 0 20 40 60 80 100 Kilómetros



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Departamento de Energía de Estados Unidos Laboratorio Nacional de Energía Renovable

Figura 6-16



## **7.0 Potencial Eléctrico del Viento**

### **7.1 Introducción**

Las clasificaciones del recurso eólico de la Tabla 7.1 corresponden a las que aparecen en los mapas eólicos de Oaxaca. La capacidad instalada de la tabla representa el potencial neto eléctrico del viento no reducido por factores tales como exclusiones del uso del suelo. Los métodos para convertir el recurso eólico en potencial eoloeléctrico son los utilizados regularmente por NREL. Los supuestos utilizados para los cálculos del potencial del viento se incluyen al final de la Tabla 7.1.

A cada kilómetro cuadrado con código de color del mapa se le asigna una densidad de potencia del viento anual a los 50 metros de altura expresada en unidades de  $W/m^2$ . NREL utiliza una fórmula sencilla para calcular la capacidad instalada potencial para celdas de la cuadrícula con una densidad anual de potencia del viento de  $300 W/m^2$  y mayor. Si la densidad de potencia del viento de una celda de cuadrícula era menor a  $300 W/m^2$ , entonces la capacidad potencial instalada se estableció en cero. Otro escenario presentado en esta sección incluyó únicamente aquellas celdas con una densidad de potencia anual promedio de  $400 W/m^2$  y mayor.

### **7.2 Estimados del Potencial Eléctrico del Viento**

Estimamos que existe una superficie aproximada de  $6600 km^2$  con un potencial de recurso eólico bueno a excelente en Oaxaca. Se considera que aproximadamente  $4400$  de los  $6600 km^2$  de terreno con viento tienen un excelente potencial de recurso eólico. La proporción de terreno con viento y capacidad de viento potencial en cada categoría de potencia del viento se indica en la Tabla 7.1. Este terreno con viento representa más del 7% de la superficie total (no incluyendo las lagunas) de  $91,500 km^2$ . Usando un supuesto conservador de  $5 MW$  por  $km^2$ , este terreno con viento podría alojar más de  $33,000 MW$  de capacidad instalada potencial. Se requieren estudios adicionales para evaluar con precisión el potencial eléctrico del viento, considerando factores tales como la red de transmisión existente y la accesibilidad.

Si se consideran áreas adicionales con un potencial moderado de recurso eólico (o bueno para aplicaciones de electrificación rural), la superficie total estimada con viento (según se indica en la Tabla 7.1) aumenta a más de  $8800 km^2$ , o casi 10% de la superficie terrestre total de Oaxaca. Esta cantidad de terreno con viento podría alojar más de  $44,000 MW$  de capacidad instalada.

**Tabla 7.1 Oaxaca – Potencial Eléctrico del Viento**

**Recurso Eólico Bueno a Excelente a 50 metros**

Recurso Eólico a Escala Comercial	Clase de Viento	Potencia del Viento a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad del Viento a 50 m m/s*	Superficie Total en km <sup>2</sup>	Porcentaje de Terreno con Viento	Capacidad Instalada Total en MW
Bueno	4	400 – 500	6.7 – 7.3	2,263	2.5	11,300
Excelente	5	500 – 600	7.3 – 7.7	1,370	1.5	6,850
Excelente	6	600 – 700	7.7 – 8.5	1,756	1.9	8,800
Excelente	7	> 800	> 8.5	1,248	1.4	6,250
<b>Total</b>				<b>6,637</b>	<b>7.3</b>	<b>33,200</b>

**Recurso Eólico Moderado a Excelente a 50 metros (Escala Comercial)**

Recurso Eólico a Escala Comercial	Clase de Viento	Potencia del Viento a 50 m W/m <sup>2</sup>	Velocidad del Viento a 50 m m/s*	Superficie Total en km <sup>2</sup>	Porcentaje de Terreno con Viento	Capacidad Instalada Total en MW
Moderado	3	300 – 400	6.1 – 6.7	2,234	2.4	11,150
Bueno	4	400 – 500	6.7 – 7.3	2,263	2.5	11,300
Excelente	5	500 – 600	7.3 – 7.7	1,370	1.5	6,850
Excelente	6	600 – 700	7.7 – 8.5	1,756	1.9	8,800
Excelente	7	> 800	> 8.5	1,248	1.4	6,250
<b>Total</b>				<b>8,870</b>	<b>9.7</b>	<b>44,350</b>

\* Las velocidades del viento se basan en una elevación de 2000 metros y un valor Weibull k de 2.0

**Supuestos**

Capacidad instalada por km<sup>2</sup> = 5 MW

Superficie total de Oaxaca = 91,500 km<sup>2</sup>

## Referencias

- Brower, M.; Bailey, B; Zack, J. (2001). "Applications and Validations of the MesoMap Wind Mapping System in Different Climatic Regimes." *Memorias de Windpower 2001*, Washington, D.C., American Wind Energy Association.
- Elliott, D. (2002). "Assessing the World's Wind Resources," *IEEE Power Engineering Review*. Vol. 22 (9), Septiembre del 2002; pp. 4-9; NREL Reporte No. 33012.
- Elliott, D.L., Schwartz, M.N. (1998). "Validation of Regional Wind Resource Predictions in the Northern Great Plains." *Memorias de Windpower '98*, Washington, D.C., American Wind Energy Association.
- Elliott, D.; Schwartz, M.; Nierenberg, R. (1999). "Wind Resource Mapping of the State of Vermont," NREL/CP-500-27507.
- Elliott, D.; Schwartz, M.; George, R.; Haymes, S.; Heimiller, D.; Scott, G.; Kline, J. (2001). *Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic*. 218 pp.; NREL/TP-500-27602.
- Elliott, D.; Schwartz, M.; George, R.; Haymes, S.; Heimiller, D.; Scott, G.; McCarthy, E. (2001). *Wind Energy Resource Atlas of the Philippines*. 208 pp.; NREL/TP-500-26129.
- Elliott, D.; Schwartz, M.; Scott, G.; Haymes, S.; Heimiller, D.; George, R. (2001). *Wind Energy Resource Atlas of Mongolia*. 215 pp.; NREL Reporte No. TP-500-28972.
- Elliott, D.; Schwartz, M.; Scott, G.; Haymes, S.; Heimiller, D.; George, R. (2002). *Wind Energy Resource Atlas of Southeast China*. 163 pp.; NREL/TP-500-32781.
- Heimiller, D.M., Haymes, S.R. (2001). Geographic Information Systems in Support of Wind Energy Activities at NREL: Preimpresión. 10 pp.: NREL/CP-500-29164.
- Rohatgi, J.S.; Nelson, V. (1994). *Wind Characteristics: An Analysis for the Generation of Wind Power*, Alternative Energy Institute, West Texas A&M University, Canyon, TX, 239 pp.
- Schwartz, M.N. (1999). *Wind Resource Estimation and Mapping at the National Renewable Energy Laboratory*. 8pp.; NREL Reporte No. CP-500-26245.
- Schwartz, M.N.; Elliott, D.L. (1995). *Mexico Wind Resource Assessment Project*. NREL/TP-441-7809.
- Schwartz, M.N.; Elliott, D.L. (1997). "The Integration of Climatic Data Sets for Wind Resource Assessment." *Memorias del 10 Congreso sobre Climatología Aplicada*, Boston, Massachusetts, American Meteorological Society.
- Schwartz, M; Elliott, D. (2001). *Remapping of the Wind Energy Resource in the Midwestern United States*: Abstracto de Preimpresión. 9 pp.; NREL Reporte No. AB-500-31083.
- Wind Resource Assessment Handbook: Fundamentals for Conducting a Successful Monitoring Program. (Abril 1997). Elaborado por AWS Scientific, Inc., NREL/SR-440-22223.

**Apéndice A**

**Estaciones Meteorológicas Superficiales  
Tablas y Resúmenes de Análisis de las Estaciones Seleccionadas**

**Estaciones DATSAV2**

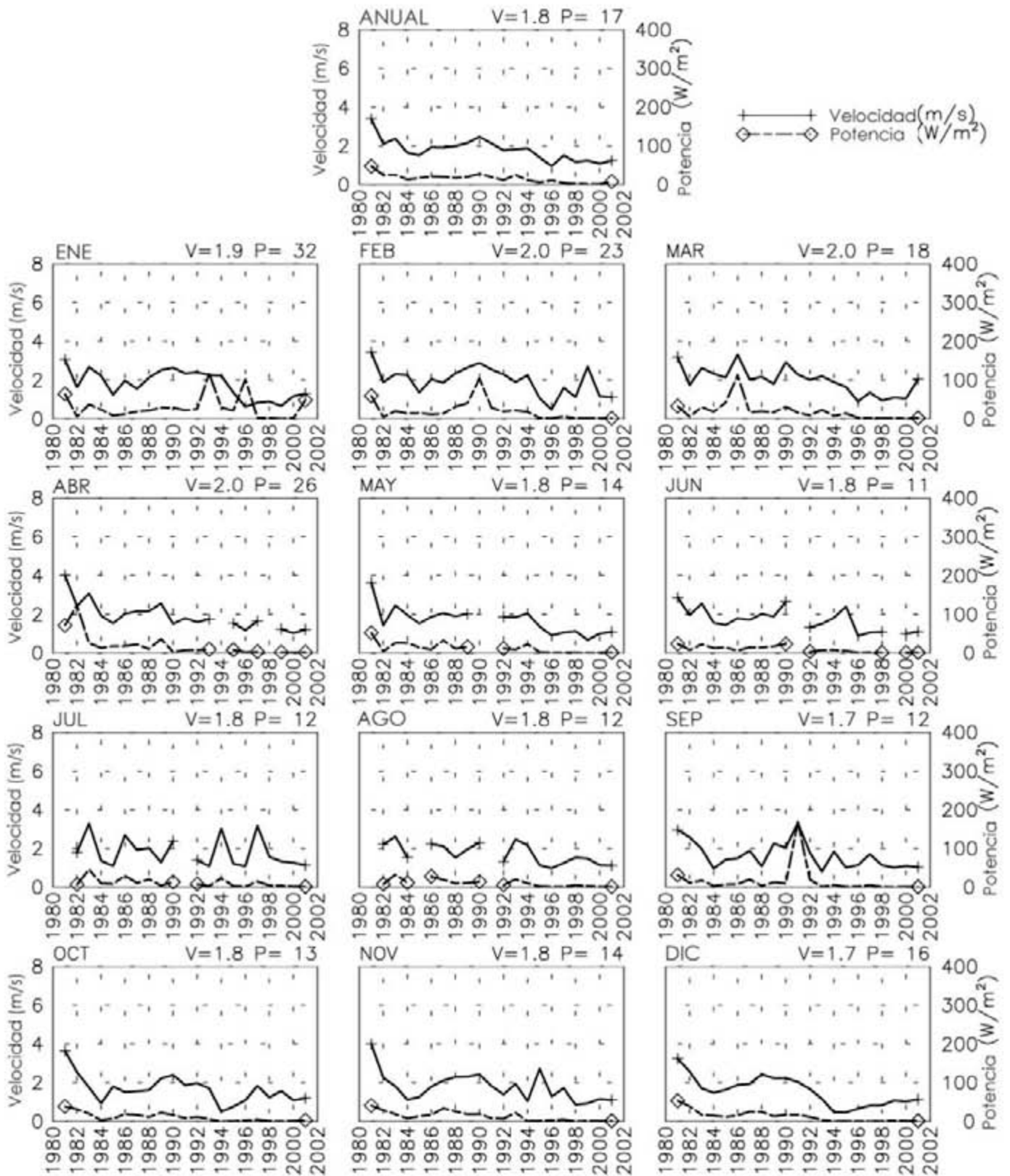
**Tabla A.1 Estaciones Meteorológicas DATSAV2 (GTS) en Oaxaca**

<b>WMO ID</b>	<b>Nombre</b>	<b>Lat N</b>	<b>Lon W</b>	<b>Elev</b>	<b>WS</b>	<b>WP</b>	<b>Periodo de Registro</b>
767755	Oaxaca/Xoxocotlán	16 58	96 43	1528	2.0	24	1976-2002
768485	Bahías de Huatulco	15 46	96 16	143	4.9	190	1989-1991
768556	Puerto Escondido	15 52	97 04	88	4.2	89	1989-1991
767750	Oaxaca	17 04	96 43	1550	1.4	13	1975-1991
768550	Puerto Ángel	15 39	96 30	21	2.2	27	1982-1991
768330	Salina Cruz	16 10	95 12	6	4.9	218	1975-1993
767730	Huajuapán de León	17 48	97 40	1602	2.0	20	1982-1991
768300	Itepec-In-Oaxaca	16 33	95 05	61	3.4	69	1973-1977
768400	Arriaga	16 13	93 54	44	2.8	103	1975, 1982-2000
767375	Tehuacán	18 30	97 25	1679	2.3	52	1973-1977

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR AÑO

Huajuapán De León – 767730

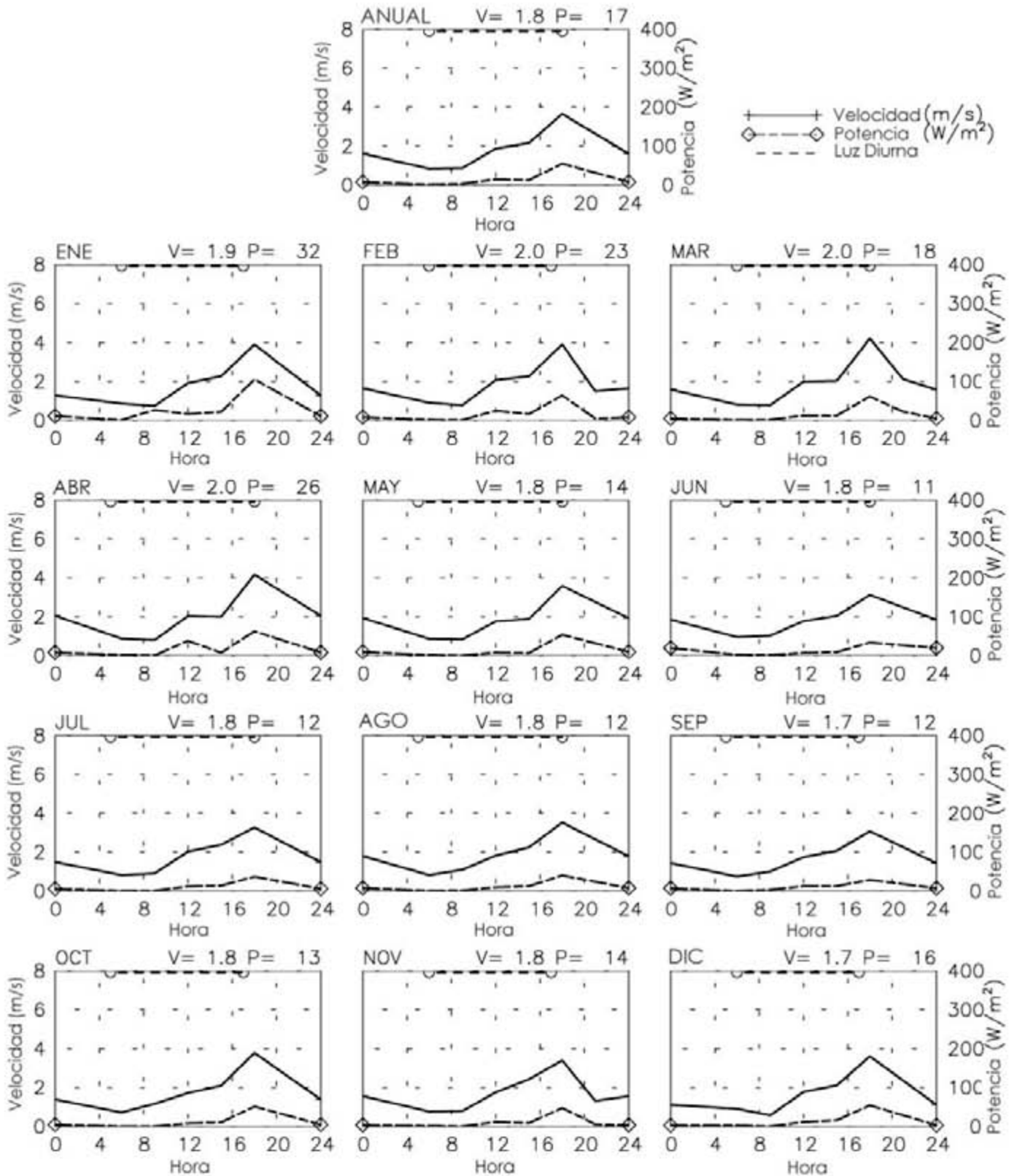
17° 48' N 97° 47' W – Elev 1602m \*LST=GMT –6 horas NT= –7  
01/81–12/01



Jue 26 de Junio 13:09:14 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR HORA

Huajuapán De León – 767730  
 17° 48' N 97° 47' W – Elev 1602m \*LST=GMT -6 horas NT= -7  
 01/81-12/01

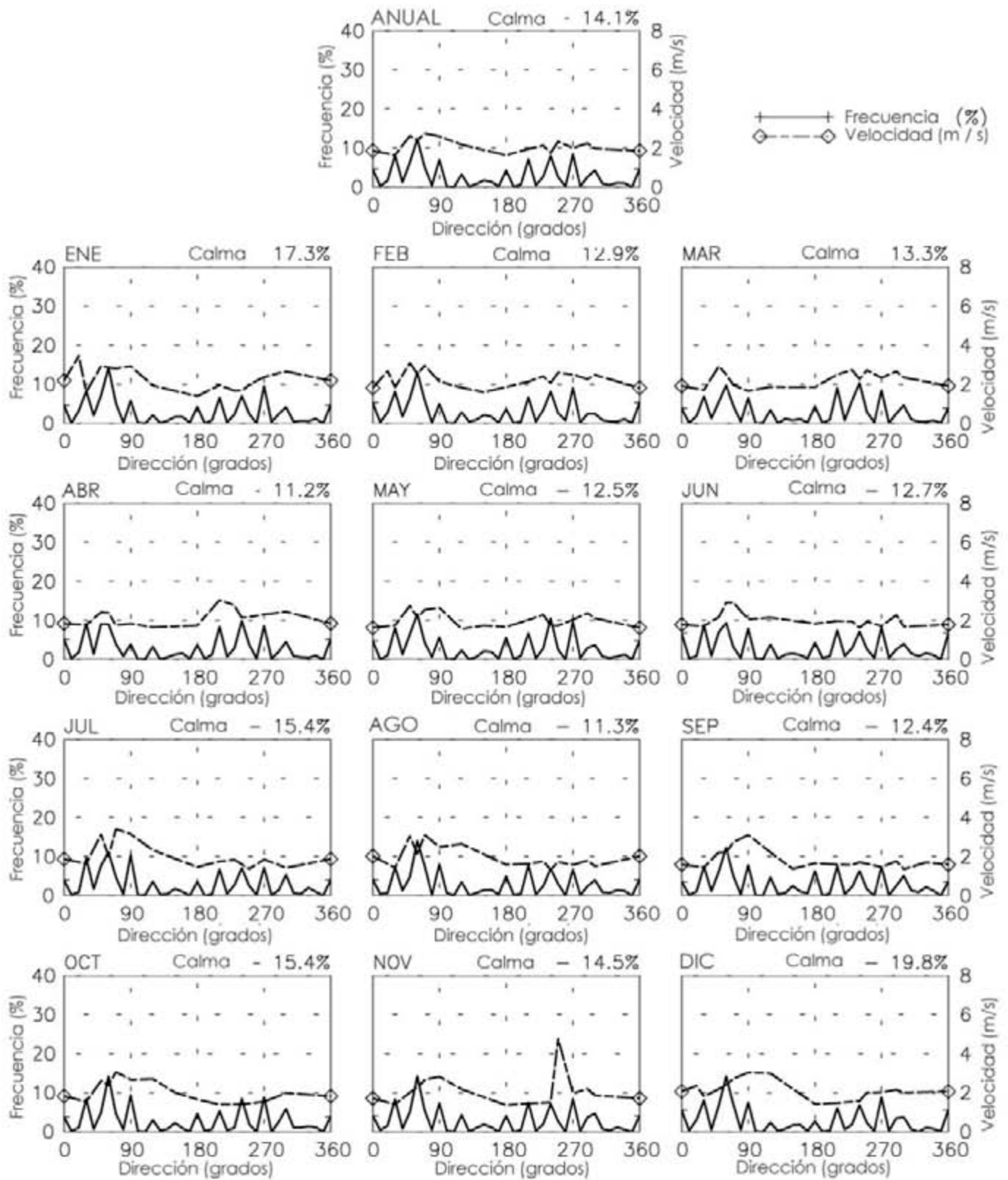


Jue 26 de Junio 13:09:15 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN

Huajuapán De León – 767730

17° 48' N 97° 47' W – Elev 1602m \*LST=GMT -6 horas NT= -7  
01/81-12/01



Jue 26 de Junio 13:09:16 2003

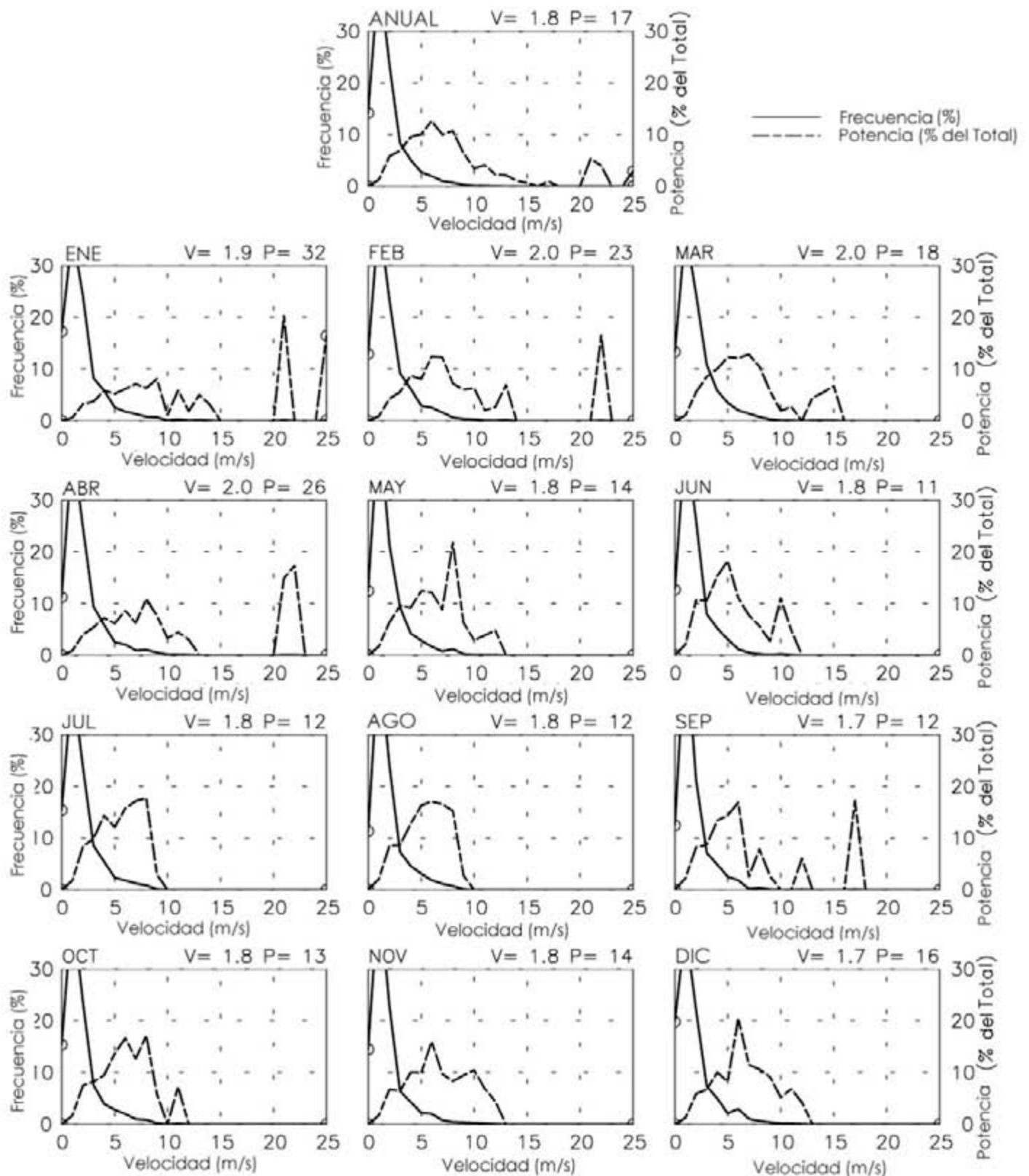


# FRECUENCIA DE VELOCIDAD Y PORCENTAJE DE POTENCIA POR VELOCIDAD

Huajuapán De León – 767730

17° 48' N 97° 47' W – Elev 1602m \*LST=GMT -6 horas NT= -7

01/81-12/01

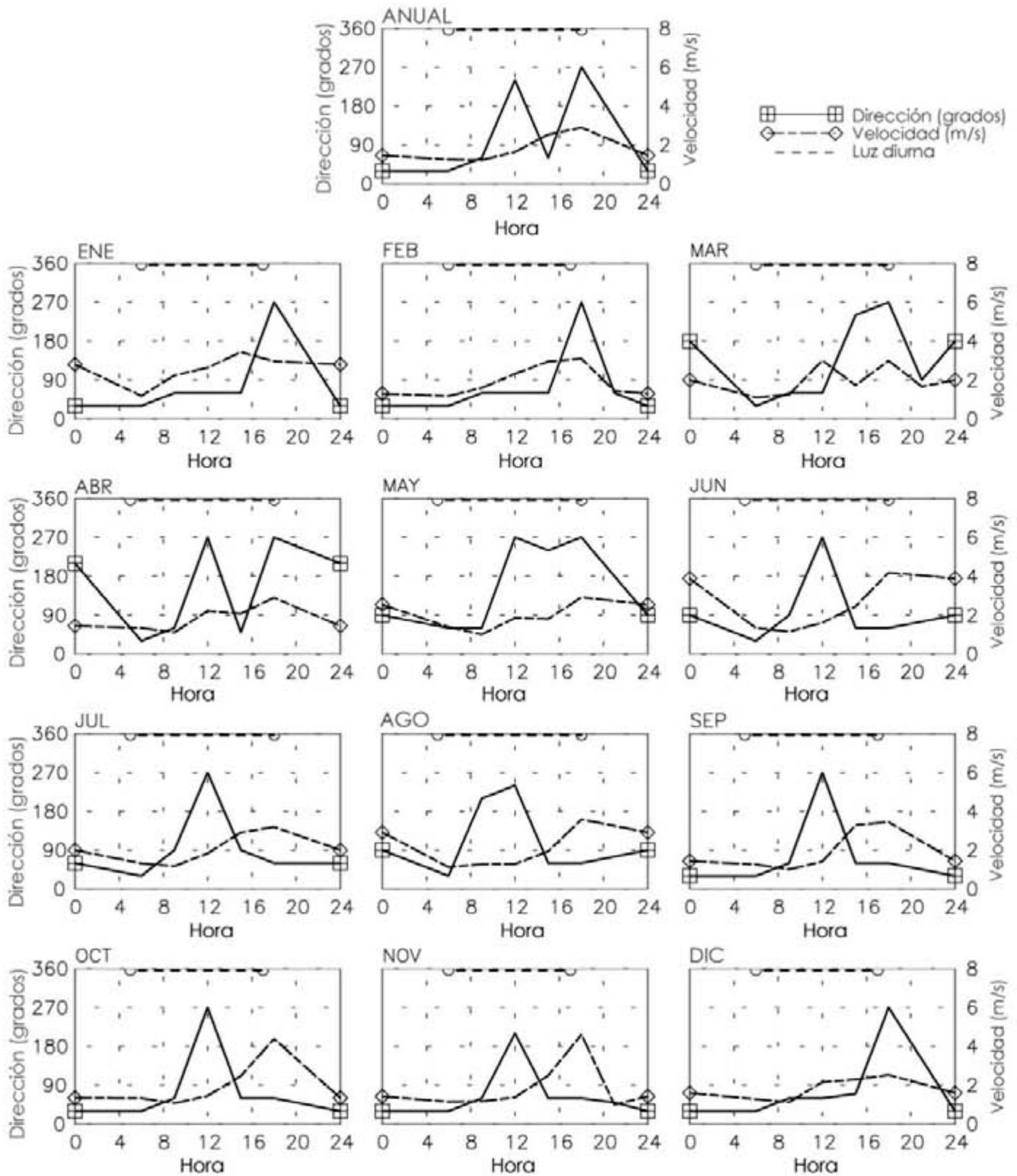


Jue 26 de Junio 13:09:17 2003

# DIRECCIÓN DOMINANTE Y VELOCIDAD POR HORA

Huajuapán De León – 767730

17° 48' N 97° 47' W – Elev 1602m \*LST=GMT -6 horas NT= -7  
01/81-12/01



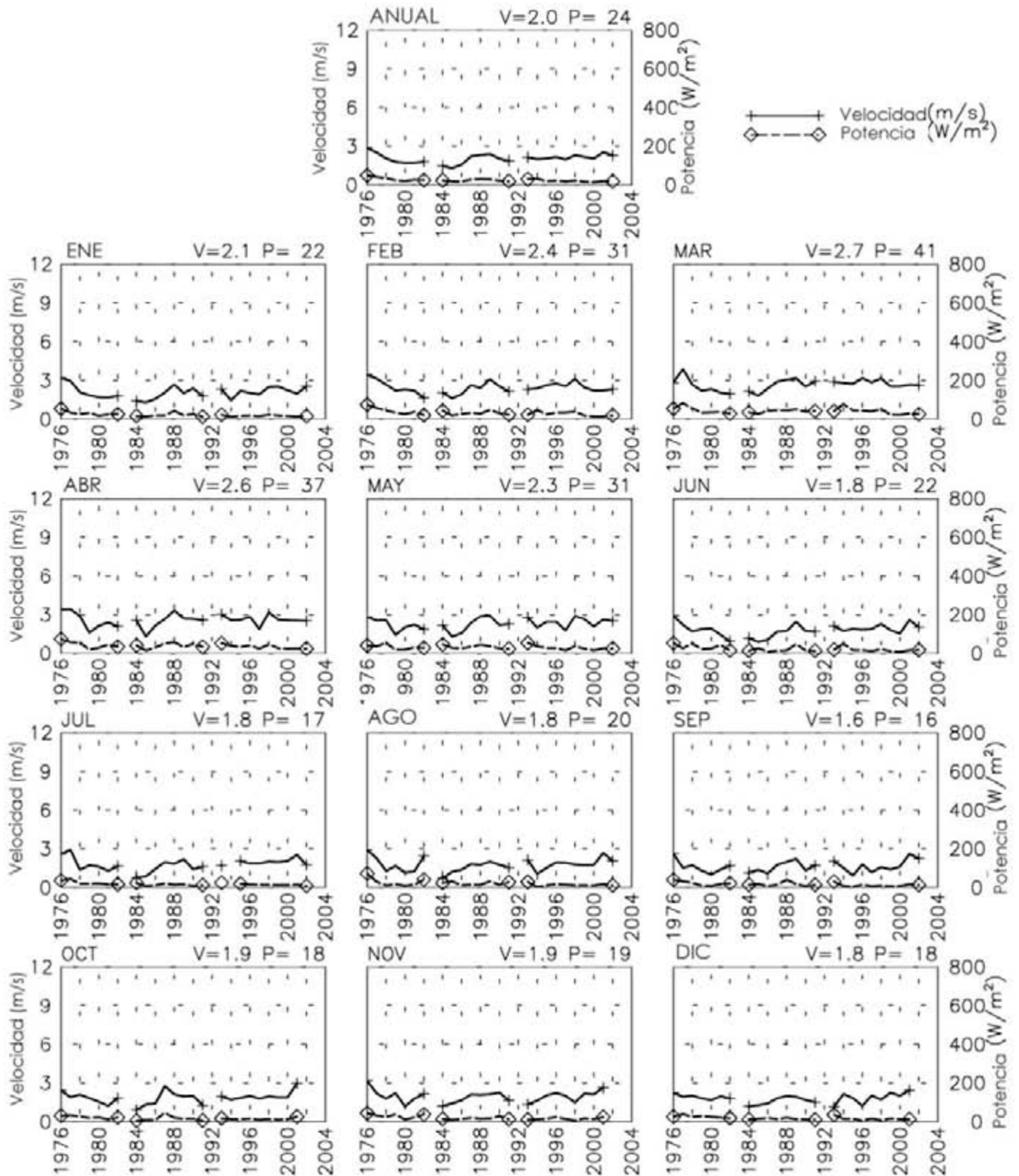
Jue 26 de Junio 13:09:17 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR AÑO

OAXACA/XOXOCOTLAN - 767755

16° 58' N 96° 43' W - Elev 1528m \*LST=GMT -6 horas  
01/76-12/82 01/84-12/91 01/93-09/02

NT= -6



Mar 24 de Junio 10:03:39 2003

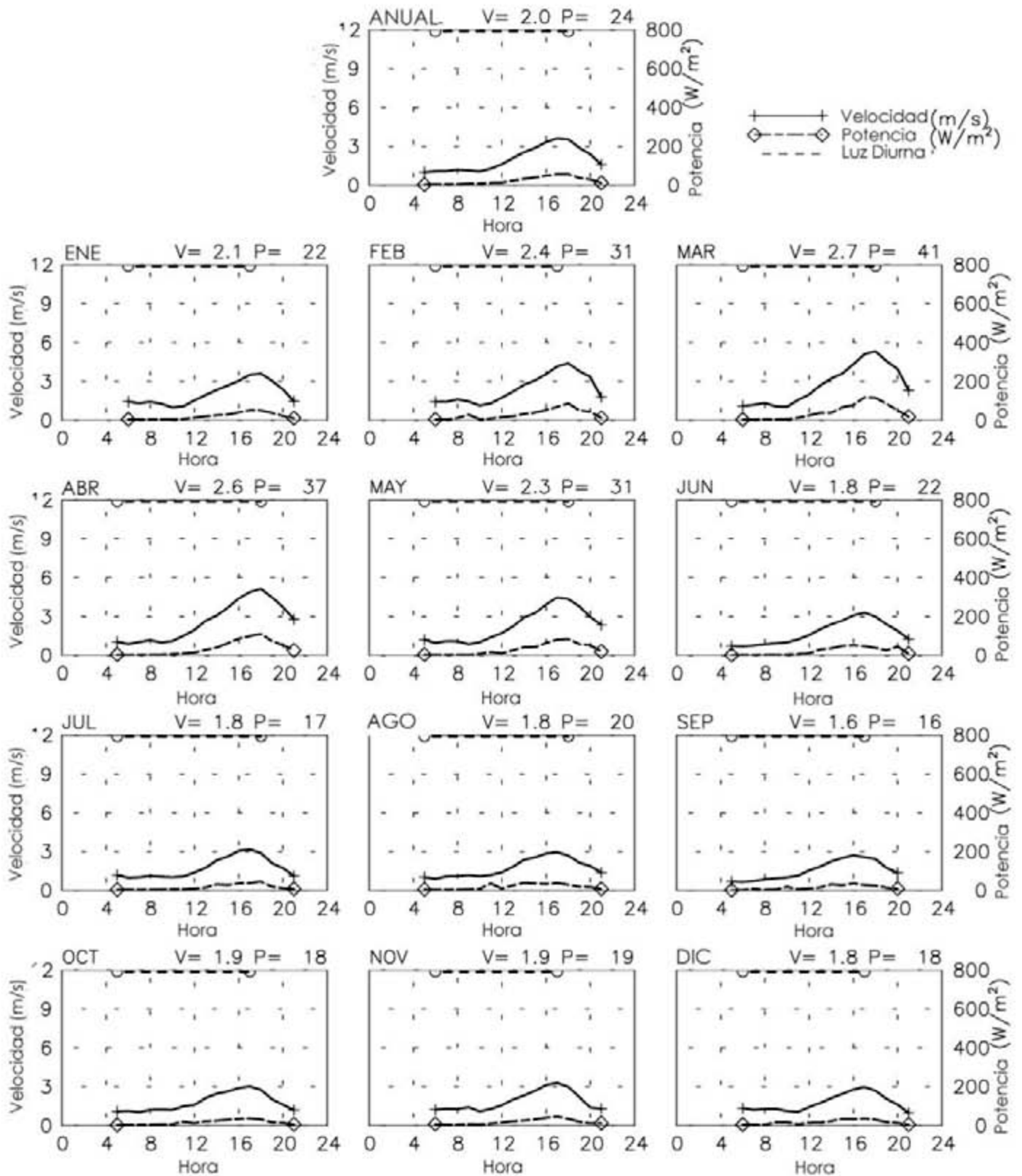
# VELOCIDAD Y POTENCIA POR HORA

OAXACA/XOXOCOTLAN - 767755

16° 58' N 96° 43' W - Elev 1528m \*LST=GMT -6 horas

NT= -6

01/76-12/82 01/84-12/91 01/93-09/02



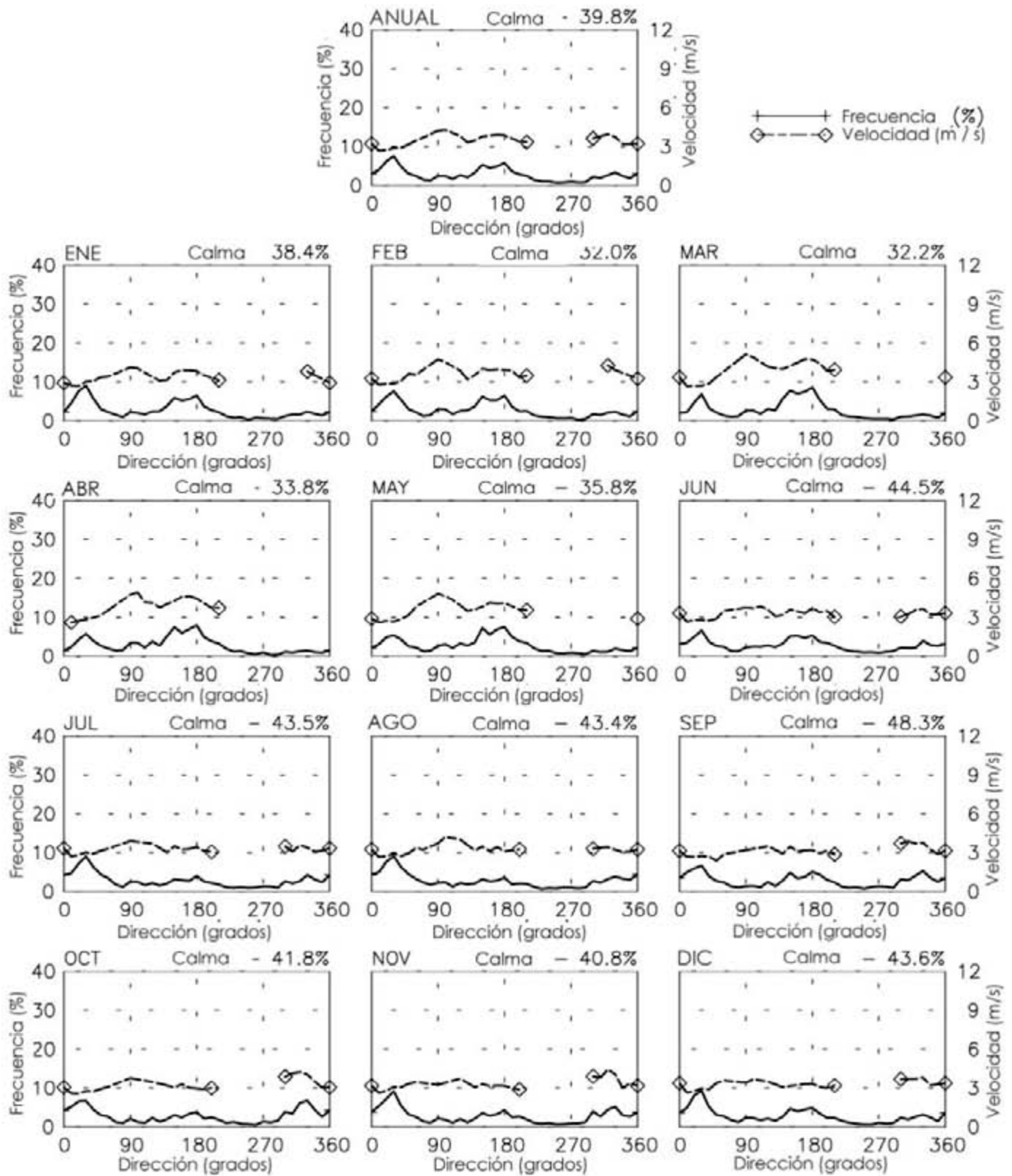
Mar 24 de Junio 10:03:41 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN

OAXACA/XOXOCOTLAN - 767755

16° 58' N 96° 43' W - Elev 1528m \*LST=GMT -6 horas  
 01/76-12/82 01/84-12/91 01/93-09/02

NT= -6



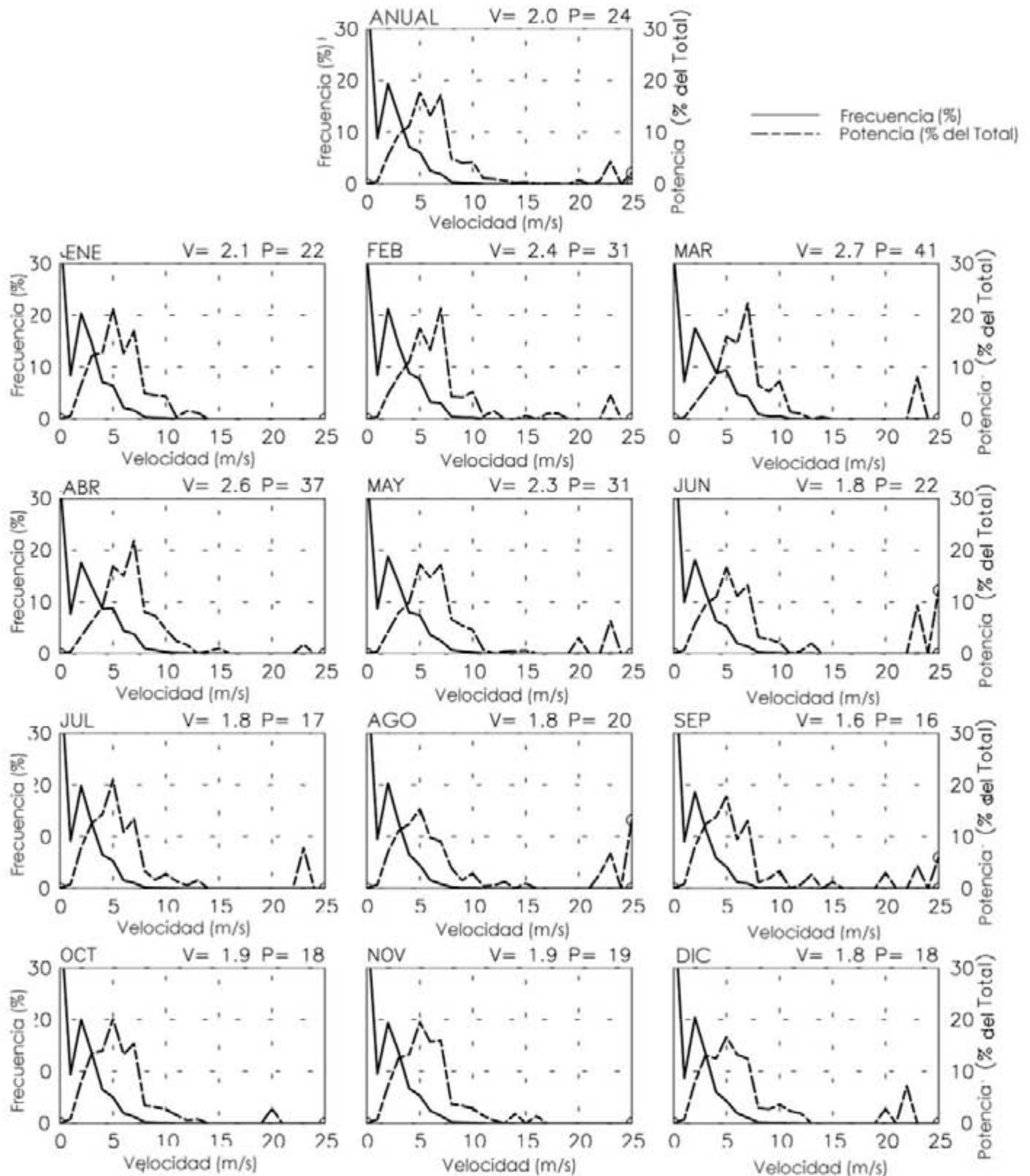
Mar 24 de Junio 10:03:42 2003

# FRECUENCIA DE VELOCIDAD Y PORCENTAJE DE POTENCIA POR VELOCIDAD

OAXACA/XOXOCOTLAN - 767755

16° 58' N 96° 43' W - Elev 1528m \*LST=GMT -6 horas NT= -6

01/76-12/82 01/84-12/91 01/93-09/02



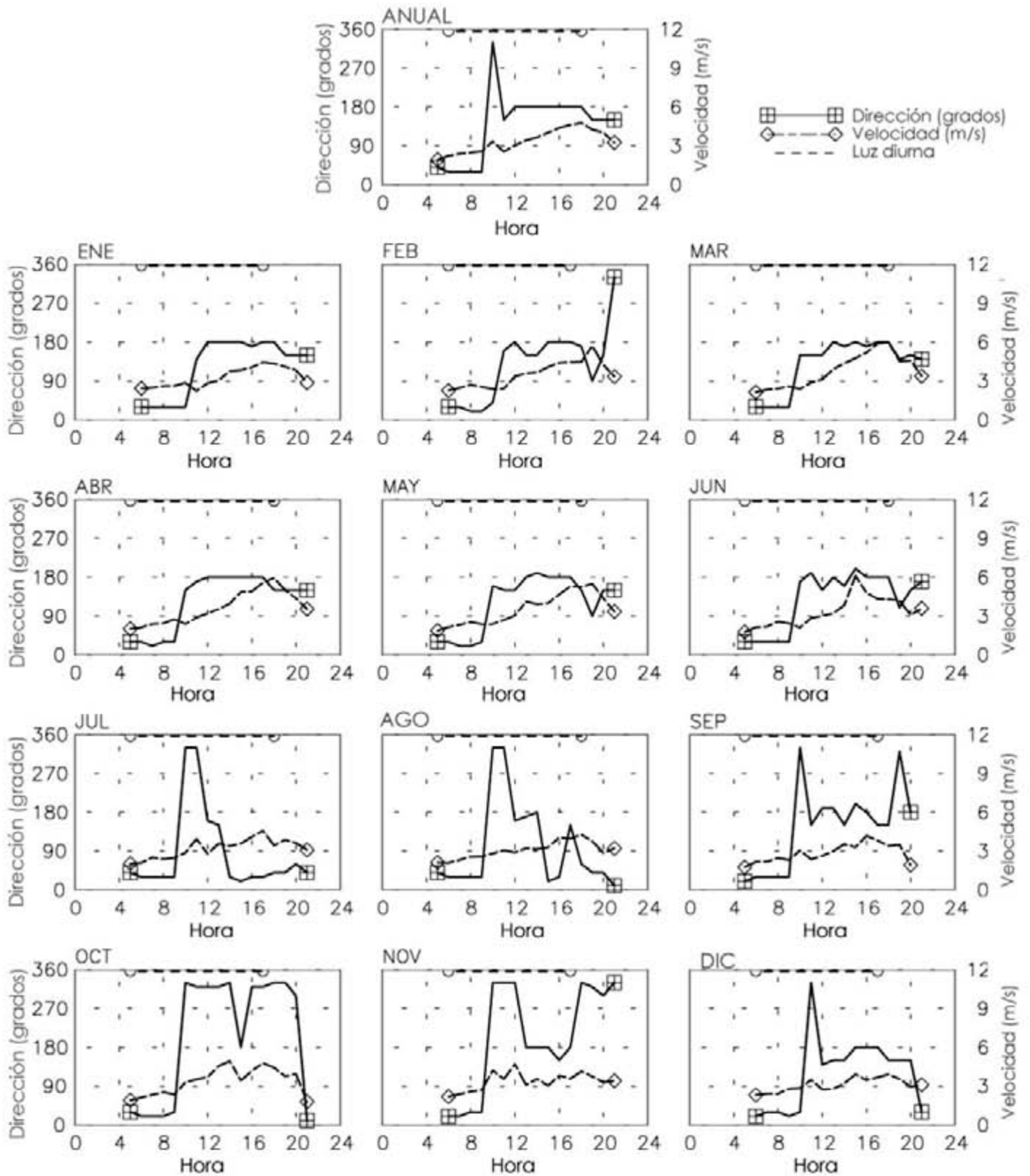
Mar 24 de Junio 10:03:42 2003



# DIRECCIÓN DOMINANTE Y VELOCIDAD POR HORA

OAXACA/XOXOCOTLAN - 767755

16° 58' N 96° 43' W - Elev 1528m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
 01/76-12/82 01/84-12/91 01/93-09/02

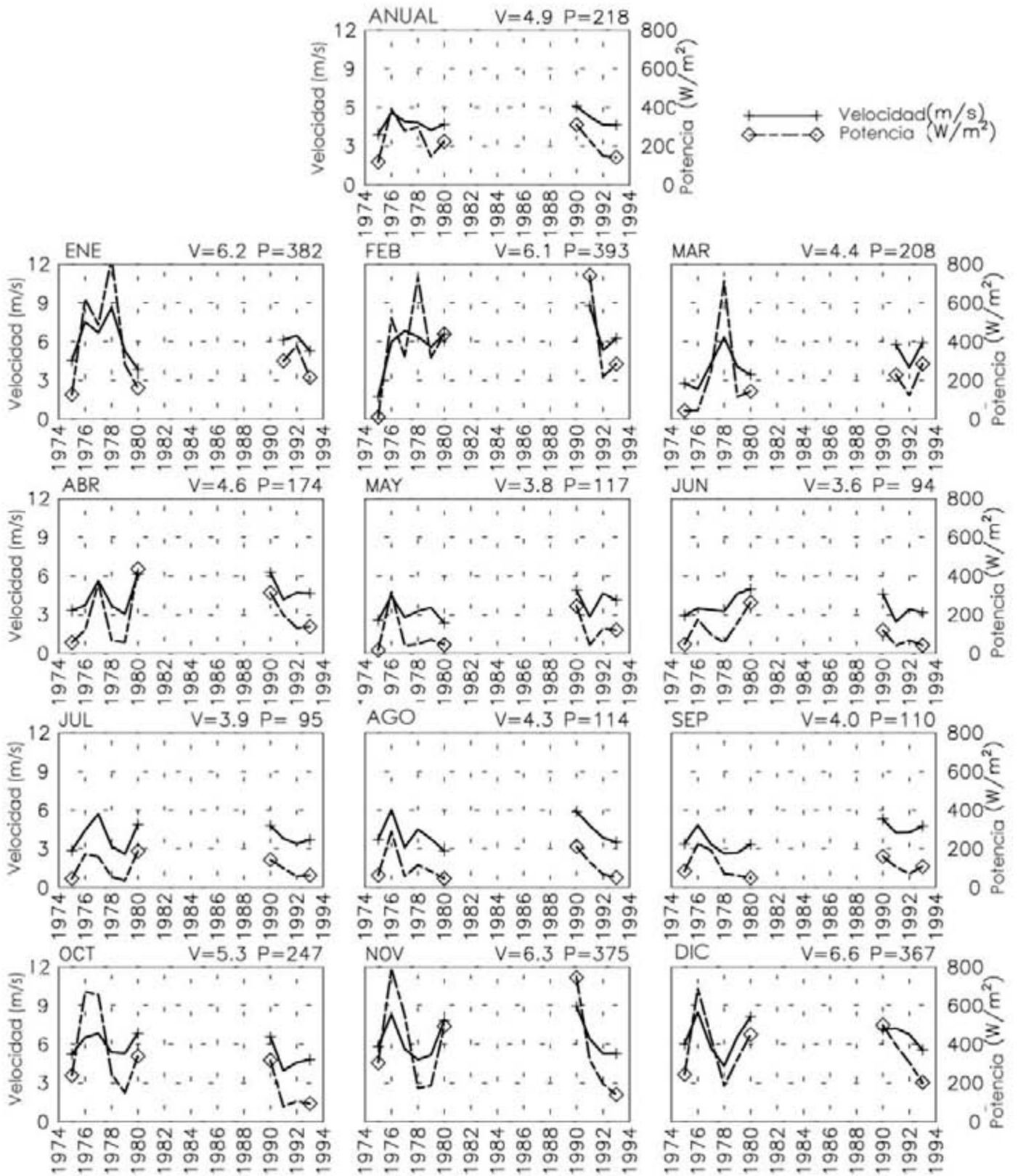


Mar 24 de Junio 10:03:43 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR AÑO

SALINA CRUZ - 768330

16° 10' N 95° 12' W - Elev 6m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/75-12/80 04/90-12/93



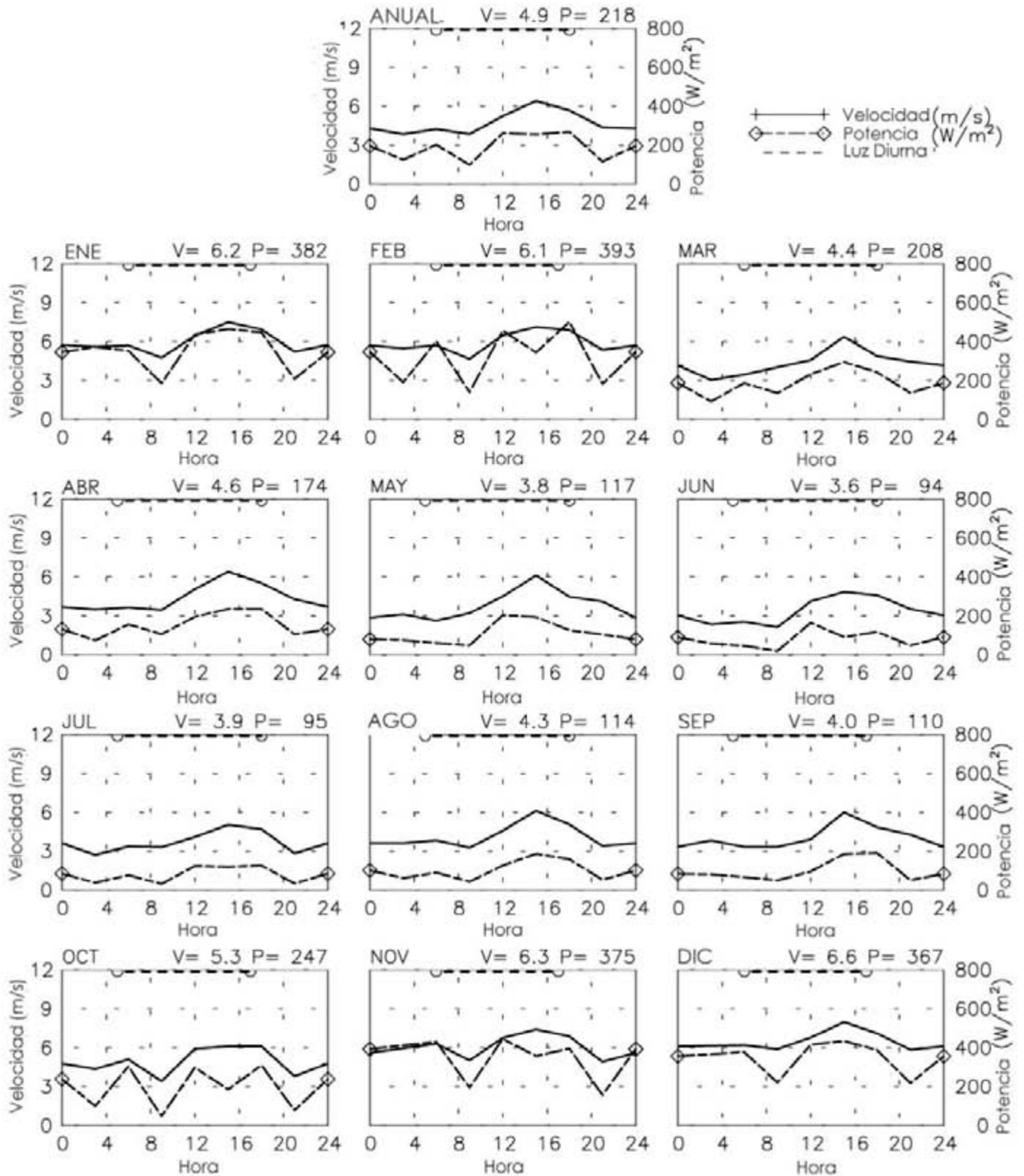
Mar 24 de Junio 10:03:24 2003



# VELOCIDAD Y POTENCIA POR HORA

SALINA CRUZ - 768330

16° 10' N 95° 12' W - Elev 6m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/75-12/80 04/90-12/93

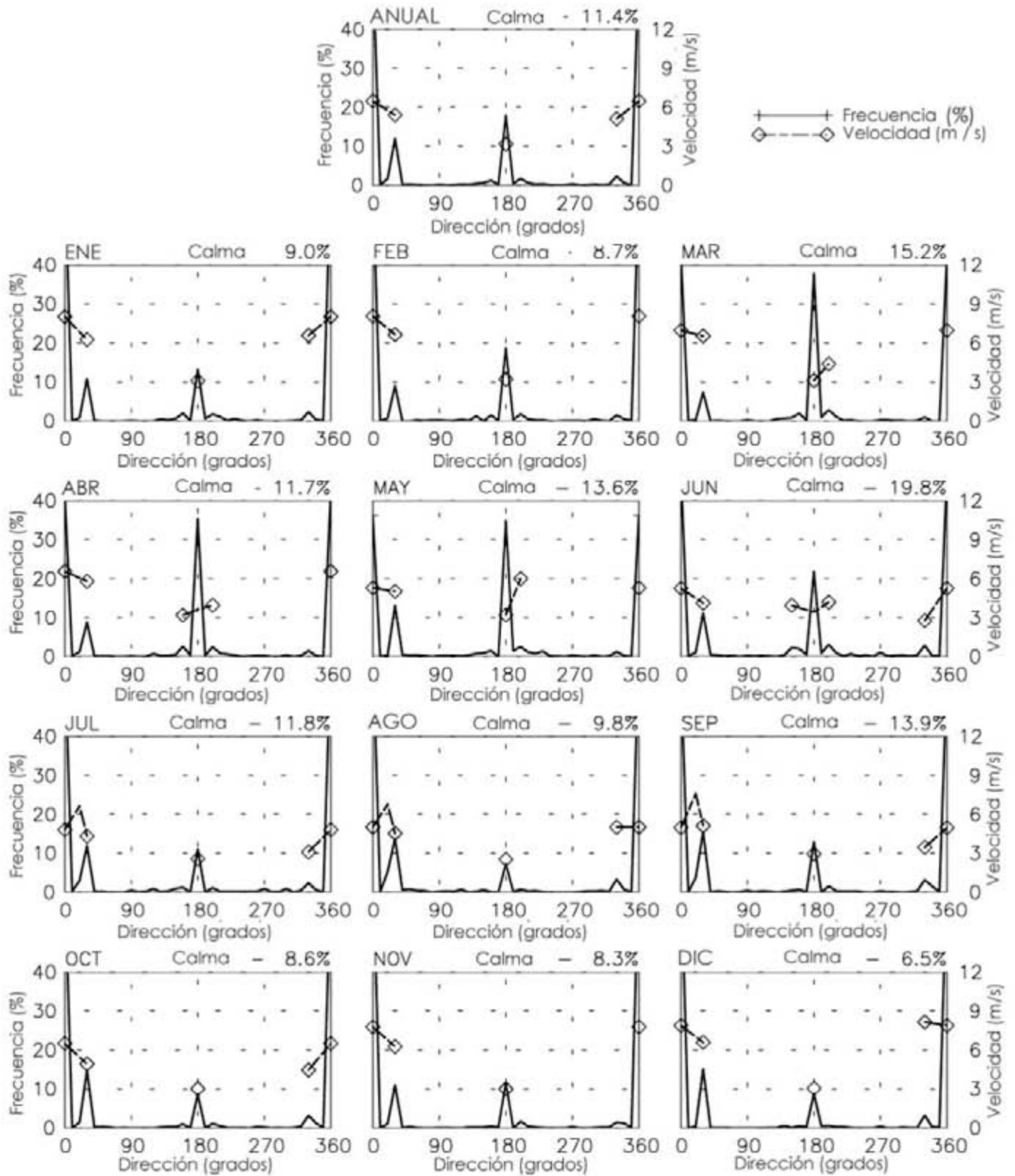


Mar 24 de Junio 10:03:25 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN

SALINA CRUZ - 768330

16° 10' N 95° 12' W - Elev 6m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/75-12/80 04/90-12/93



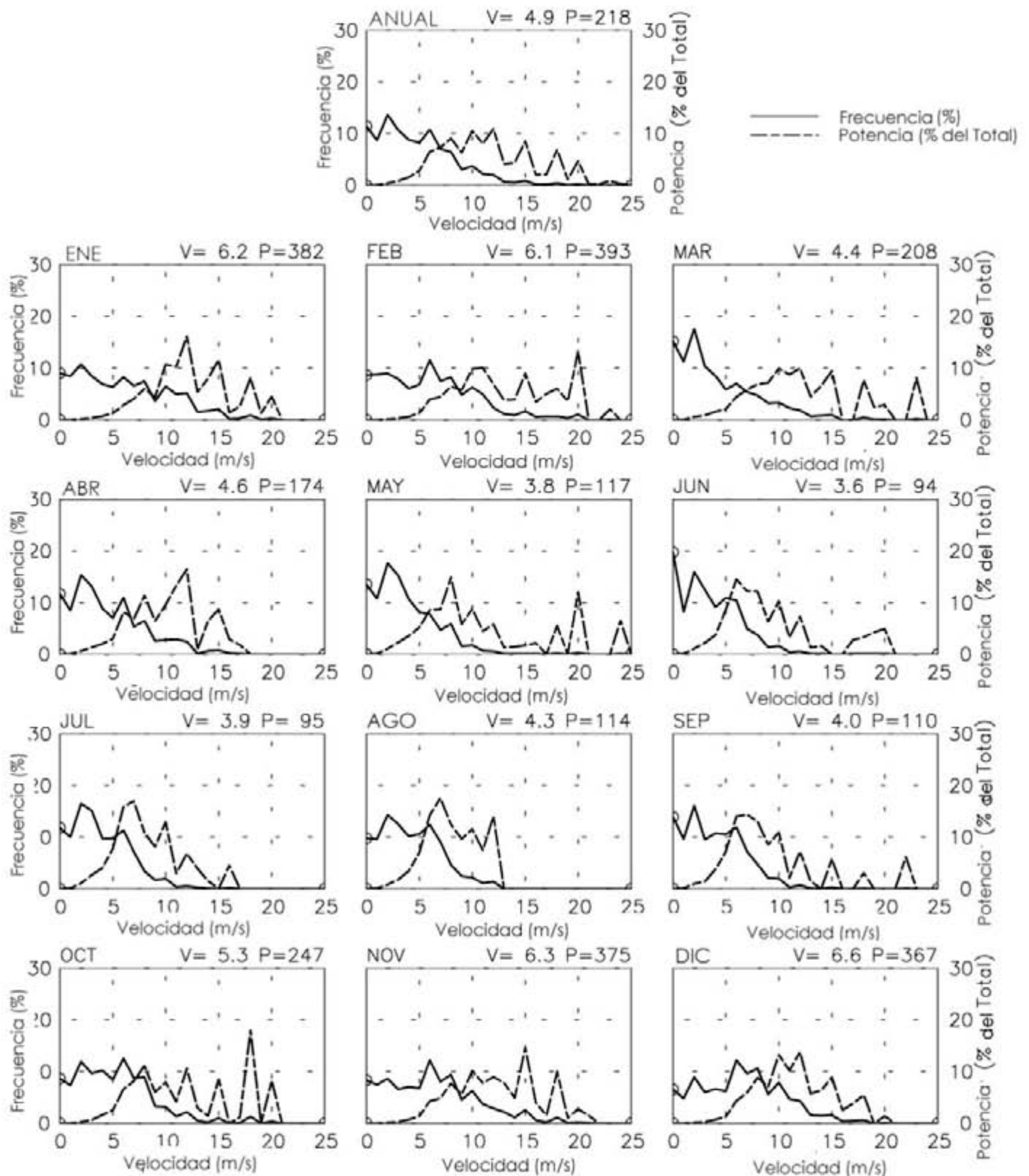
Mar 24 de Junio 10:03:26 2003

# FRECUENCIA DE VELOCIDAD Y PORCENTAJE DE POTENCIA POR VELOCIDAD

SALINA CRUZ - 768330

16° 10' N 95° 12' W - Elev 6m \*LST=GMT -6 thoras NT= -6

01/75-12/80 04/90-12/93

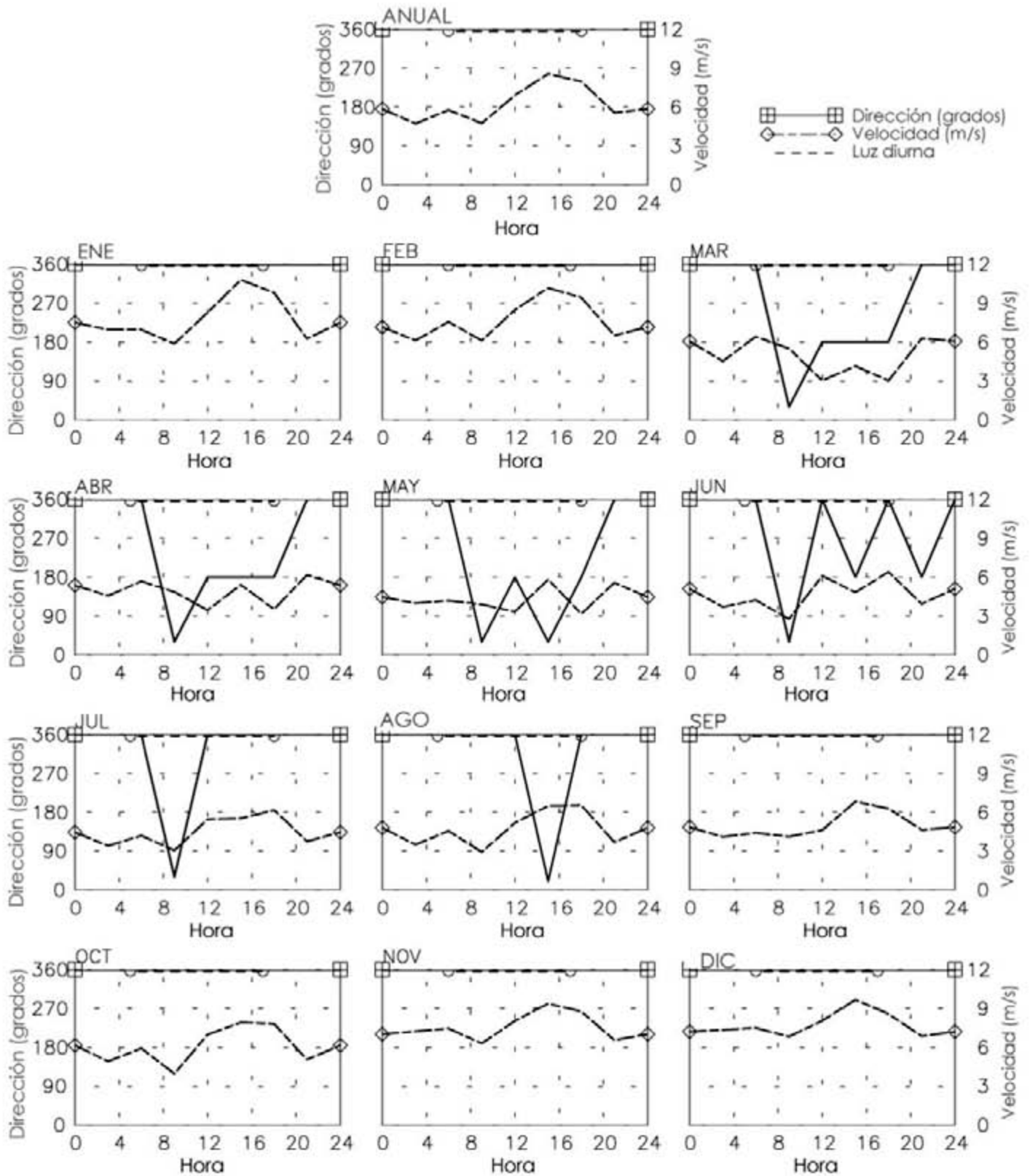


Mar 24 de Junio 10:03:27 2003

# DIRECCIÓN DOMINANTE Y VELOCIDAD POR HORA

SALINA CRUZ – 768330

16° 10' N 95° 12' W – Elev 6m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/75-12/80 04/90-12/93

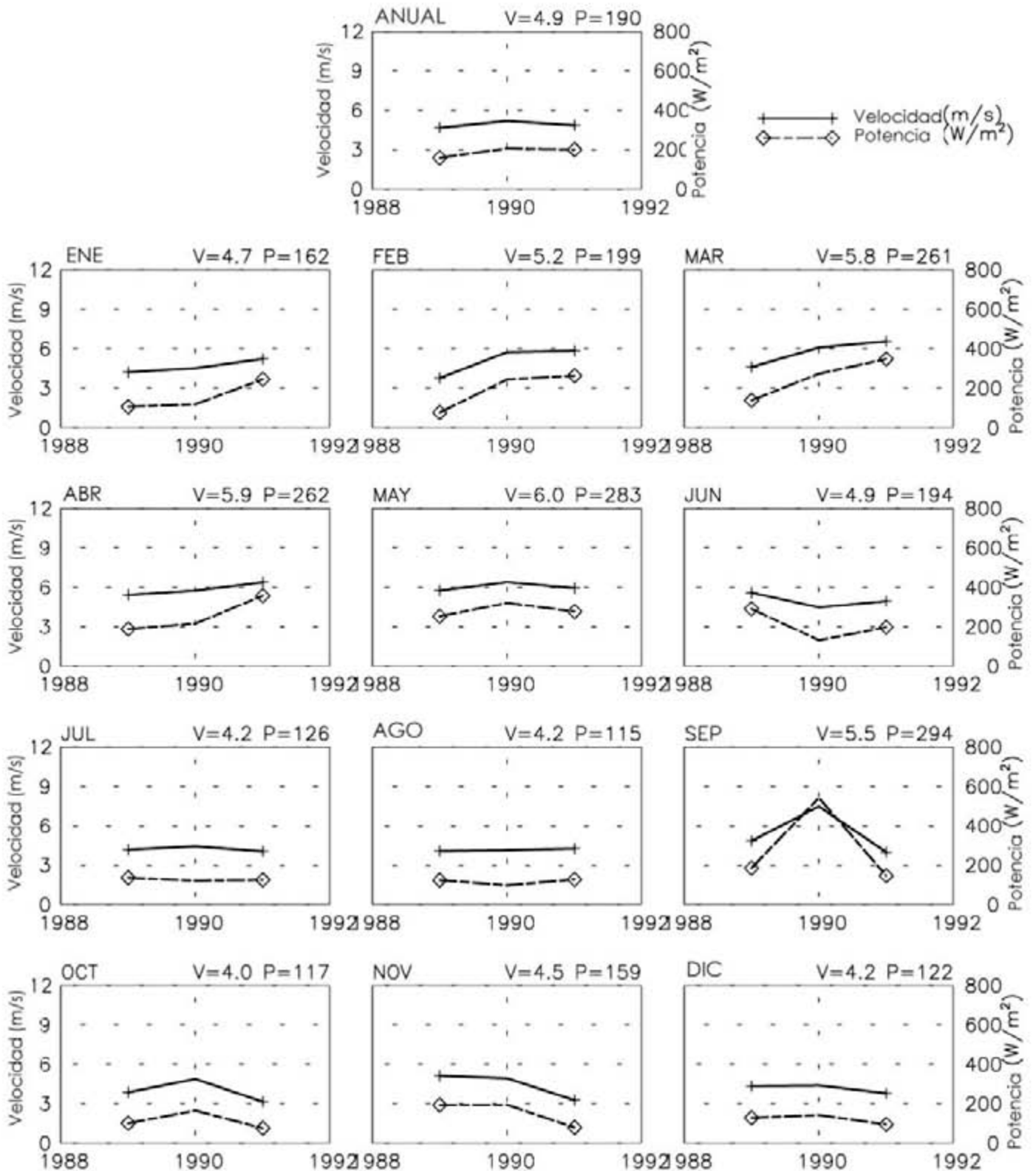


Mar 24 de Junio 10:03:27 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR AÑO

BAHIAS DE HUATULCO – 768485

15° 46' N 96° 16' W – Elev 143m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91

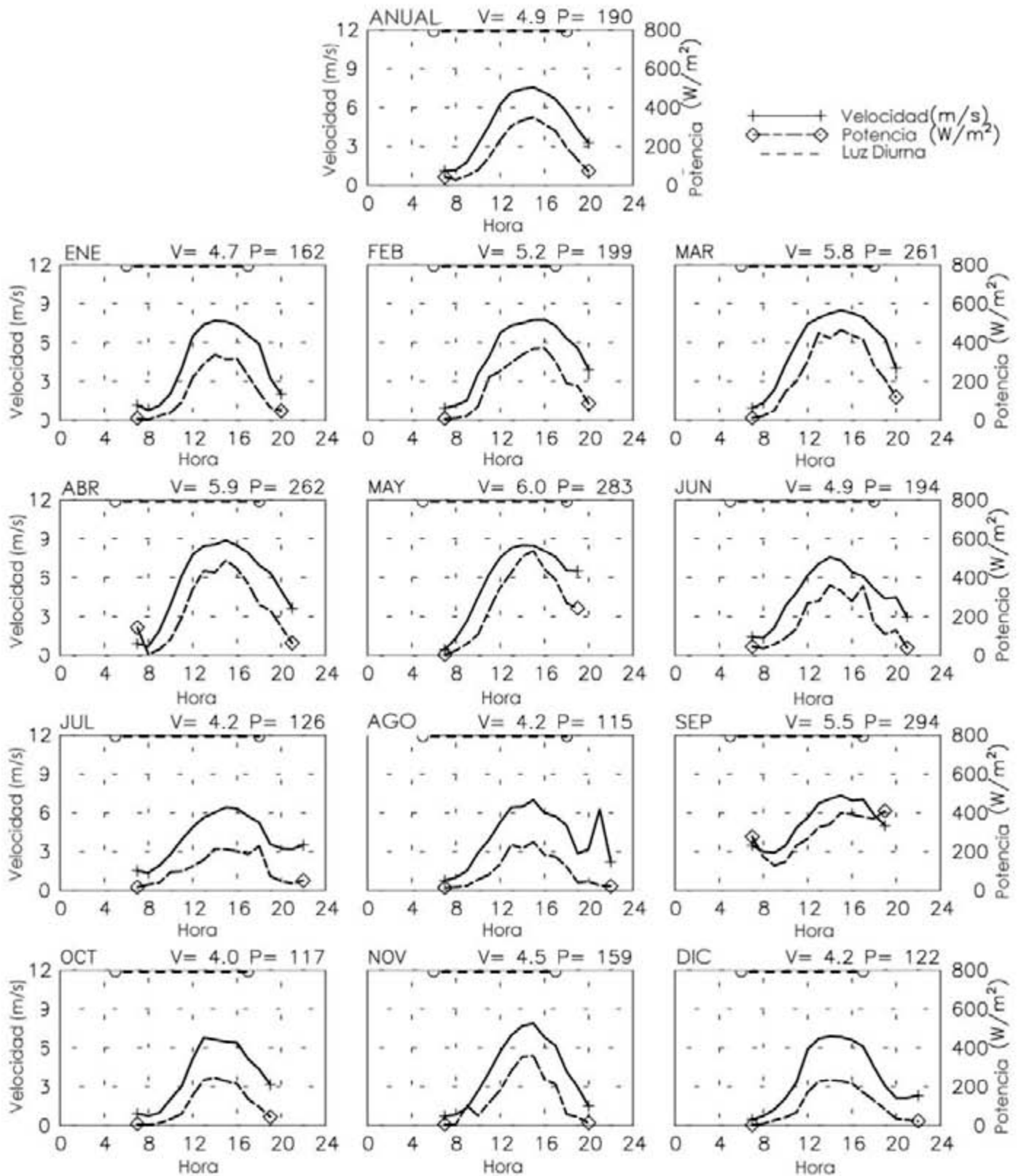


Mar 24 de Junio 10:03:28 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR HORA

BAHIAS DE HUATULCO – 768485

15° 46' N 96° 16' W – Elev 143m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91



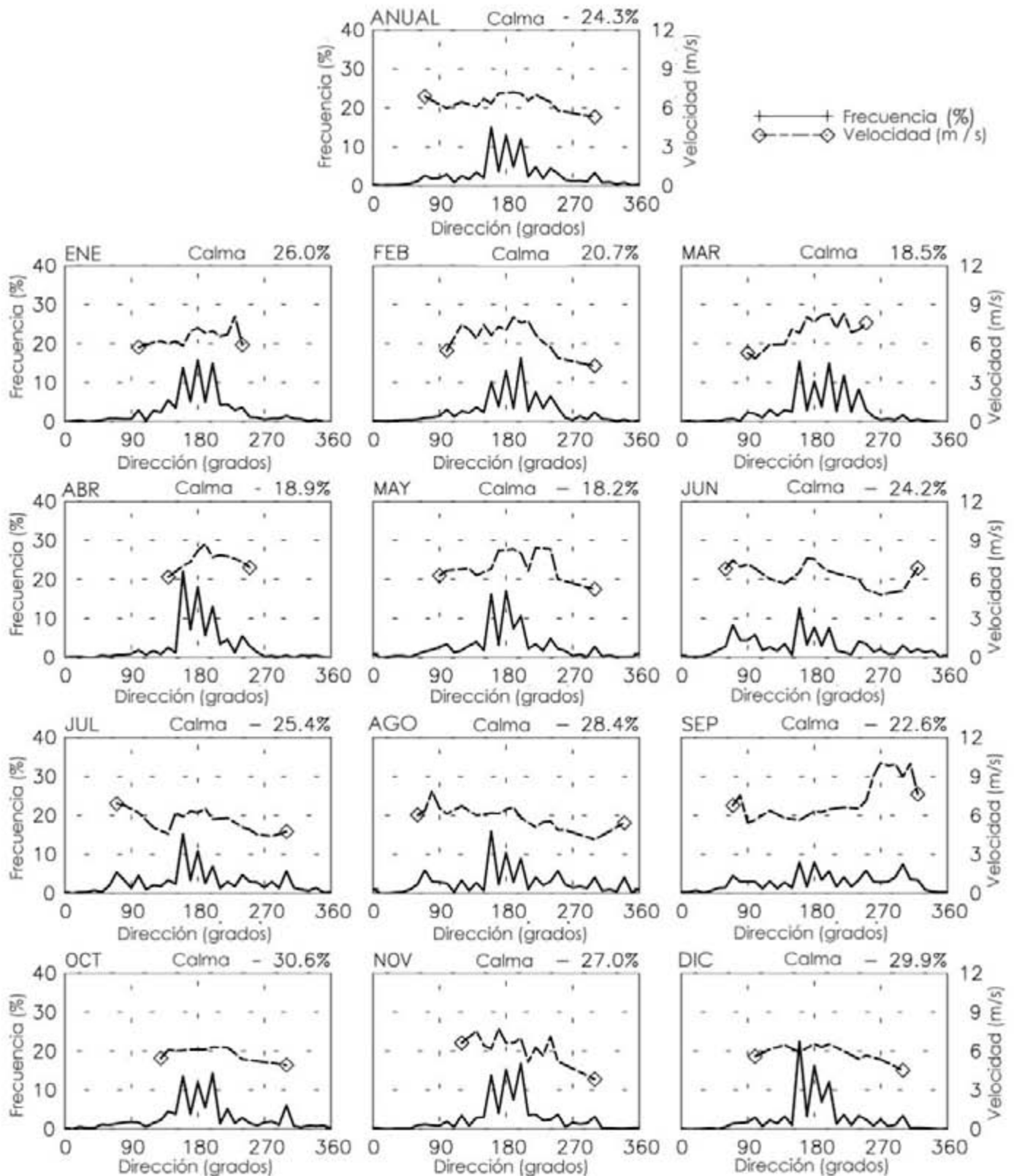
Mar 24 de Junio 0:03:29 2003



# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN

BAHIAS DE HUATULCO – 768485

15° 46' N 96° 16' W – Elev 143m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91



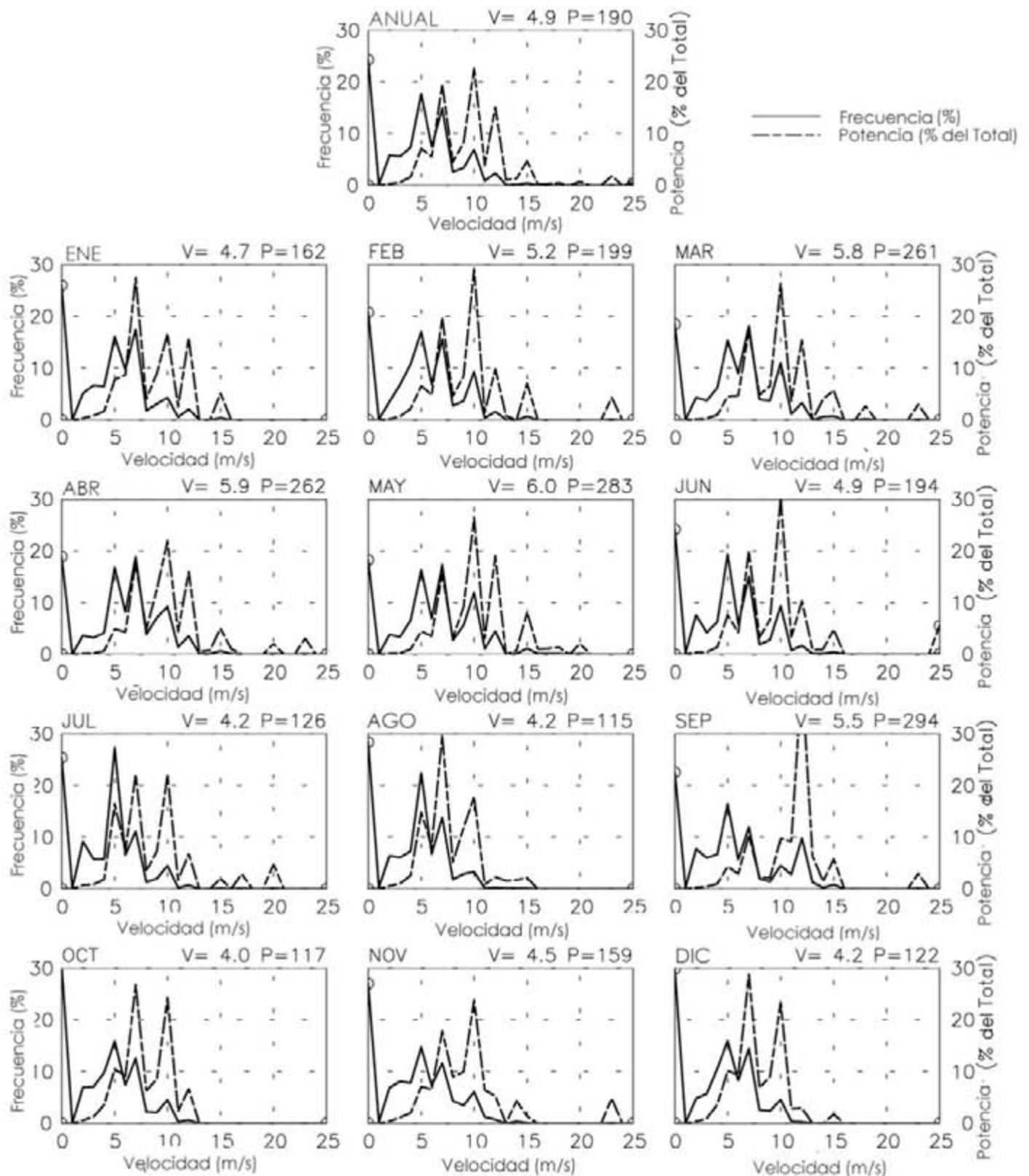
Mar 24 de Junio 10:03:30 2003

# FRECUENCIA DE VELOCIDAD Y PORCENTAJE DE POTENCIA POR VELOCIDAD

BAHIAS DE HUATULCO – 768485

15° 46' N 96° 16' W – Elev 143m \*LST=GMT -6 horas NT= -6

01/89-12/91



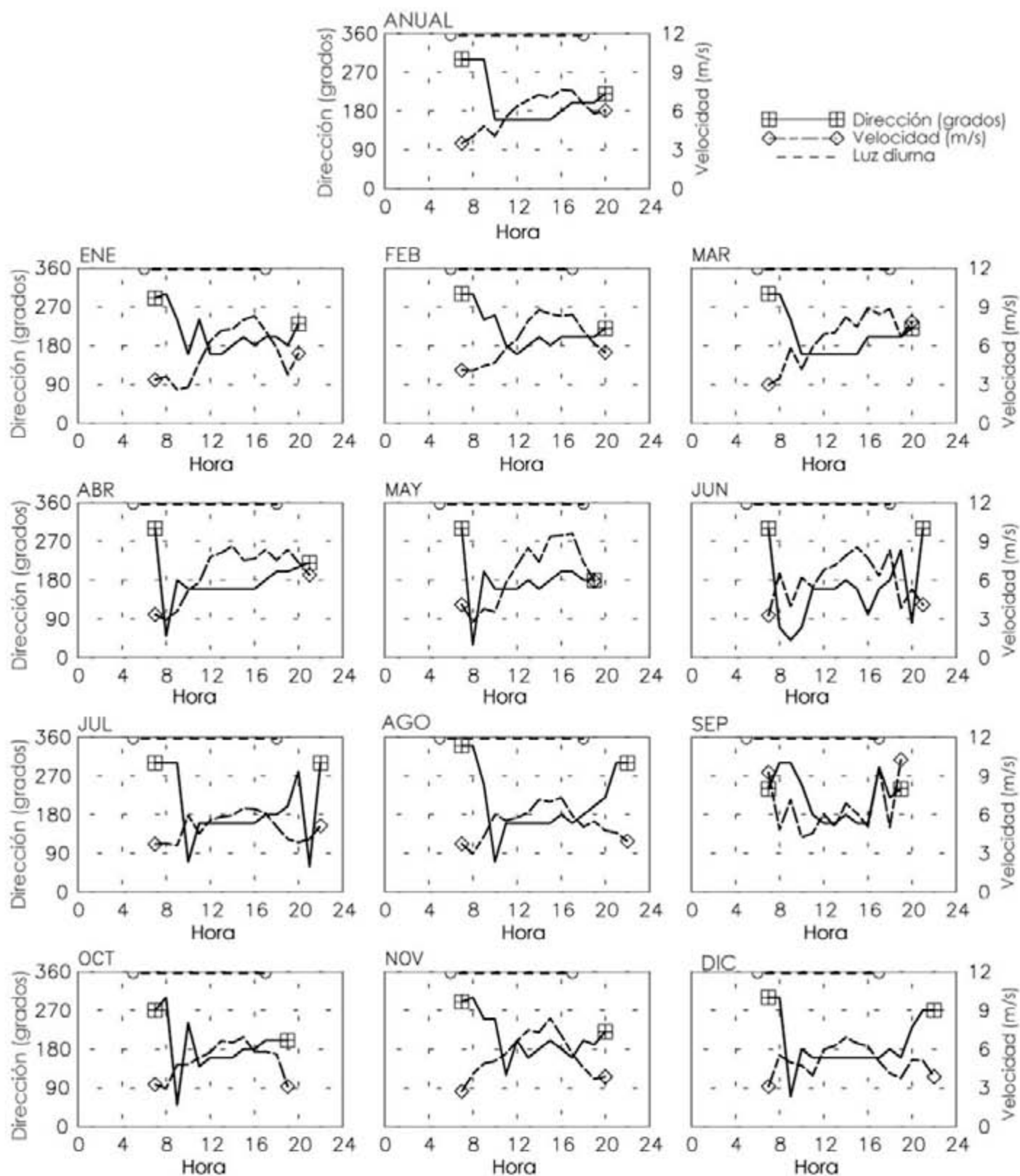
Mar 24 de Junio 10:03:30 2003



# DIRECCIÓN DOMINANTE Y VELOCIDAD POR HORA

BAHIAS DE HUATULCO – 768485

15° 46' N 96° 16' W – Elev 143m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91

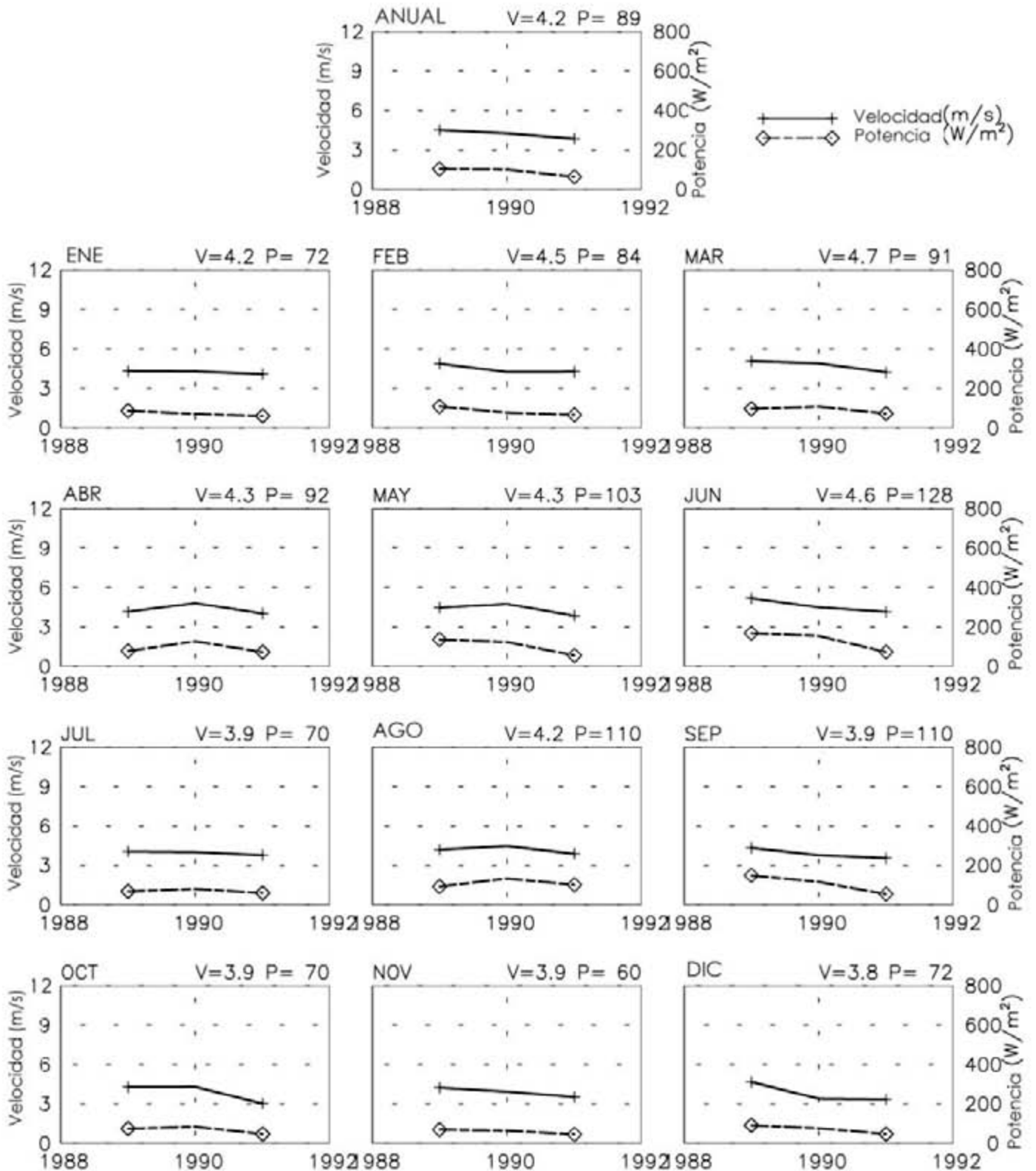


Mar 24 de Junio 10:03:31 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR AÑO

PUERTO ESCONDIDO - 768556

15° 52' N 97° 04' W - Elev 88m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91

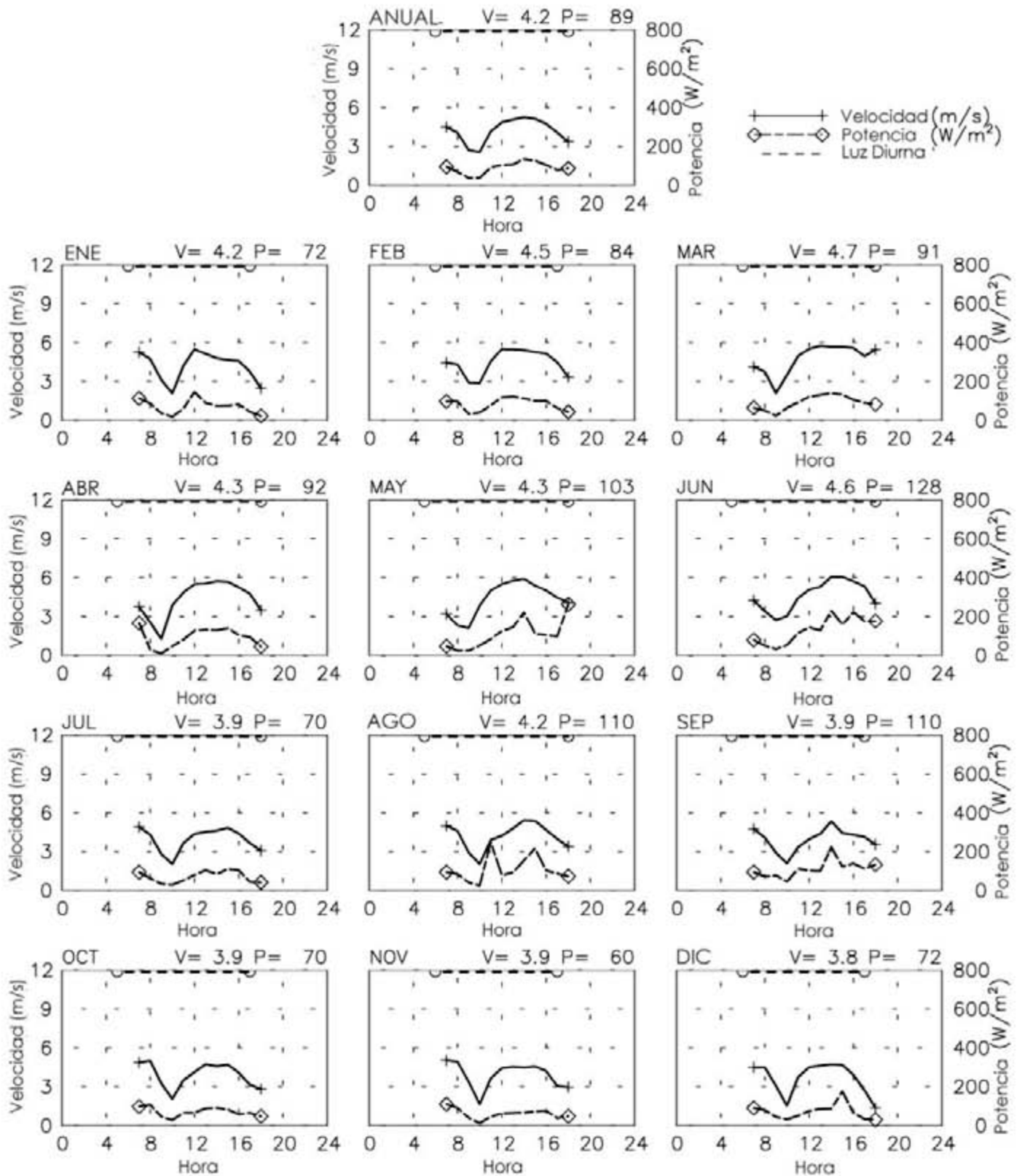


Mar 24 de Junio 10:03:32 2003

# VELOCIDAD Y POTENCIA POR HORA

PUERTO ESCONDIDO – 768556

15° 52' N 97° 04' W – Elev 88m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91

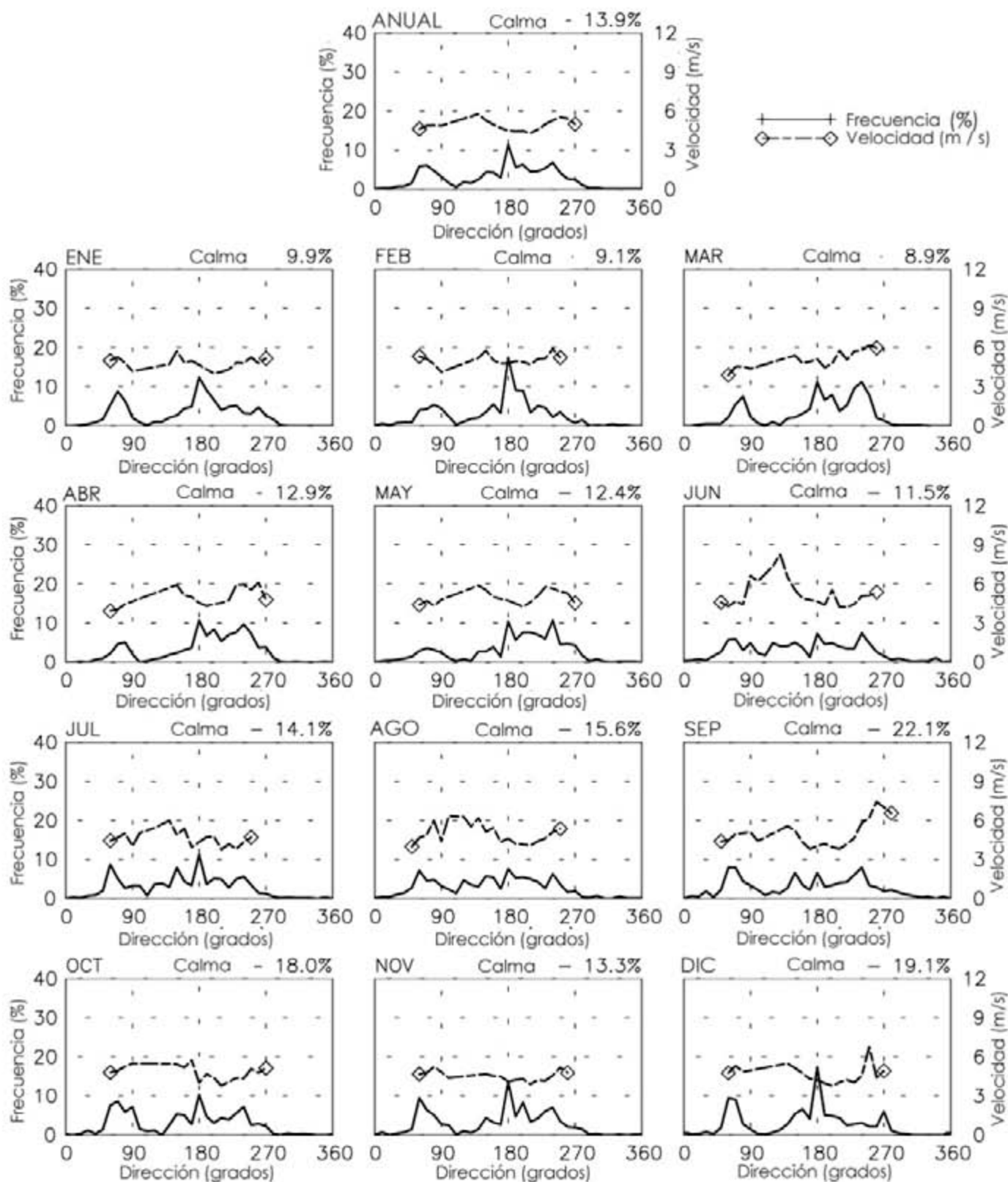


Mar 24 de Junio 0:03:33 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN

PUERTO ESCONDIDO – 768556

15° 52' N 97° 04' W – Elev 88m \*LST=GMT –6 horas NT= –6  
01/89–12/91

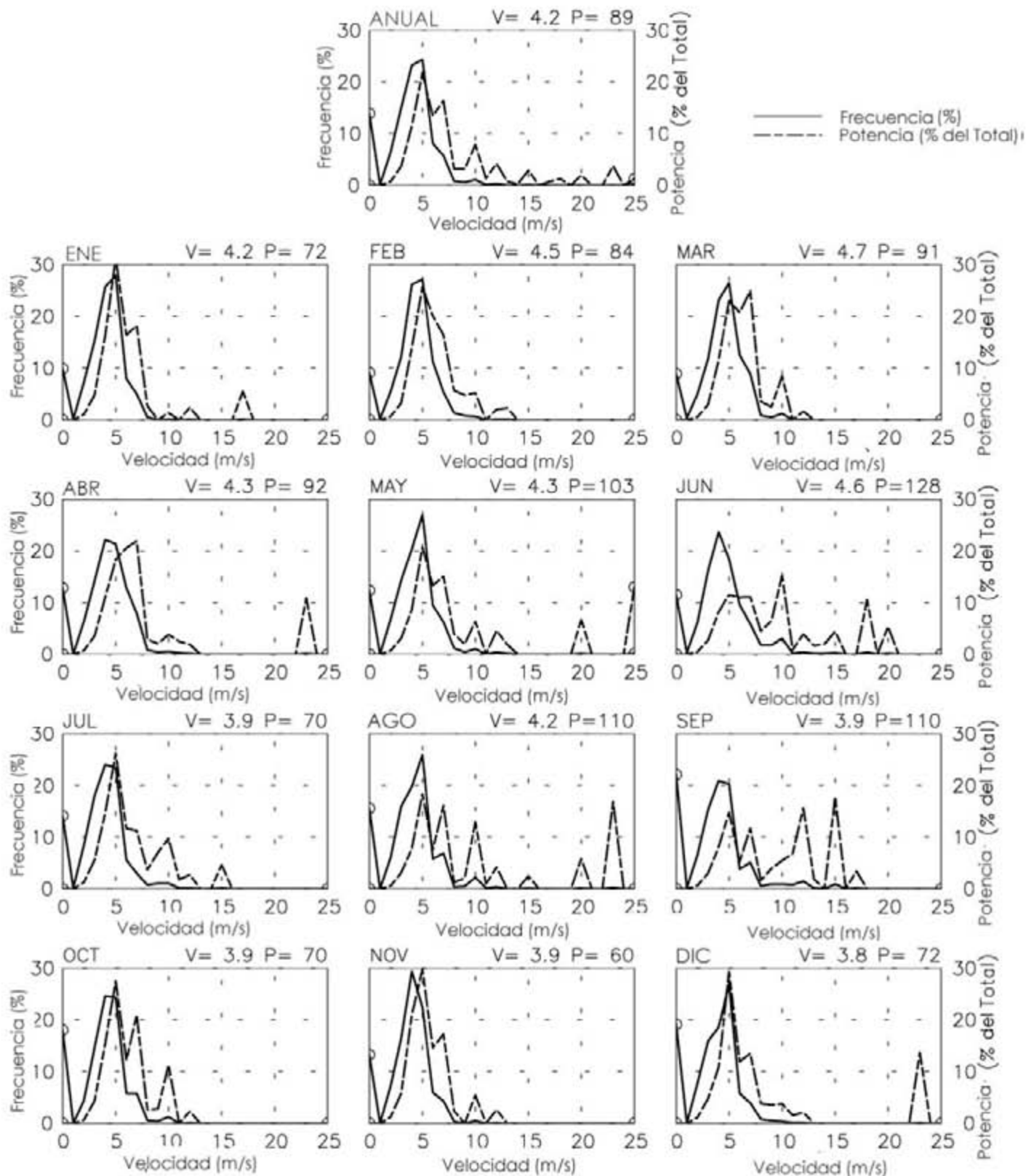


Mar 24 de Junio 10:03:33 2003

# FRECUENCIA DE VELOCIDAD Y PORCENTAJE DE POTENCIA POR VELOCIDAD

PUERTO ESCONDIDO – 768556

15° 52' N 97° 04' W – Elev 88m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91

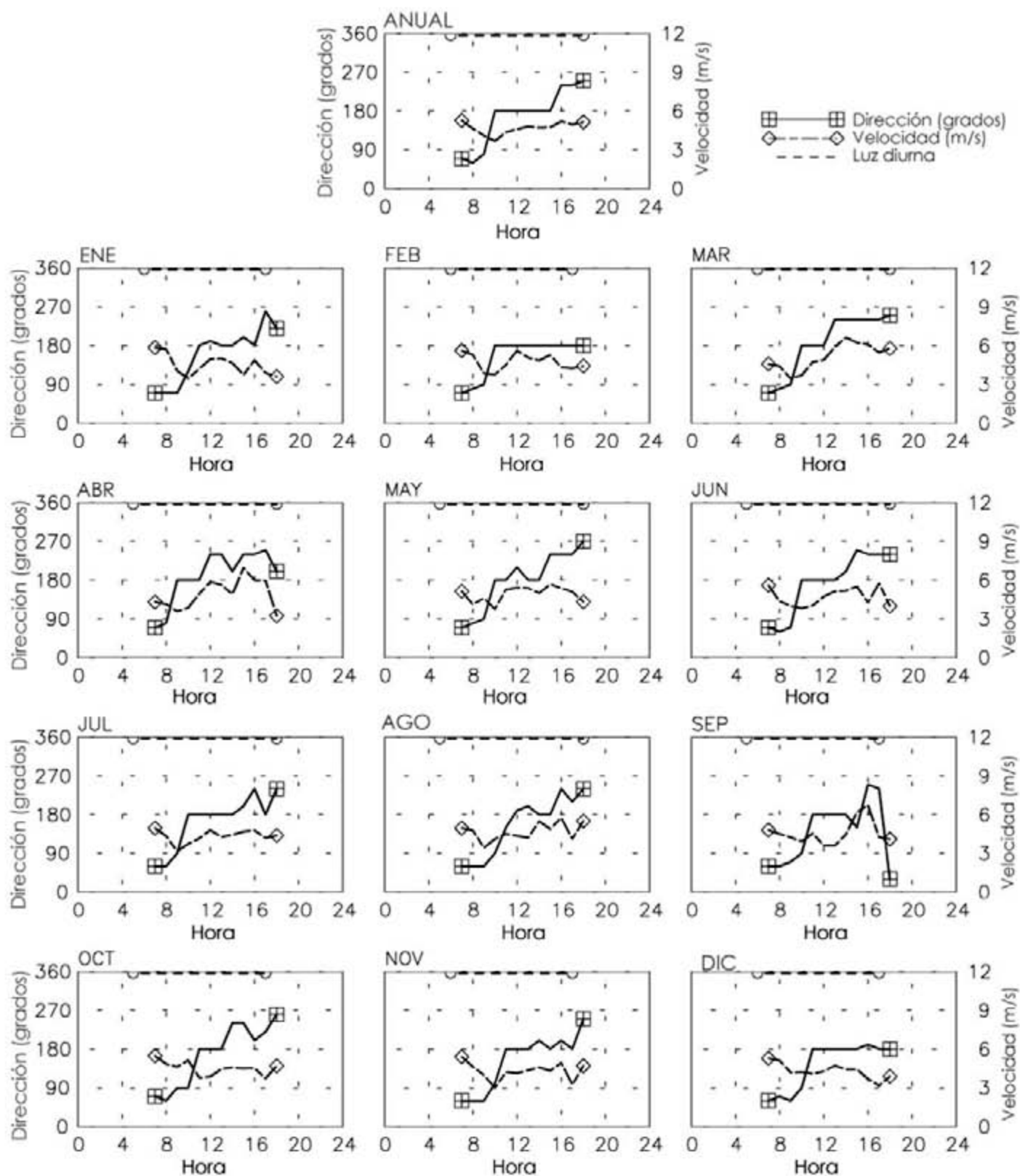


Mar 24 de Junio 10:03:35 2003

# DIRECCIÓN DOMINANTE Y VELOCIDAD POR HORA

PUERTO ESCONDIDO – 768556

15° 52' N 97° 04' W – Elev 88m \*LST=GMT -6 horas NT= -6  
01/89-12/91



Mar 24 de Junio 10:03:36 2003

**Apéndice B**  
**Estaciones Meteorológicas Superficiales**  
**Sitios de la Comisión Nacional del Agua**

**Tabla B.1 Sitios de Medición del Viento de la Comisión Nacional del Agua (ordenados por velocidad del viento)**

Nombre	LatD	LatM	LatS	LonD	LonM	LonS	Elev	WS
CNA, Puerto Angel, Oaxaca	15	2	50	96	2	50	91	7.00
CNA, Ciudad Alemán, Veracruz	18	11	21	96	5	51	29	5.56
Guevea de Humboldt	16	47	20	95	22	18	600	5.00
Santa María del Mar	16	13	17	94	56	41	6	5.00
Tiltepec								5.00
Ixtayutla	16	34	20	97	40	0	510	4.70
CNA, Loma Bonita, Oaxaca	18	1	26	95	5	52	30	4.17
Cuicatlán	17	48	0	96	57	0	595	4.00
El Limón (Tlacamama Jamiltepec)								4.00
Guigovelaga	16	52	0	95	27	0	715	4.00
La Ceiba (Santa María Colotepec)	15	31	45	97				4.00
Río Grande	15	59	0	97	25	0	36	4.00
San José del Pacífico	16	10	0	96	30	0	2320	4.00
San Juan Cieneguilla	17	46	0	98	18	0	2260	4.00
San Juan Lajarcia	16	30	30	95	56	22	795	4.00
San Juan Mixtepec	17	18	0	97	50	0	1750	4.00
Santa Catarina	17	41	0	97	56	0	1250	4.00
Santiago Chazumba	18	10	16	97	44	43	1560	4.00
Santiago Teotongo	17	43	0	97	32	0	2000	4.00
Santiago Teotongo								4.00
Sarabia (Juchitán)	17	4	16	95	1	22	80	4.00
Silacayoapan	17	30	0	98	8	0	1440	4.00
San Juan Bautista Cuicatlán								4.00
San Agustín Tlacotepec								4.00
Suchixtlahuaca	17	43	45	97	22	0	1875	4.00
Telixtlahuaca	17	17	57	96	54	22	1728	4.00
Totolapan	16	40	13	96	18	25	800	4.00
Yanhuitlán								4.00
Zacatepec	17	9	0	96	56	0	900	4.00
Tomatal III	16	29	30	98	17	0	40	3.90
El Encino	17	48	0	98	3	0	1310	3.70
La Blanca (Santo Domingo Ingenio)	16	35	37	94	41	40	40	3.70
El Porvenir								3.60
Etla	17	10	0	96	48	0	1450	3.60
Comitancillo								3.50
Km. 51+740	16	25		95	43		40	3.50
Santo Domingo Barrio Bajo								3.50
Tecnológico								3.40
CNA, Huajuapán de León, Oaxaca	17	49	37.6	97	48	22		3.33
Tehuantepec	16	19	0	95	14	5		3.10
El Fortín	17	4	0	96	43	0	1700	3.00
Ixtepec	16	33	8	95	5	5	57	3.00
Jamiltepec	16	17	0	97	50	0	80	3.00



---

Km. 33+190	16	34		95	16		41	3.00
La Cordillera	16	51	3	95	27	21	1320	3.00
San Francisco del Mar	16	21	35	94	34	46	10	3.00
San Isidro	15	44	21	96	32	41	14	3.00
San Juan Ihualtepec	17	42	0	98	19	0	3240	3.00
San Martín Itunyoso	17	10	0	97	51	0	1820	3.00
Santa María Coatlán	16	51	24	95	31	56	1250	3.00
Santa María Xadani	16	21	38	95	1	16	6	3.00
Santa María Zaniza	16	39	4	97	20	17	1200	3.00
Santiago Tamazola	18	42	2	98	11	0	1680	3.00
San Antonio Monteverde	17	30	0	97	48	0	2400	3.00
San Francisco Yosocuta	17	43	0	97	51	0	1320	3.00
Santiago Chilixtlahuaca	17	44	0	97	53	0	1830	3.00
Santos Reyes Tepejillo	17	26	0	97	55	0	2000	3.00
Santa Cruz Río Venado	17	2	0	97	59	0	1000	3.00
Tapanatepec	16	24	9	94	12	58	42	3.00
Teposcolula	17	30	42	97	29	22	1940	3.00
Tezoatlán	17	40	1	97	48	0	1535	3.00
Tilantongo	17	17	18	97	22	41	2250	3.00
Yautepec Ecatepec	16	17	30	95	52	50	1716	3.00
Chahuities	16	17	0	94	12	0	35	2.70
Coixtlahuaca	17	42	0	97	19	0	2080	2.70
El Morro Tehuantepec	16	7	0	95	17	0	60	2.60
Cosoltepec	18	15	0	97	42	0	1700	2.50
Guivisia								2.50
Jaltepec	17	19	17	97	13	9	1950	2.50
San Pedro Huamelula	16	1	0	95	40	0	108	2.50
Huamelula	16	1	0	95	40	0	108	2.30
Juchitán	16	26	57	95	1	28	10	2.20
Zapotitlán Lagunas	17	39	0	98	25	0	1380	2.20
Candelaria	15	55	4	96	29	29	380	2.00
Chalcatongo	17	1	0	97	35	0	2250	2.00
Chilapa de Díaz	17	35	0	97	37	0	2000	2.00
Coyotepec	16	57	25	96	42	3	1460	2.00
El Barrio	16	47	0	95	5	0	230	2.00
El Encino	17	48	0	98	3	0	1310	2.00
El Hicigo	16	57	0	94	31	0	250	2.00
El Marqués	16	26	5	95	22	26	98	2.00
Huitzo	17	17	0	96	53	0	1554	2.00
Jalapa del Marqués	17	3	58	96	52	43	1652	2.00
Jalatengo	15	59	30	96	30	39	1260	2.00
Reyes Mantecón	16	54	26	96	43	32	1471	2.00
San Andrés Chicahuaxtla	17	4	0	97	50	0	2500	2.00
San Andrés Lagunas	17	34	22	97	31	26	2250	2.00
San Antonio Huitepec	16	55	38	97	9	4	2375	2.00
San Baltazar Loxicha	16	4	6	96	47	40	525	2.00

---

San Bartolo Yautepec	16	25	52	95	58	25	778	2.00
San Isidro Chacalapa	15	51	21	95	56	1	71	2.00
San Jerónimo Taviche								2.00
San Jorge Nuchita	17	40	0	98	7	0	1130	2.00
San José Lachiguiri	16	23	0	96	20	0	1800	2.00
San Juan Copala	17	10	0	97	57	0	1640	2.00
San Juan Guelavia	16	57	18	96	32	52	1596	2.00
San Juan Nochixtlán	18	6	0	97	38	0	1100	2.00
San Pedro Huamelula	16	1	0	95	40	0	108	2.00
Santa María Zoquitlán	16	33	0	96	22	0	1003	2.00
Santiago Minas	16	25	22	97	13	53	920	2.00
San Lorenzo Vista Hermosa	17	58	0	98	0	0	1900	2.00
Santa Cruz Tierra Negra	17	13	7	95	26	37	280	2.00
Tamazulapan	17	40	0	97	35	0	1770	2.00
Tapanala	15	57	47	95	43	22	37	2.00
Tejomulco								2.00
Tezoatlán II	17	40	1	97	47	46	1580	2.00
Zimatlán de Álvarez	16	52	27	96	45	14	1501	2.00
Zapotitlán Palmas	17	53	0	97	48	0	848	1.90
Huajuapán de León	17	48	0	97	46	0	1575	1.60
San Pedro Nopala								1.60
Yodocono de Porfirio Díaz	17	23	0	97	21	0	2310	1.60
Jalapa del Valle	15	59	30	96	30	39	1260	1.40
Agua Fría	17	13	42	98	0	0	1800	1.20
Cozoaltepec	15	47	23	96	43	35	100	1.00
Díaz Ordaz	16	59	51	96	25	57	1750	0.90
Guadalupe de Membrillos	18	42	2	97	36	31	2500	0.60
Chacalapa	15	48	53	96	27	56	240	0.30
Nejapan de Madero								0.20
Chacalapa	15	48	53	96	27	56	240	0.10
San Juan Guichicovi	16	57	51	95	5	42	220	0.00
Tepelmeme	17	53	0	97	22	0	2060	0.00
Huatulco	15	49	0	96	19	0	250	
Santa María Chimalapa	16	54	28	94	41	23	260	
Santiago Yosondua	17	43	0	97	51	0	2000	
Santo Domingo Zanatepec	16	29	0	94	21	0	35	

Los espacios en blanco indican datos faltantes. Las ubicaciones no han sido verificadas y se sabe que algunas son incorrectas. LatD, LatM y LatS indican la latitud Norte en grados, minutos y segundos. LonD, LonM y LonS indican la longitud Oeste en grados, minutos y segundos. La elevación se indica en metros sobre el nivel del mar. La velocidad del viento se indica en metros por segundo. Se especificó una altura típica de los anemómetros a 7m sobre el nivel del suelo.

**Tabla B.2 Velocidades Mensuales del Viento en Estaciones Selectas de la Comisión Nacional del Agua**

Nombre	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Santa María del Mar	5	6	6	4	4	4	2	4	4	4	6	6	4
Tiltepec	5	2	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6
Guevea de Humboldt	5	4	4	5	5	5.6	5	5	4.6	4	4.6	6	5
Ixtayutla	4.7	2	5	3	5.8	4.5	4	6	5.7	3.8	4	5.6	8
San Agustín Tlacotepec	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
San José del Pacífico	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	2	6	2
San Juan Lajarcia	4	5	5	4	6	5	4	4	4	4	4	4	4
San Juan Cieneguilla	4	4	4	6	2	6	2	2	2	6	2	2	4
San Juan Mixtepec	4	4	2	2	2	2	4	4	2	6	4	4	6
San Juan Bautista Cuicatlán	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Zacatepec	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Sarabia (Juchitán)	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Silacayoapan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Suchixtlahuaca	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Santiago Teotongo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Santa Catarina	4	3	2	2	2	2	4	7	6	3	4	4	2
Santiago Chazumba	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Totolapan	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Santiago Teotongo	4	4	4	4	4	4	2	6	4	6	2	2	2
Telixtlahuaca	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4
Cuicatlan	4		4	4	4	4					4	4	4
Guigovelaga	4		1			1			4	4	1		2
El Limón (Tlacamama)	4	4.4	5	5.6	5.7	4	3	4	4.5	4.7	4	4	4
Río Grande	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Yanhuitlán	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	2	5	5
La Ceiba (Santa María)	4	4	4	4.6	6.5	4	4	4	4	4	4	4	2

**Apéndice C**

**Reanálisis de Datos del Viento de Niveles Superiores del Aire**

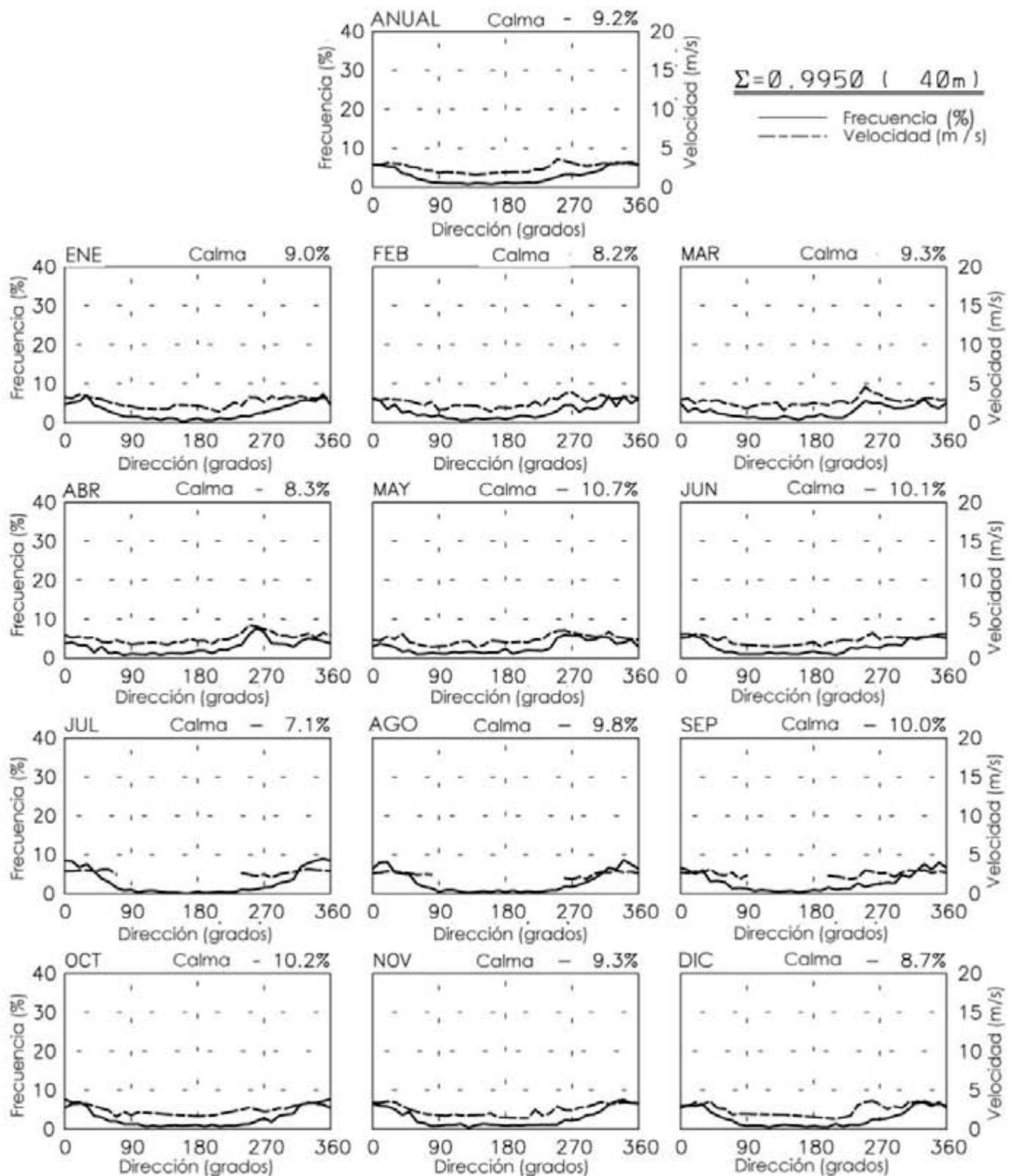
**Resúmenes de Análisis**

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07244 - 0500 LST

18° 05' N 97° 30' W - Elev 1328m

01/58-12/97



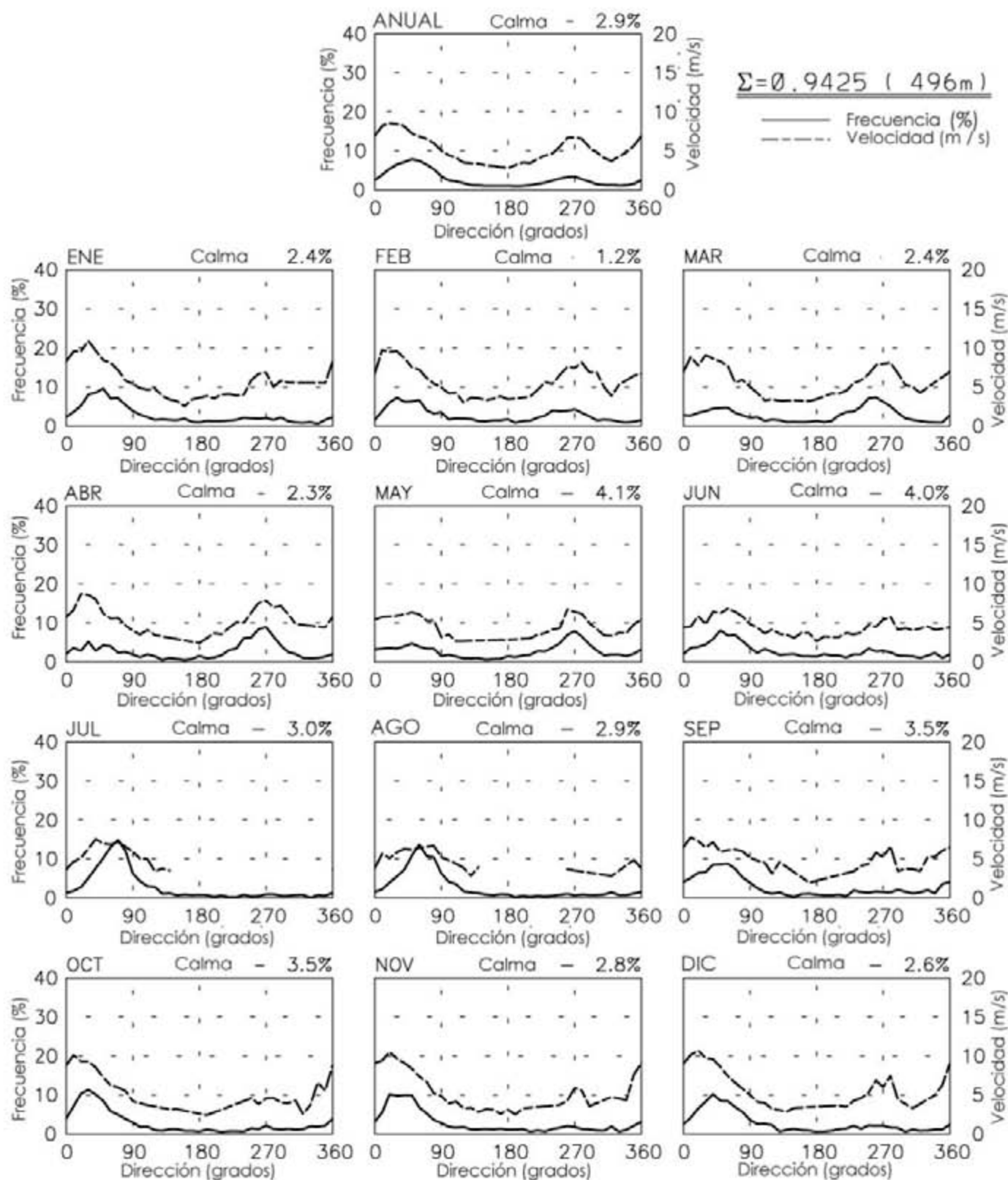
Mar 24 de Junio 14:36:42 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07244 - 0500 LST

18° 05' N 97° 30' W - Elev 1328m

01/58-12/97



Mar 24 de Junio 14:36:43 2003

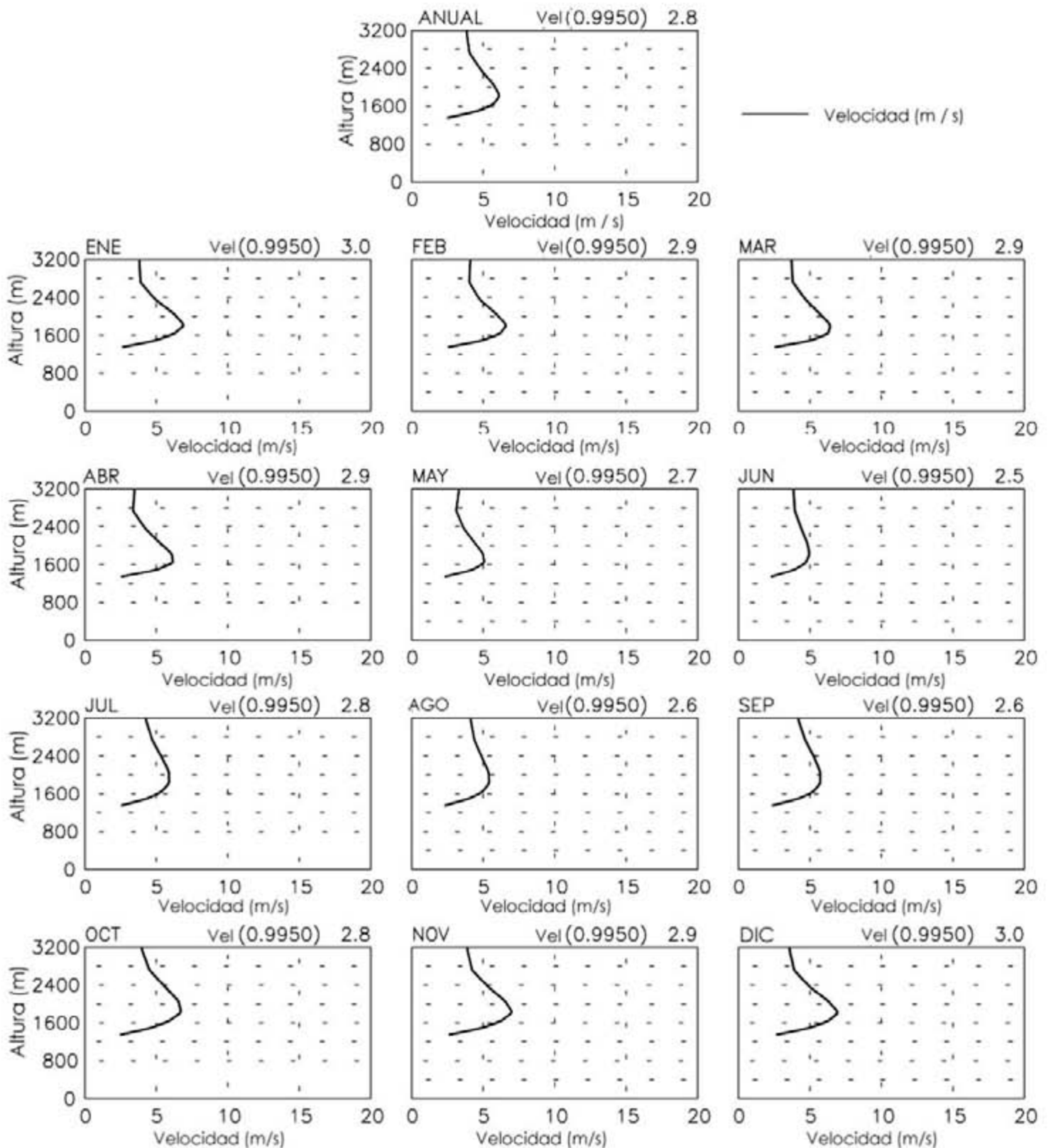


# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07244 - 0500 LST

18° 05' N 97° 30' W - Elev 1328m

01/58-12/97



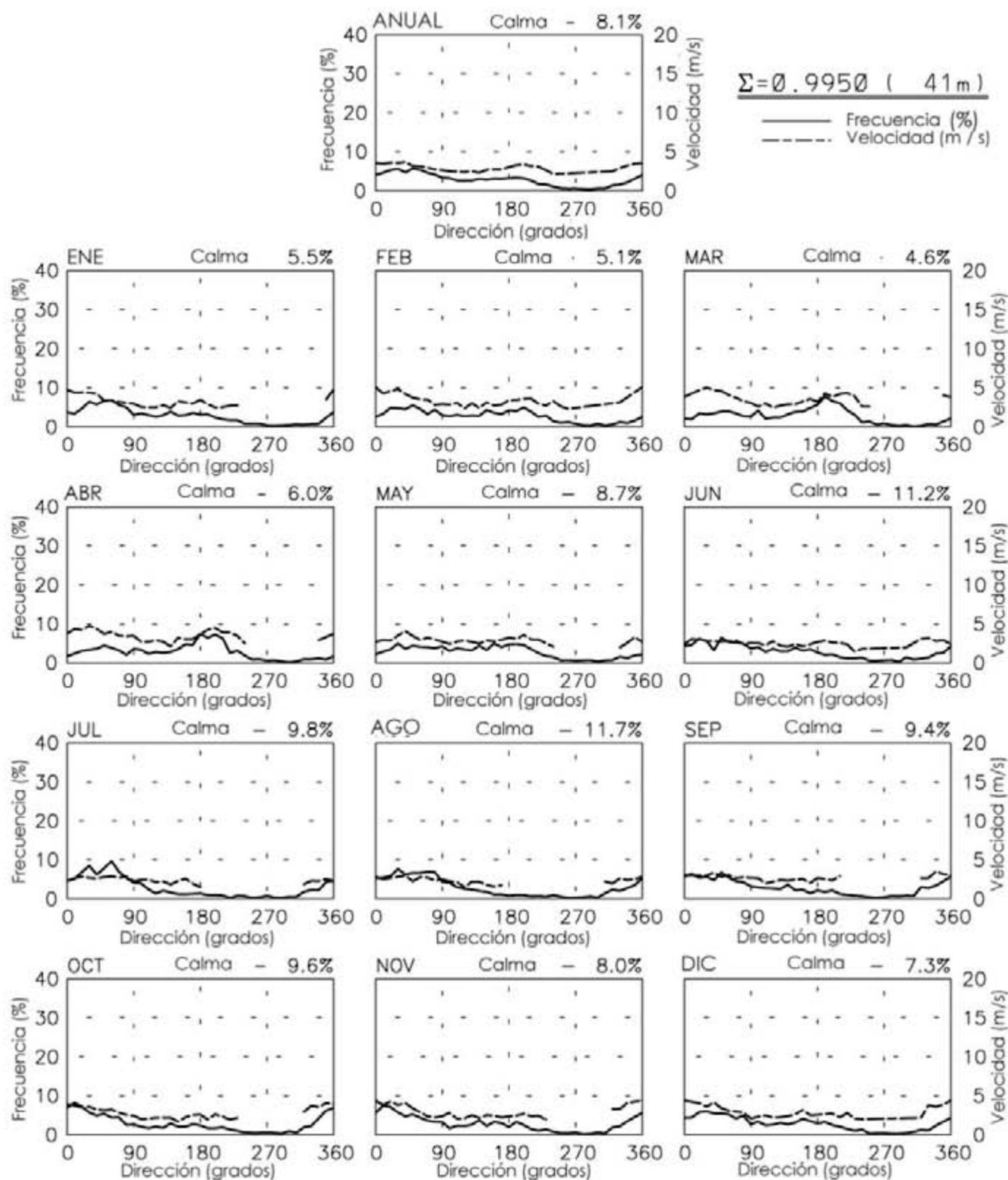
Mar 24 de Junio 14:31:58 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07244 - 1700 LST

18° 05' N 97° 30' W - Elev 1328m

12/57-12/97



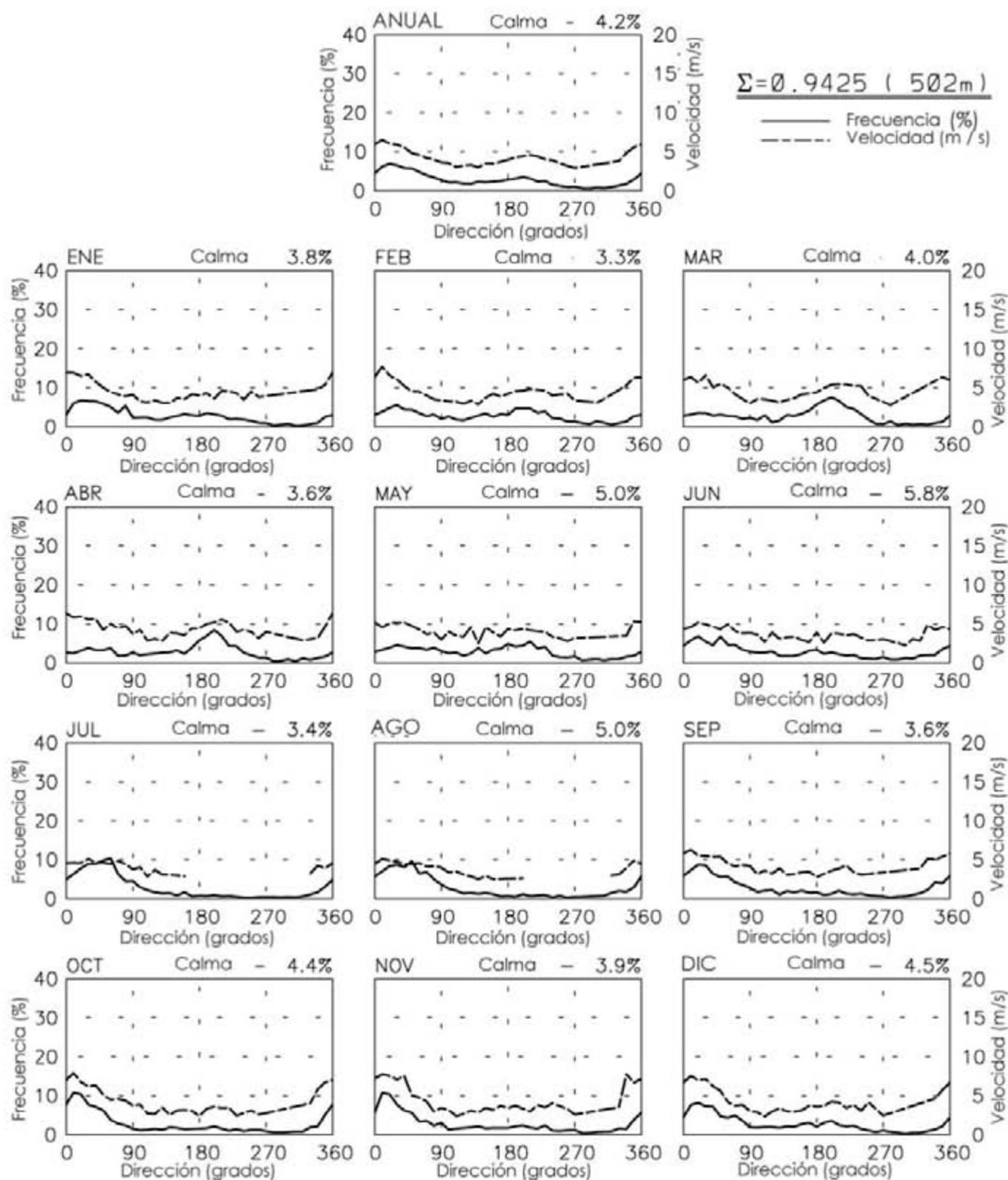
Miérc 2 de Julio 14:54:36 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07244 - 1700 LST

18° 05' N 97° 30' W - Elev 1328m

12/57-12/97



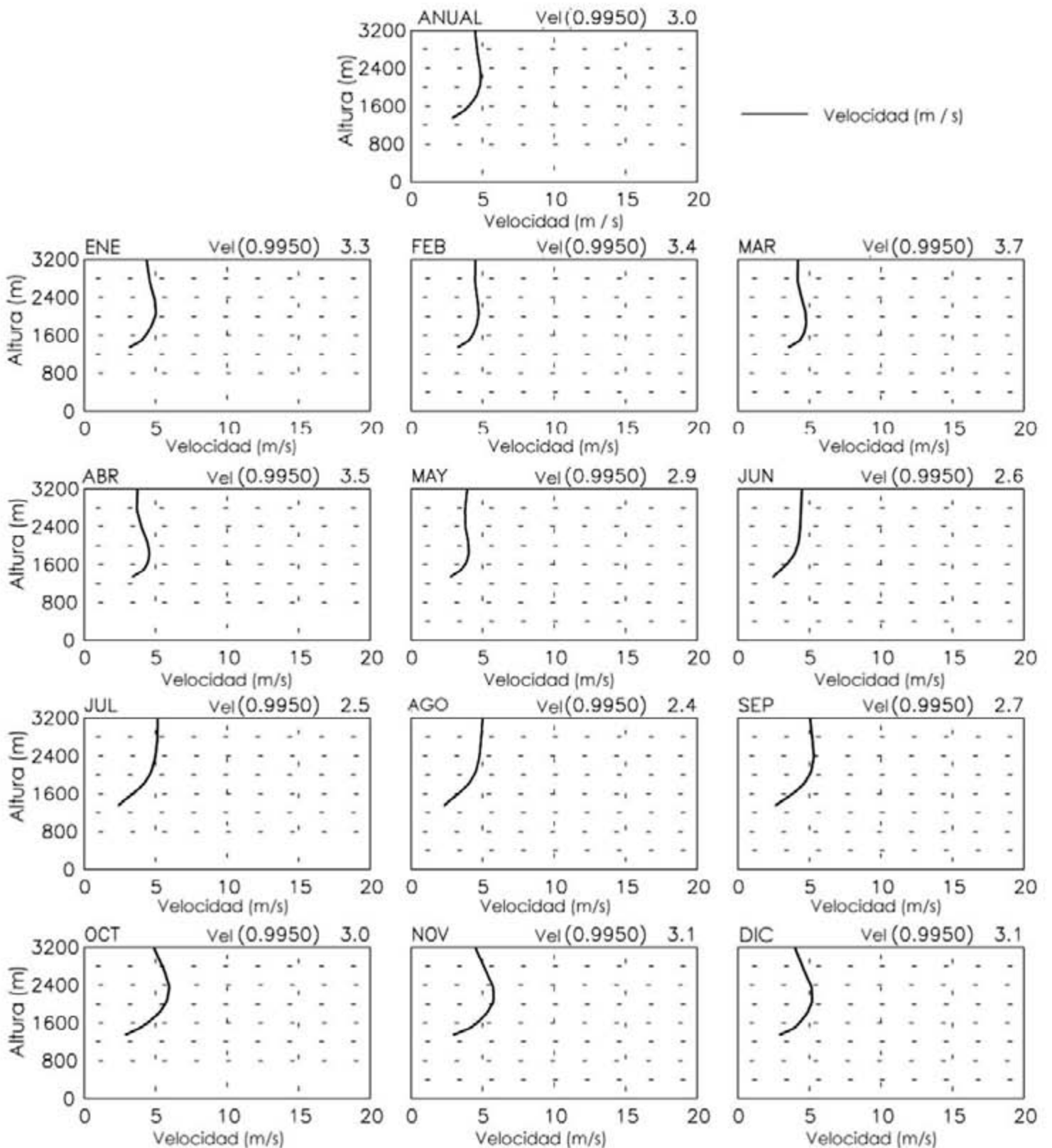
Miérc 2 de Julio 14:54:36 2003

# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07244 - 1700 LST

18° 05' N 97° 30' W - Elev 1328m

12/57-12/97



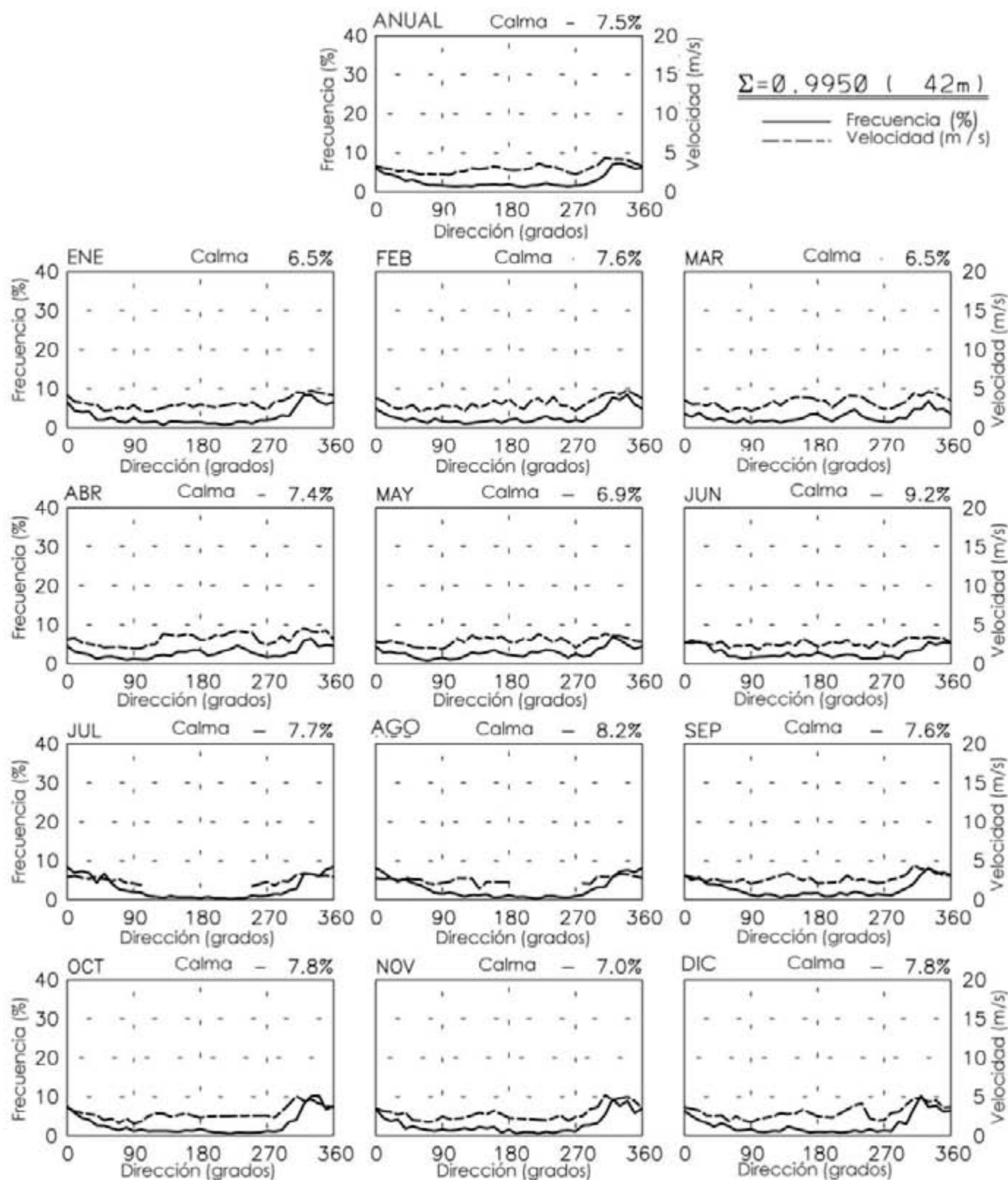
Miérc 2 de Julio 14:54:35 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07245 - 0600 LST

18° 05' N 95° 37' W - Elev 629m

01/58-12/97



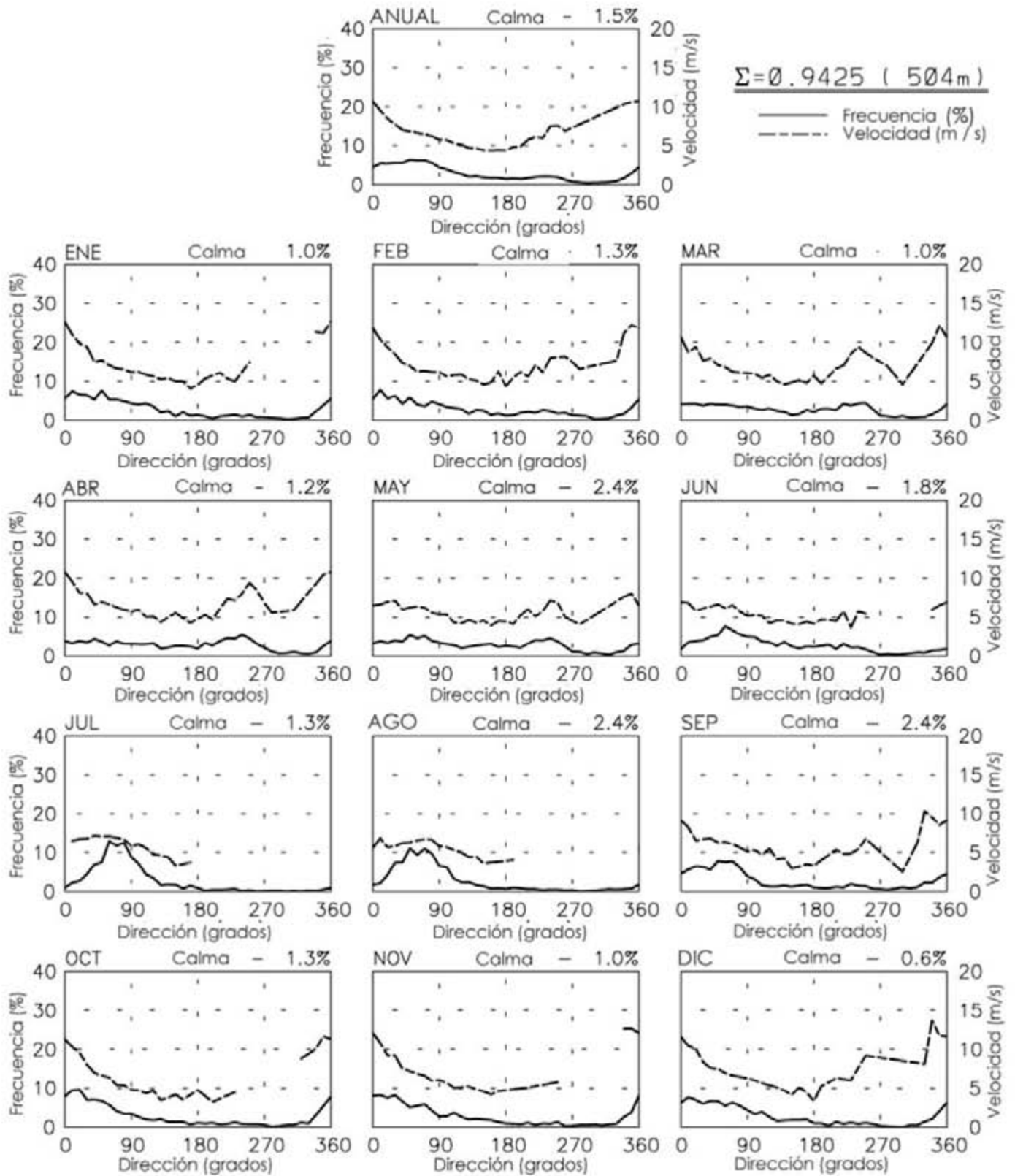
Mar 24 de Junio 14:37:05 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07245 - 0600 LST

18° 05' N 95° 37' W - Elev 629m

01/58-12/97



Mar 24 de Junio 14:37:06 2003

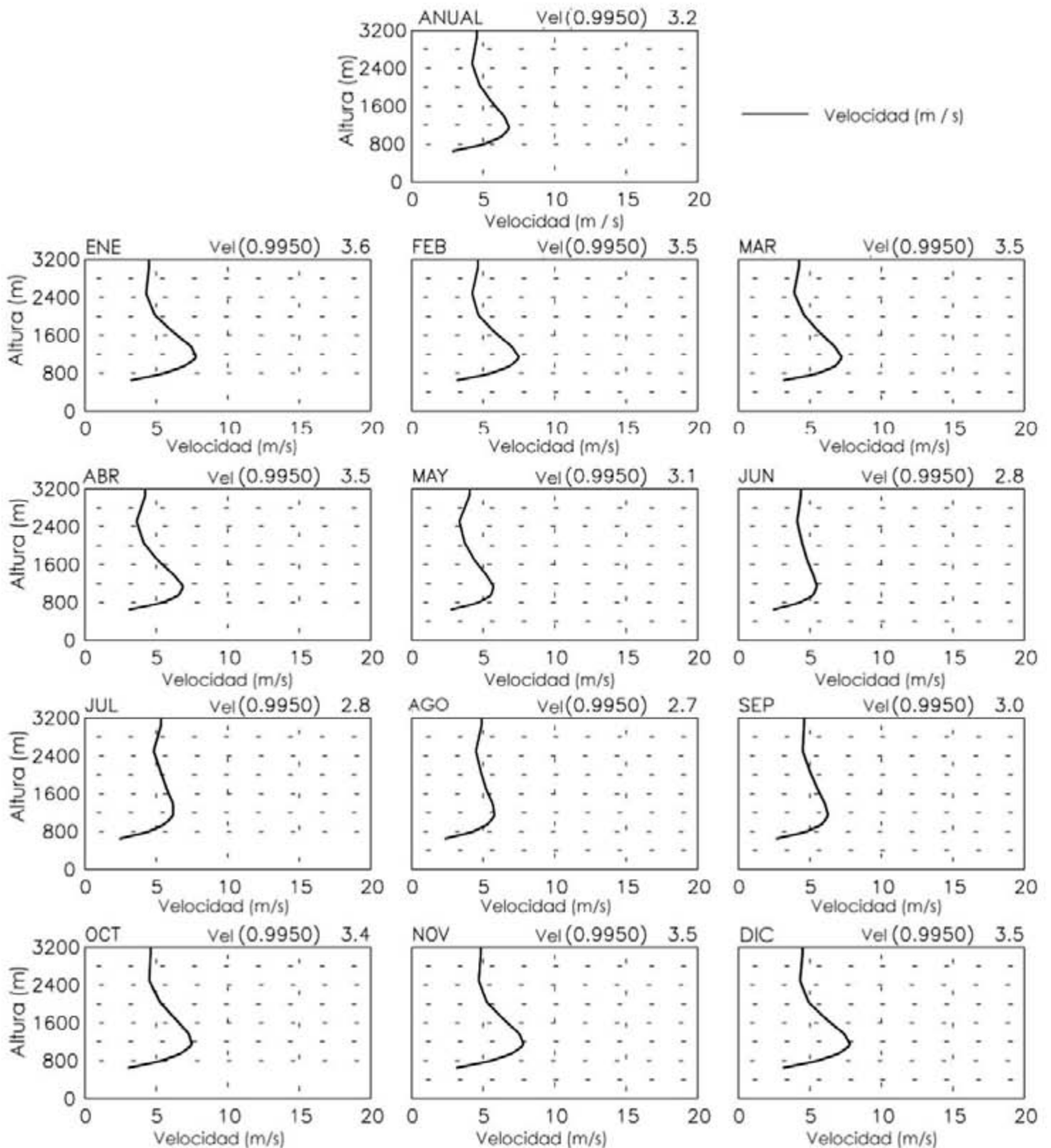


# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07245 - 0600 LST

18° 05' N 95° 37' W - Elev 629m

01/58-12/97



Mar 24 de Junio 14:32:21 2003

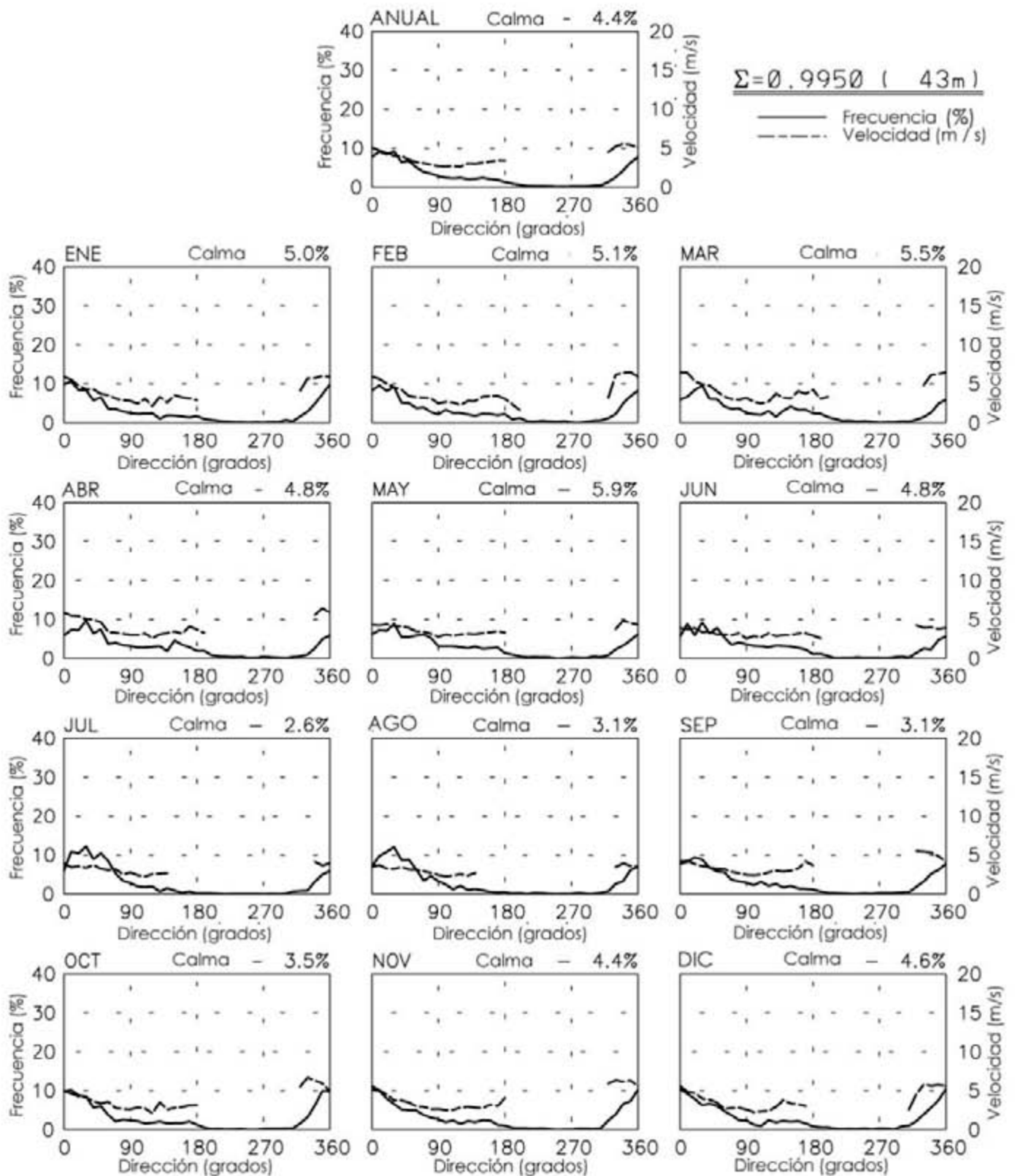


# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07245 - 1800 LST

18° 05' N 95° 37' W - Elev 629m

12/57-12/97



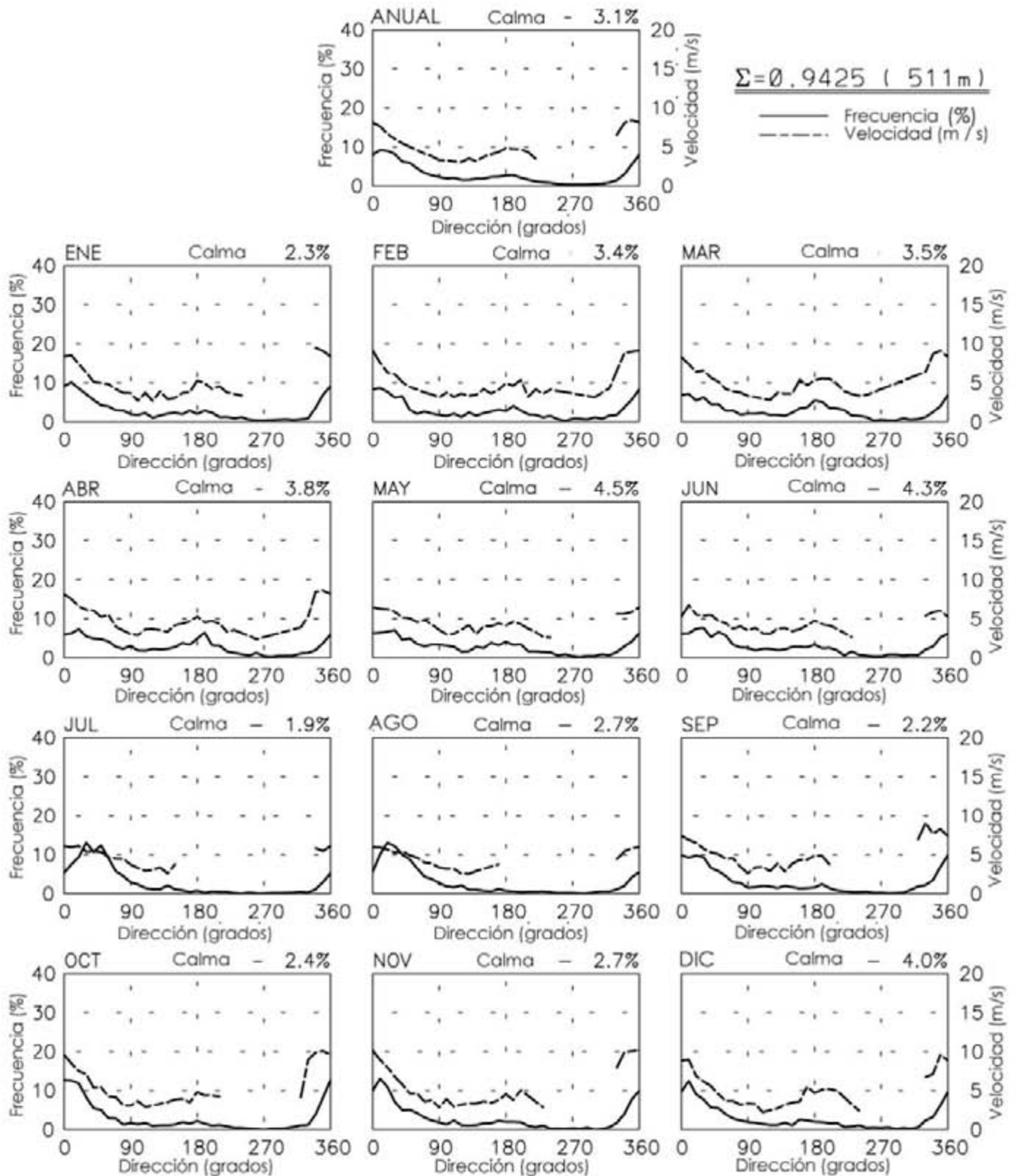
Miérc 2 de Julio 14:55:00 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07245 - 1800 LST

18° 05' N 95° 37' W - Elev 629m

12/57-12/97



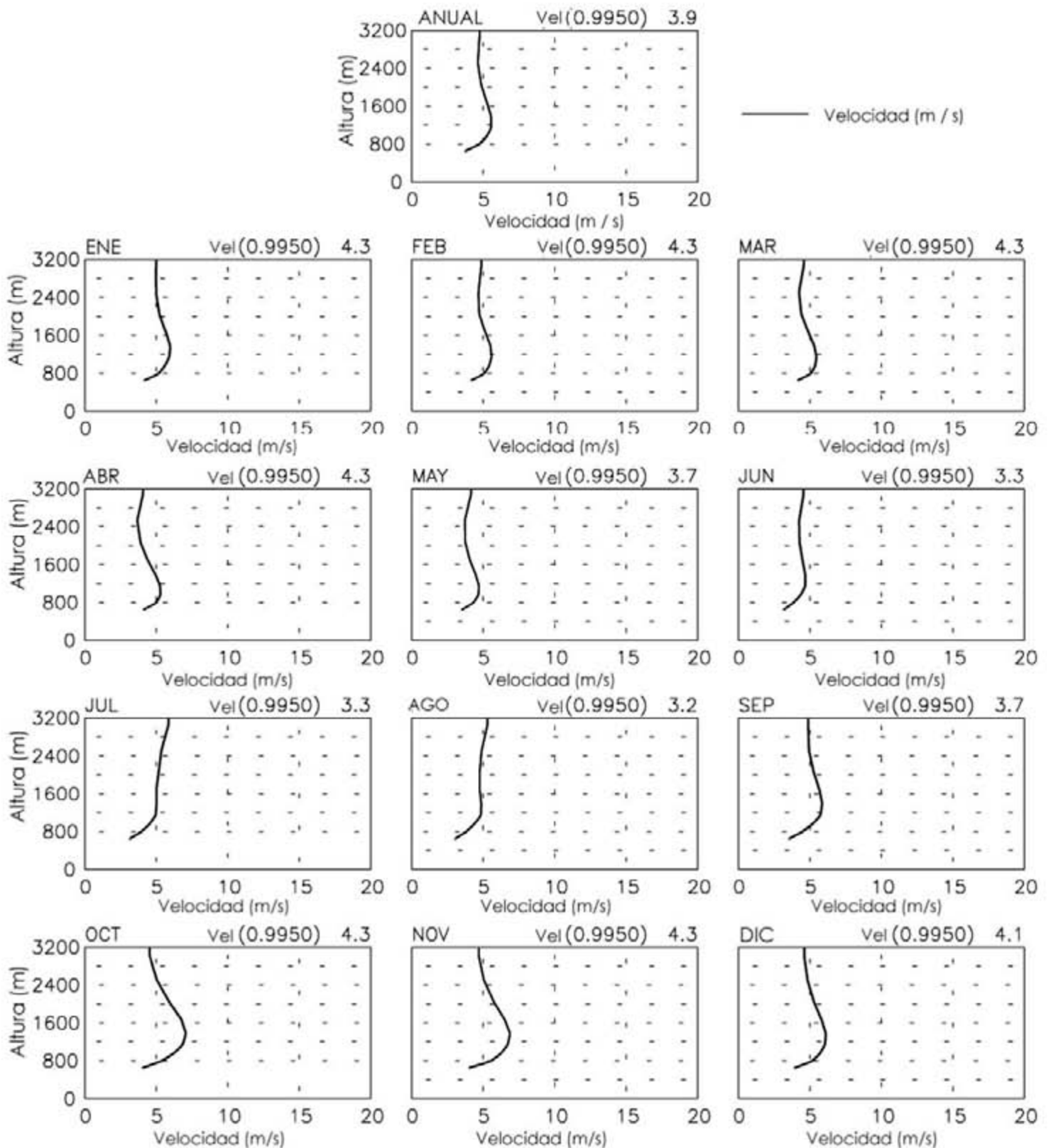
Miérc 2 de Julio 14:55:01 2003

# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07245 - 1800 LST

18° 05' N 95° 37' W - Elev 629m

12/57-12/97



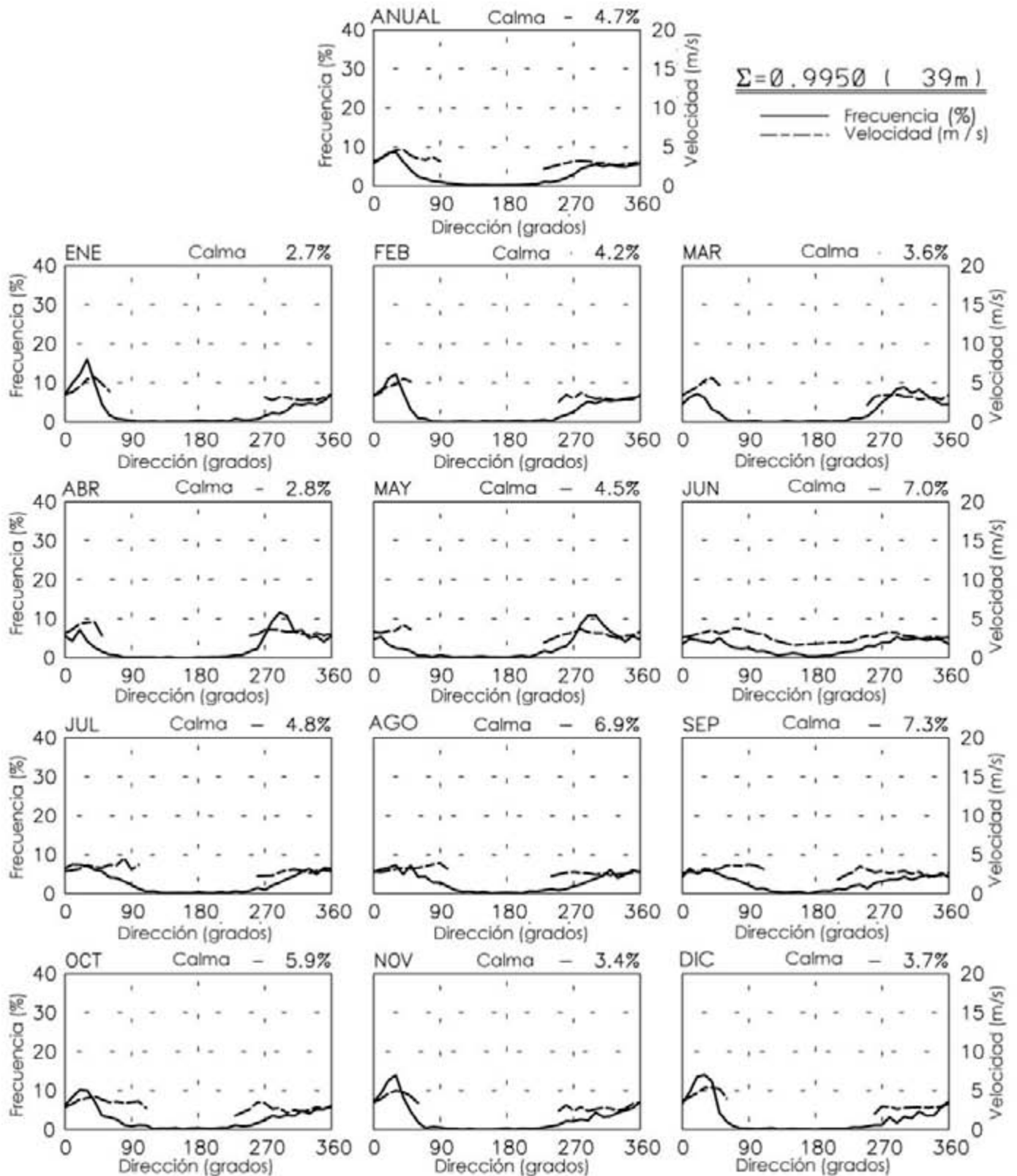
Miérc 2 de Julio 14:54:59 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07436 - 0500 LST

16° 11' N 97° 30' W - Elev 705m

01/58-12/97



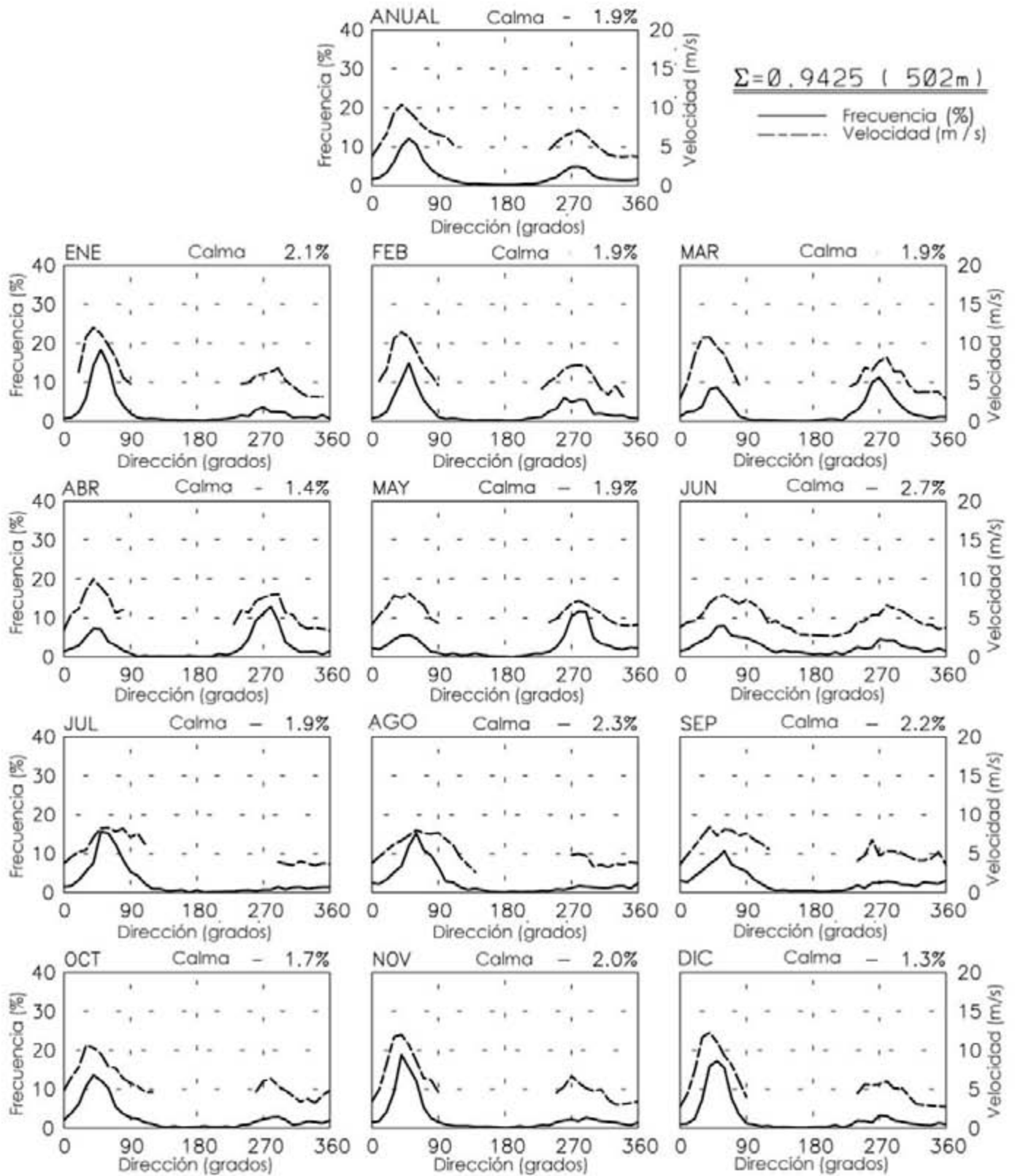
Mar 24 de Junio 14:37:29 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07436 - 0500 LST

16° 11' N 97° 30' W - Elev 705m

01/58-12/97



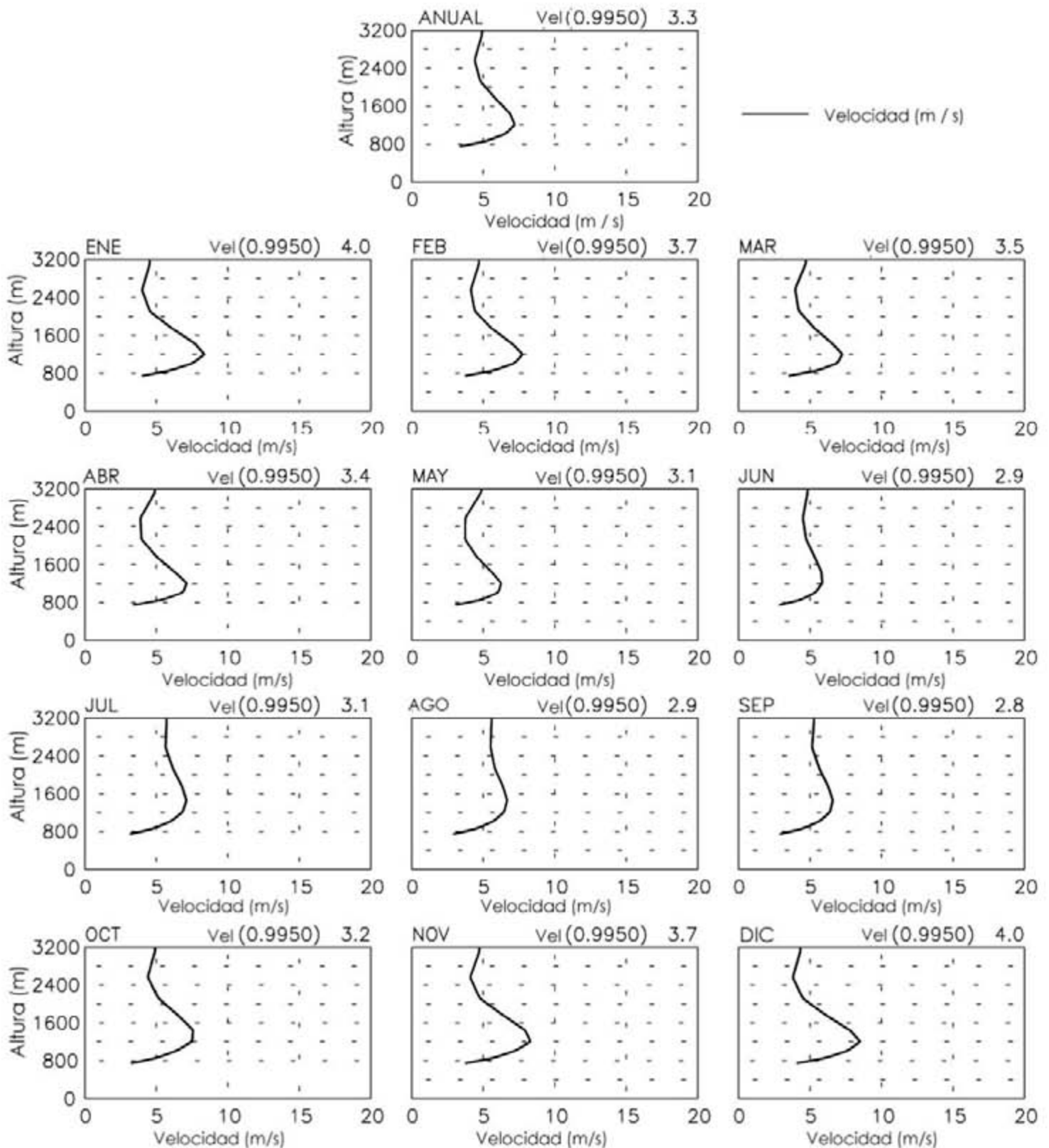
Mar 24 de Junio 14:37:30 2003

# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07436 - 0500 LST

16° 11' N 97° 30' W - Elev 705m

01/58-12/97



Mar 24 de Junio 14:32:44 2003

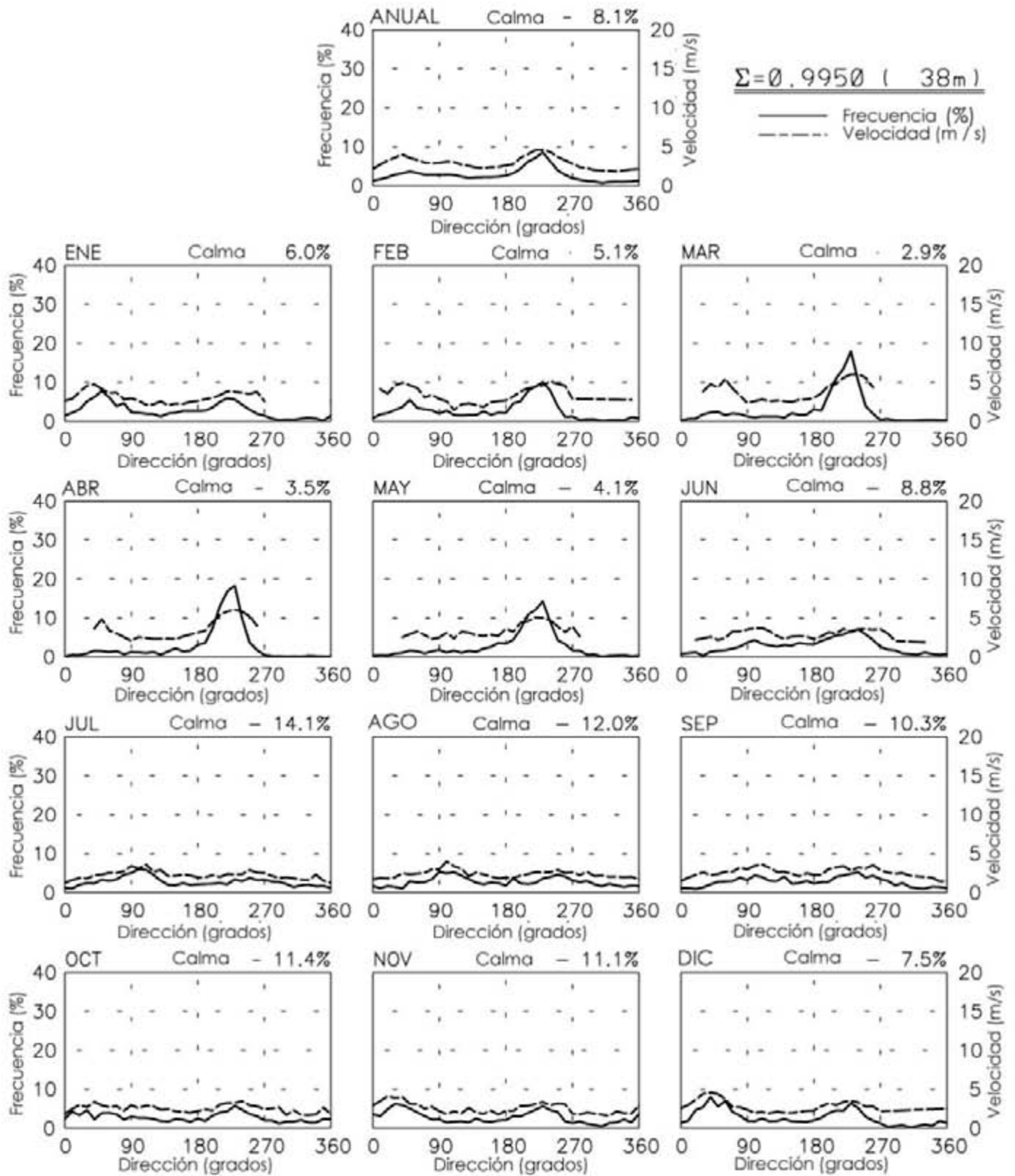


# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07436 - 1700 LST

16° 11' N 97° 30' W - Elev 705m

12/57-12/97



Miérc 2 de Julio 14:55:25 2003

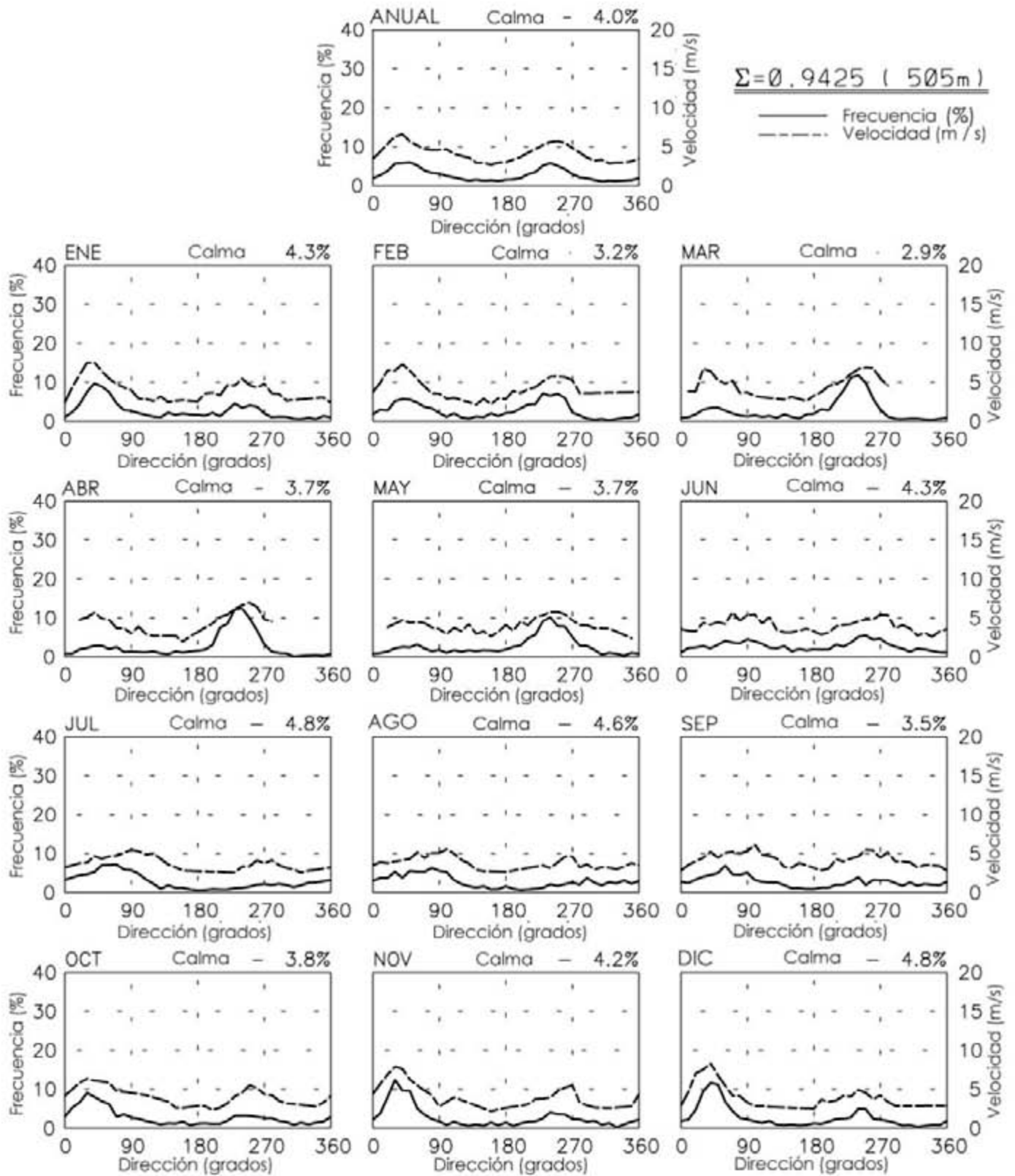


# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07436 - 1700 LST

16° 11' N 97° 30' W - Elev 705m

12/57-12/97



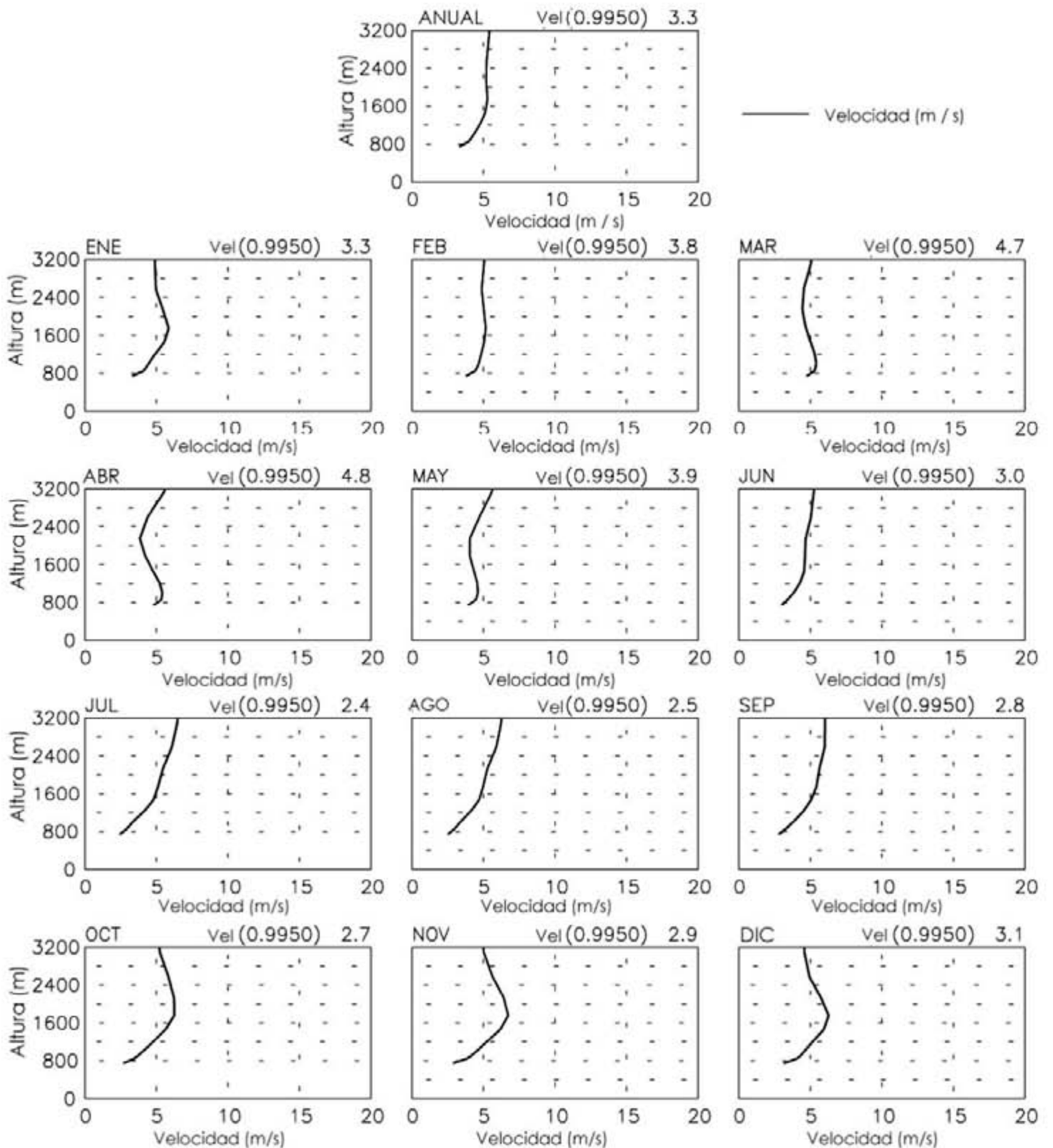
Miérc 2 de Julio 14:55:25 2003

# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07436 - 1700 LST

16° 11' N 97° 30' W - Elev 705m

12/57-12/97



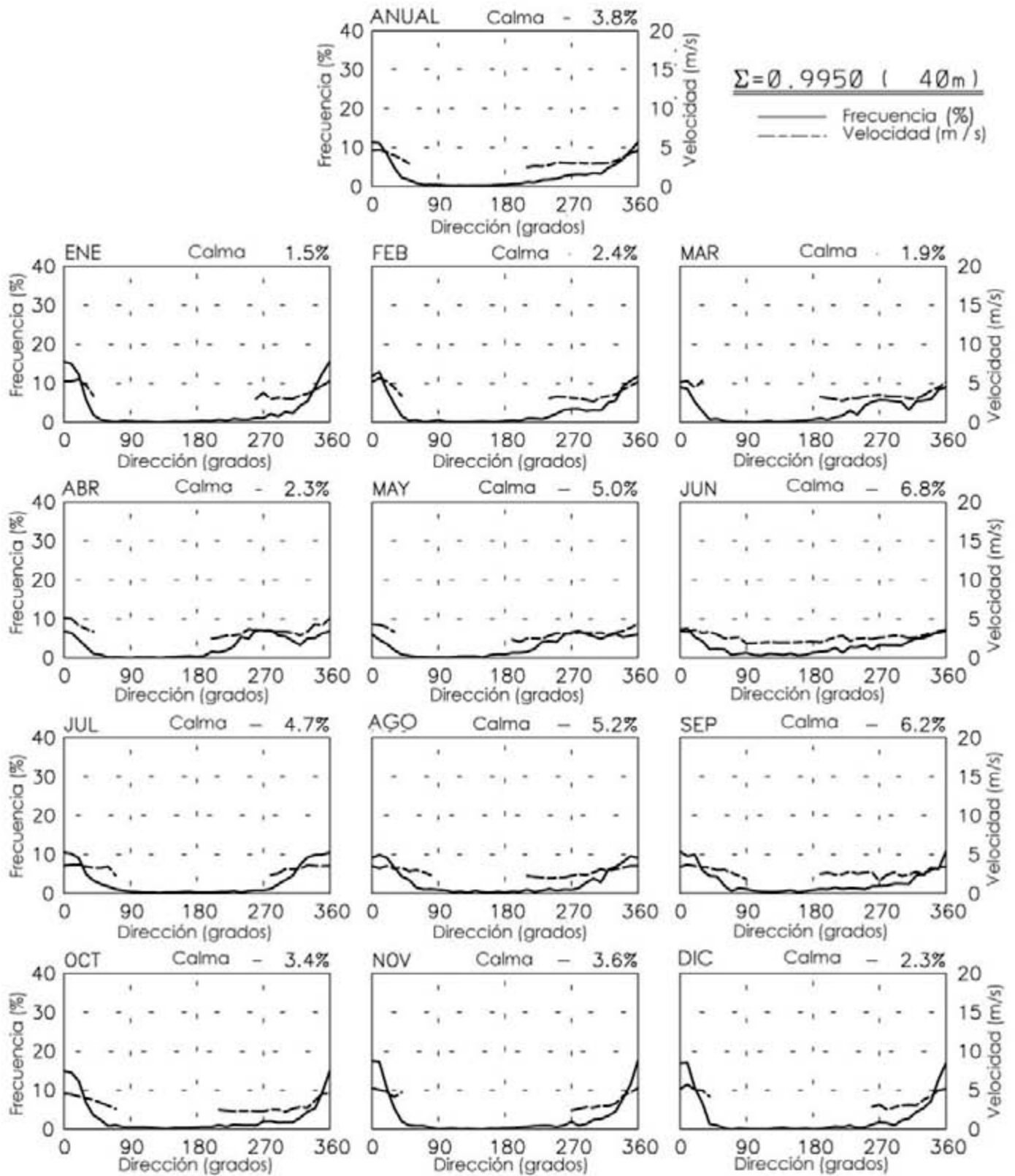
Miérc 2 de Julio 14:55:24 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07437 - 0600 LST

16° 11' N 95° 37' W - Elev 466m

01/58-12/97



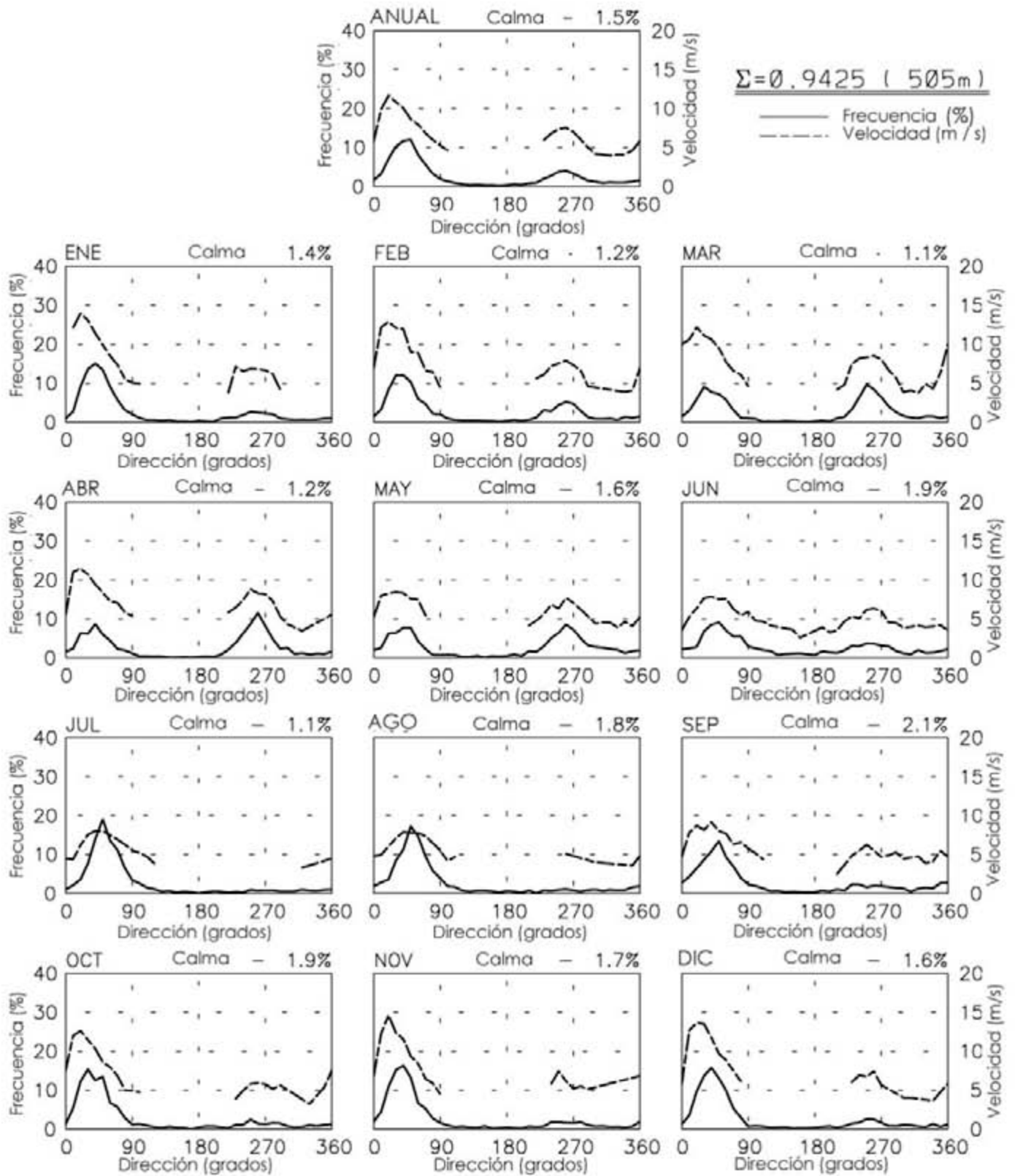
Mar 24 de Junio 14:37:52 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07437 - 0600 LST

16° 11' N 95° 37' W - Elev 466m

01/58-12/97



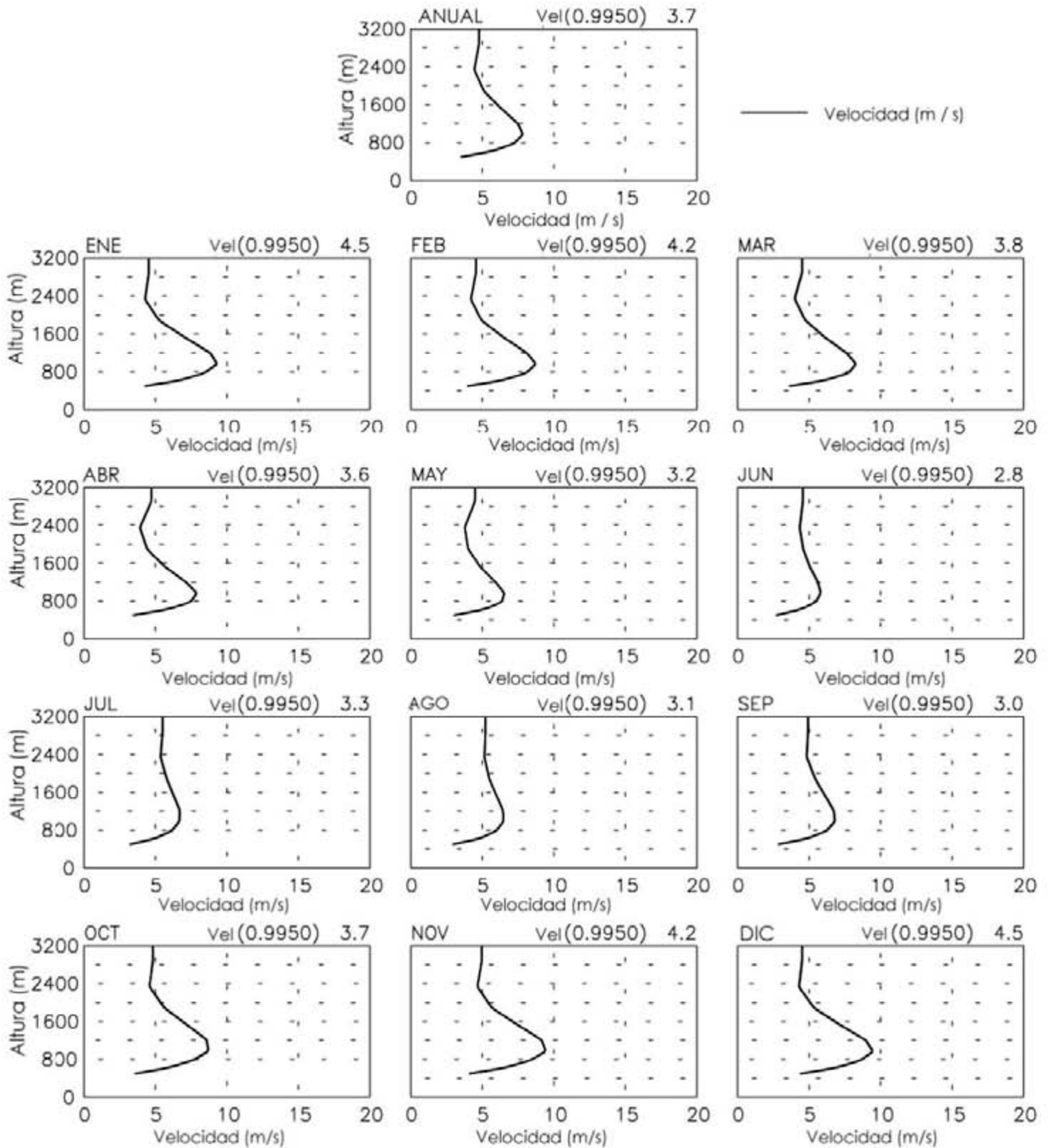
Mar 24 de Junio 14:37:53 2003

# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07437 - 0600 LST

16° 11' N 95° 37' W - Elev 466m

01/58-12/97



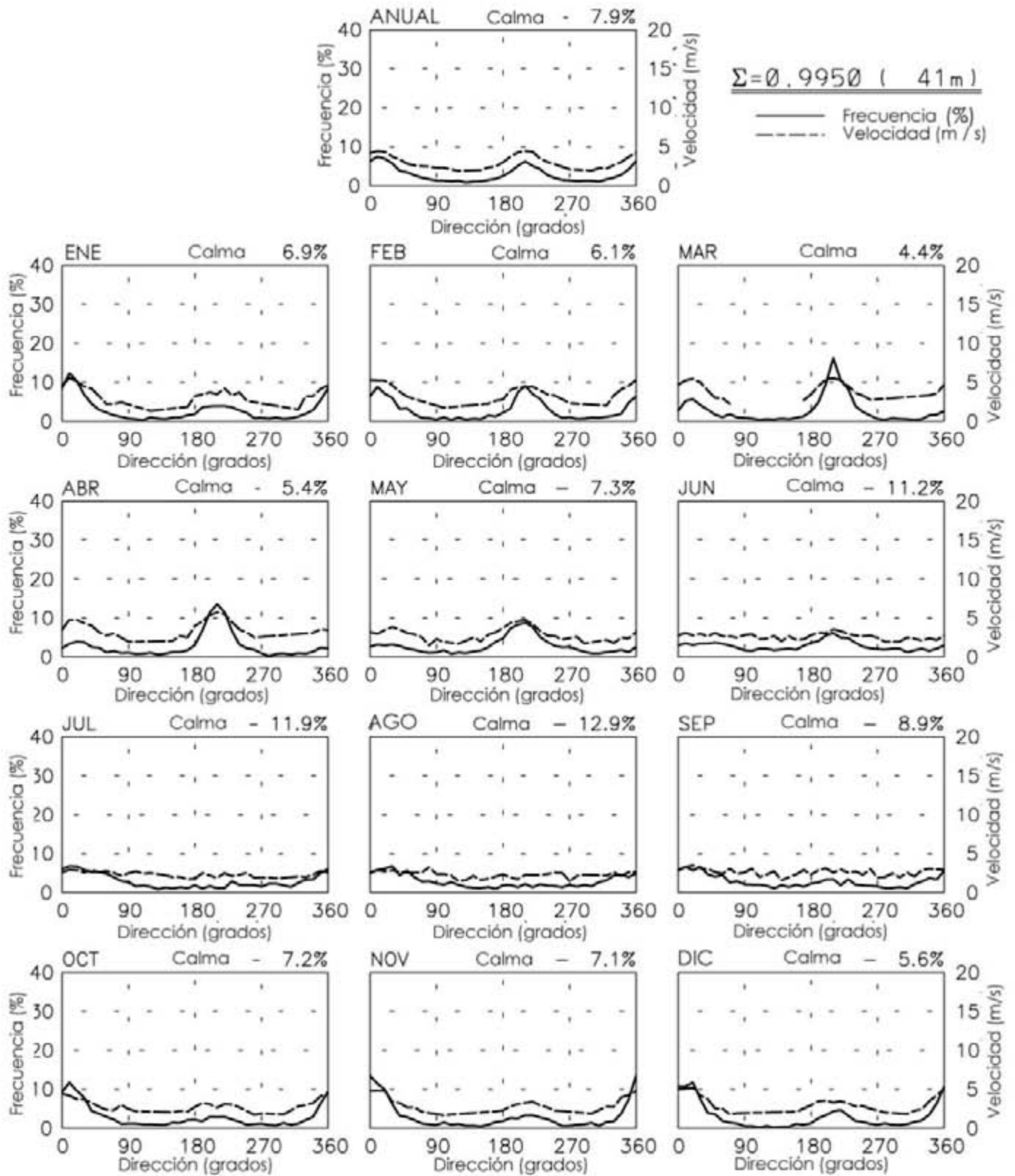
Mar 24 de Junio 14:33:07 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07437 - 1800 LST

16° 11' N 95° 37' W - Elev 466m

12/57-12/97



Miérc 2 de Julio 14:55:49 2003

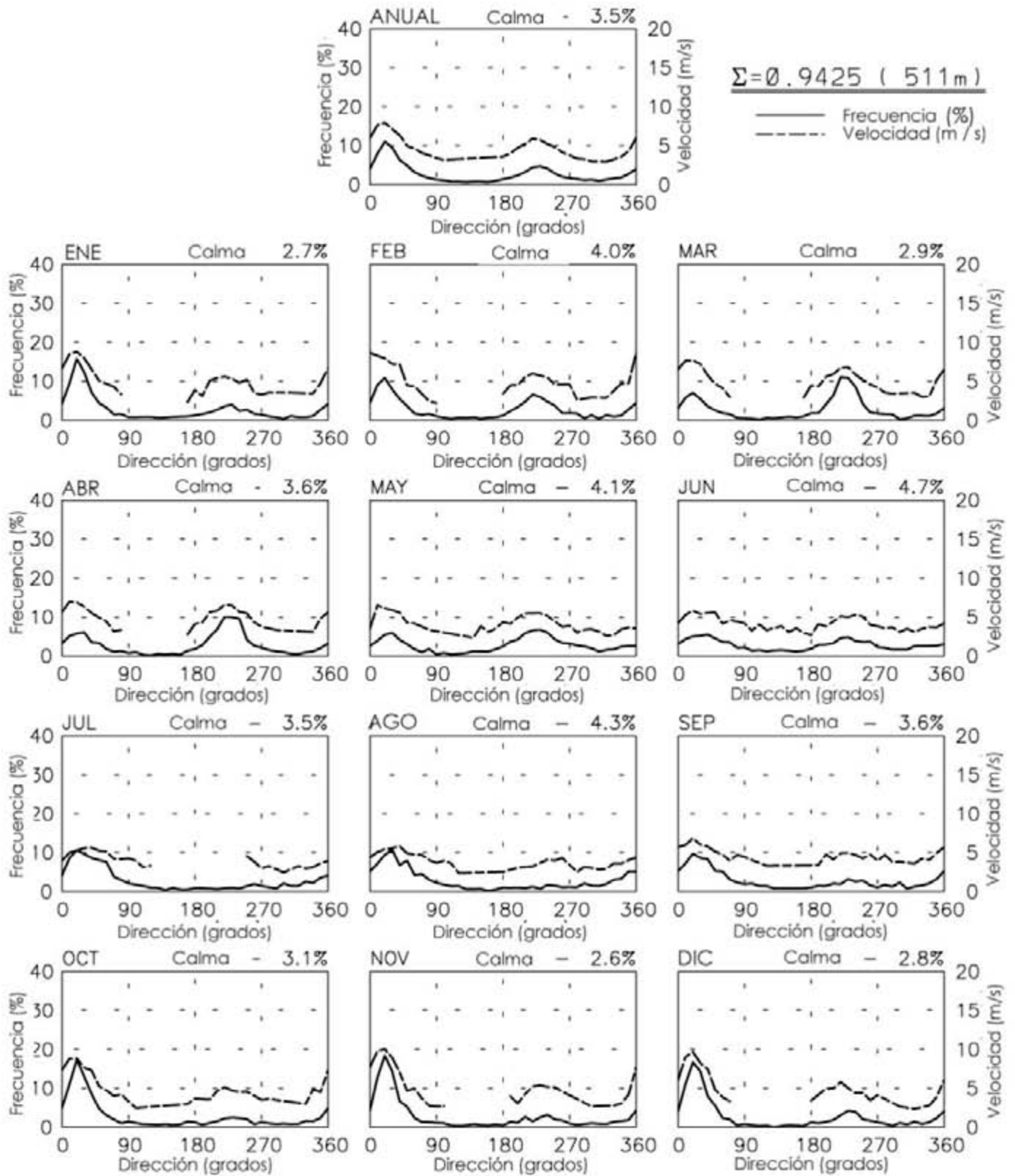


# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07437 - 1800 LST

16° 11' N 95° 37' W - Elev 466m

12/57-12/97



Miérc 2 de Julio 14:55:50 2003

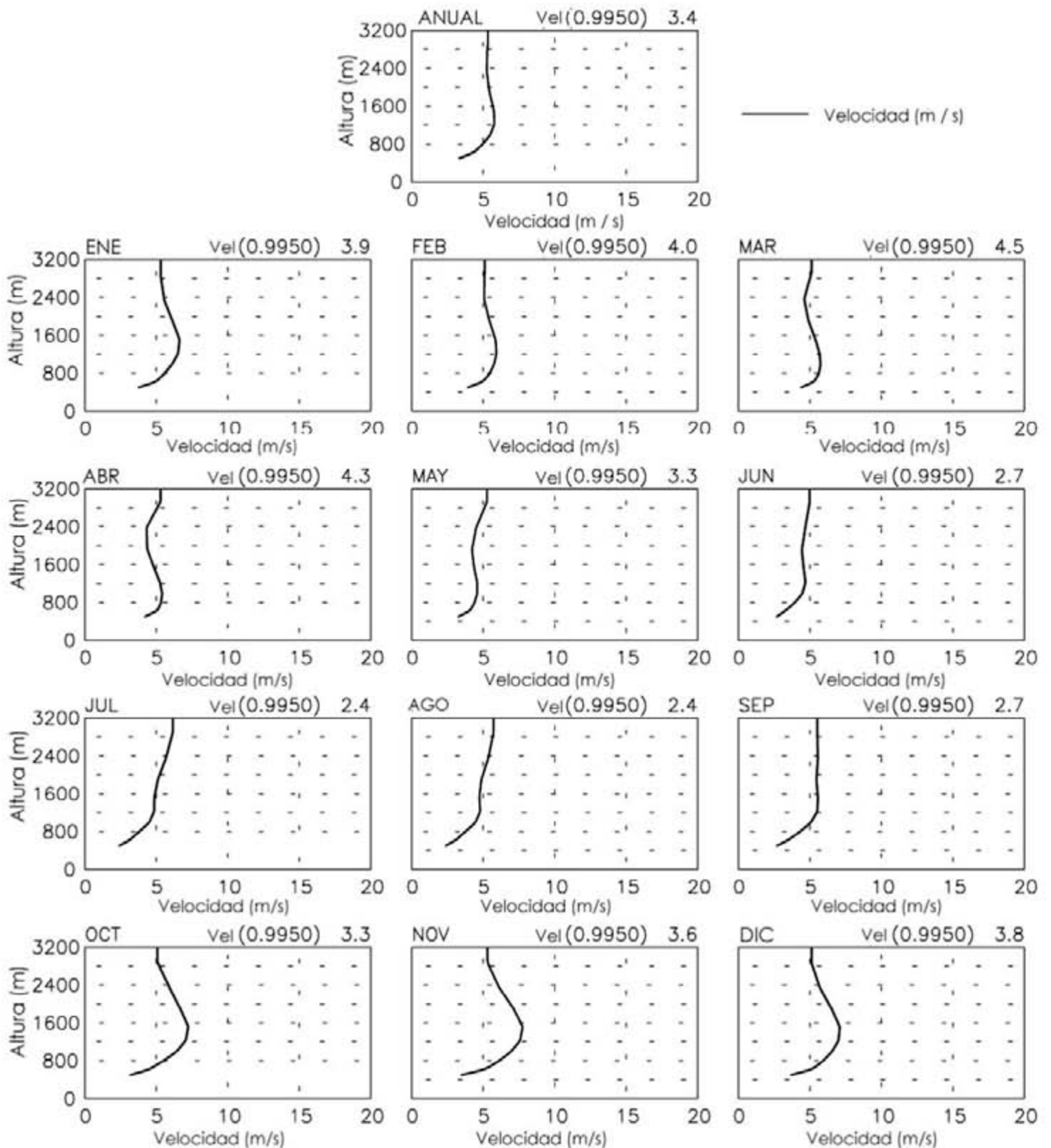


# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07437 - 1800 LST

16° 11' N 95° 37' W - Elev 466m

12/57-12/97



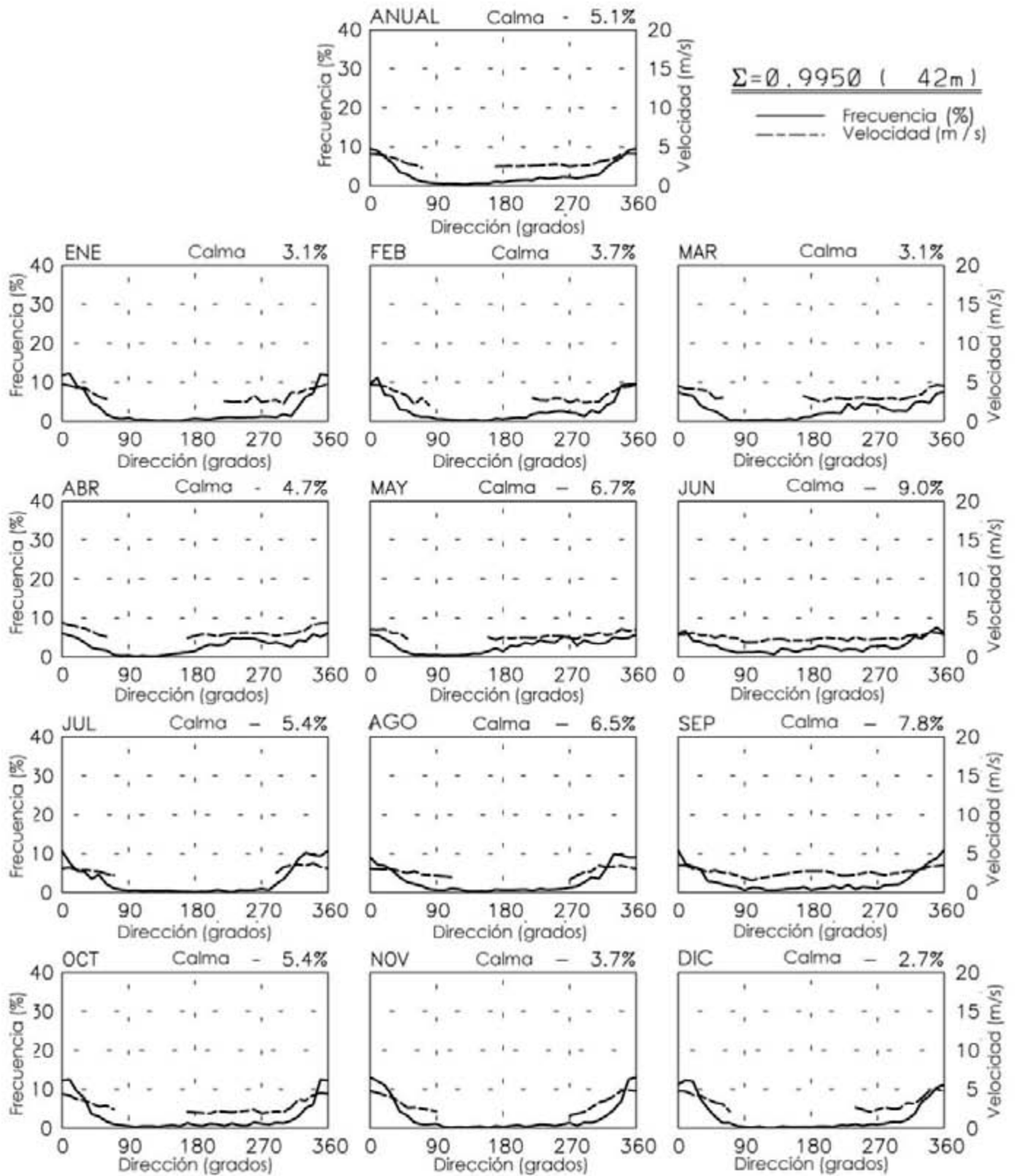
Miérc 2 de Julio 14:55:48 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07438 - 0600 LST

16° 11' N 93° 45' W - Elev 398m

01/58-12/97



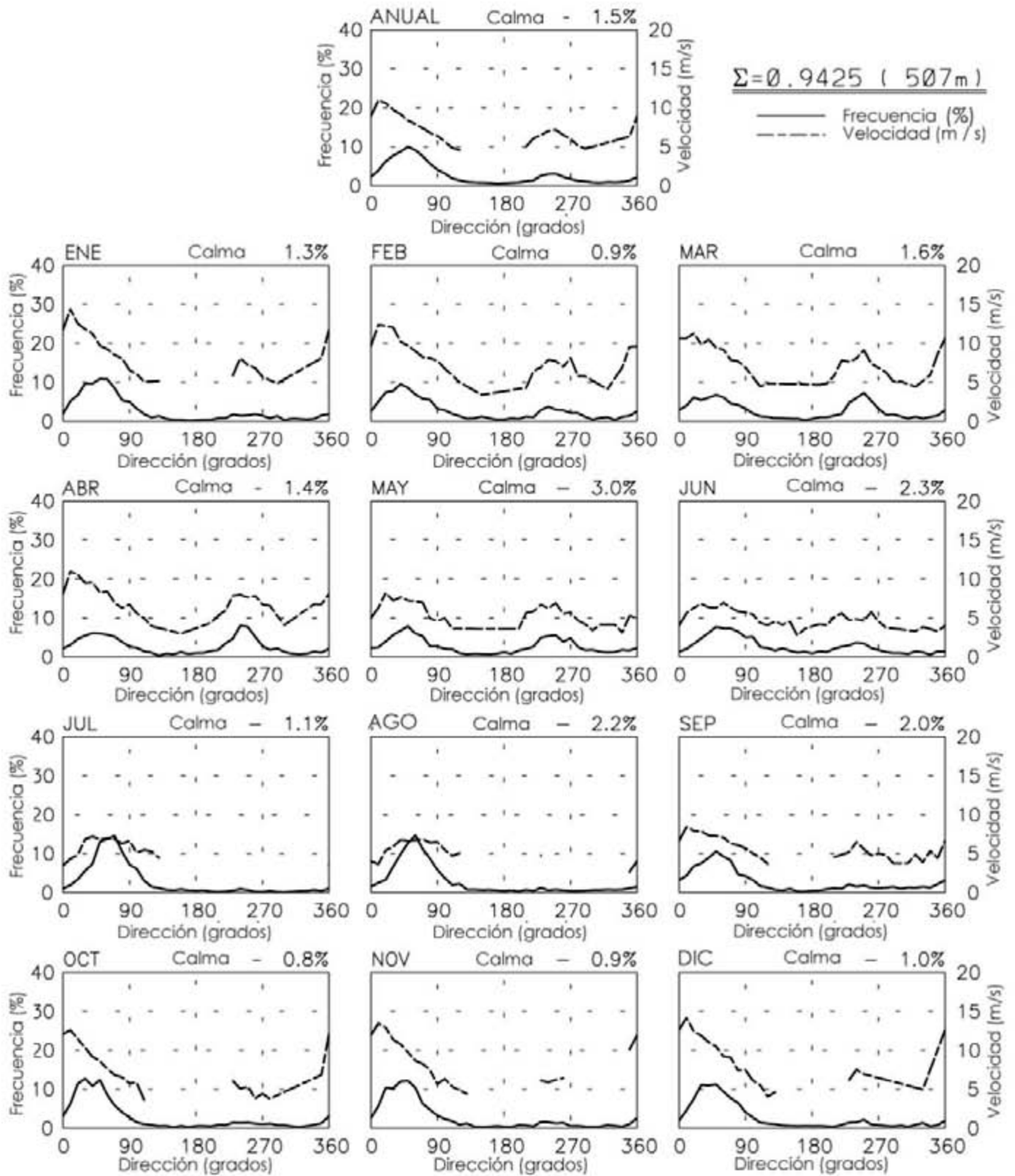
Mar 24 de Junio 14:38:16 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07438 - 0600 LST

16° 11' N 93° 45' W - Elev 398m

01/58-12/97



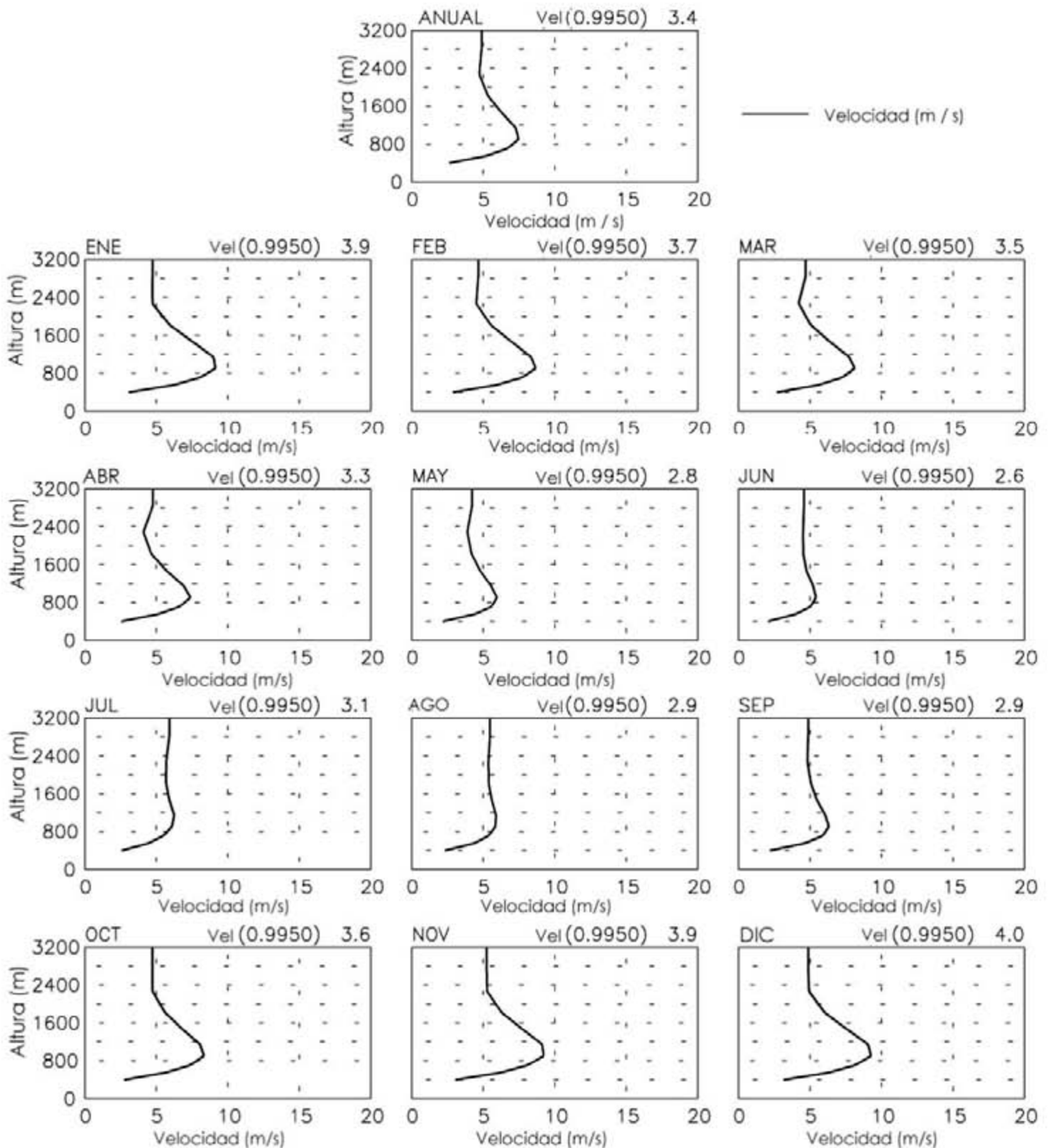
Mar 24 de Junio 14:38:17 2003

# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07438 - 0600 LST

16° 11' N 93° 45' W - Elev 398m

01/58-12/97



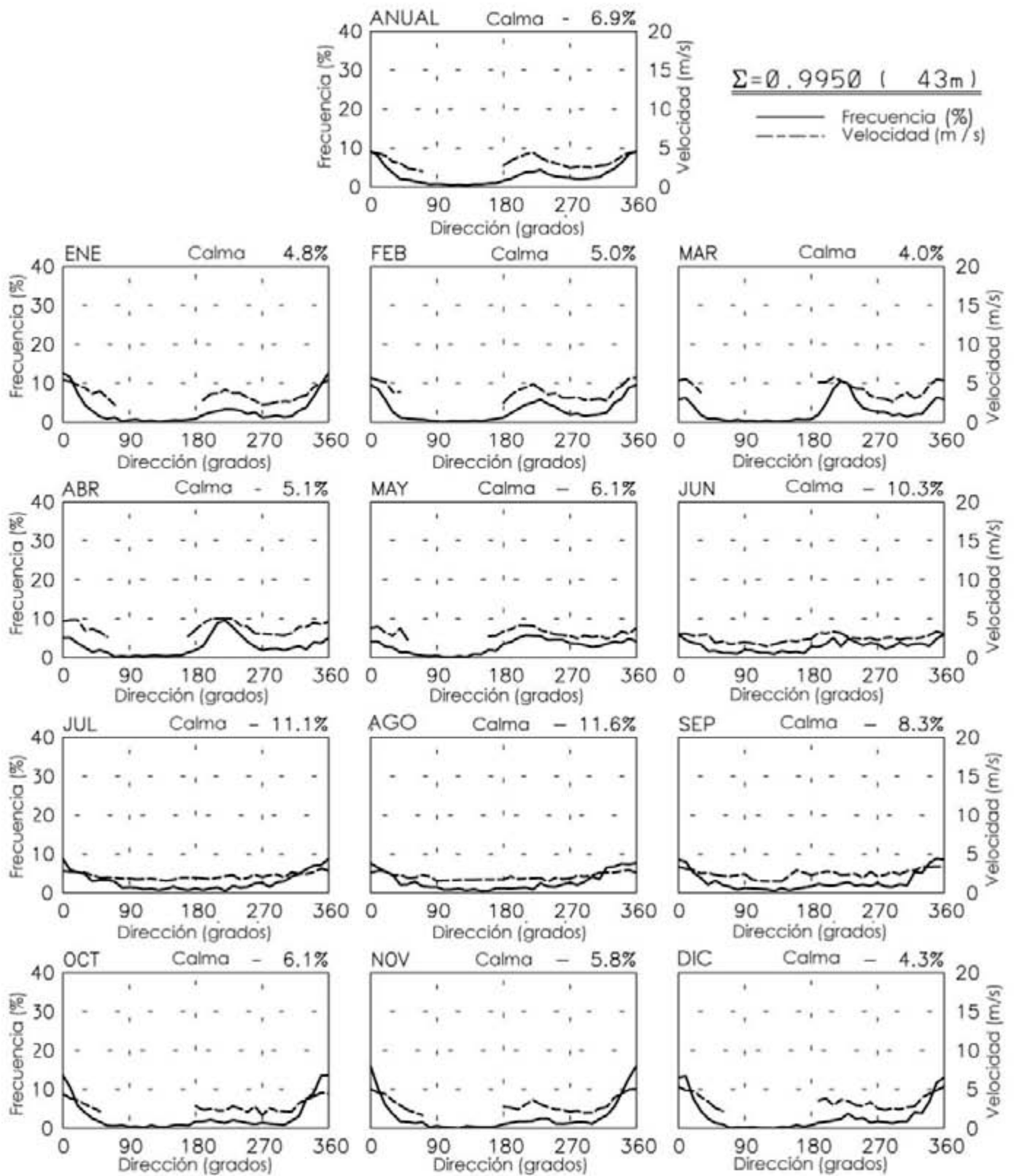
Mar 24 de Junio 14:33:30 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07438 - 1800 LST

16° 11' N 93° 45' W - Elev 398m

12/57-12/97



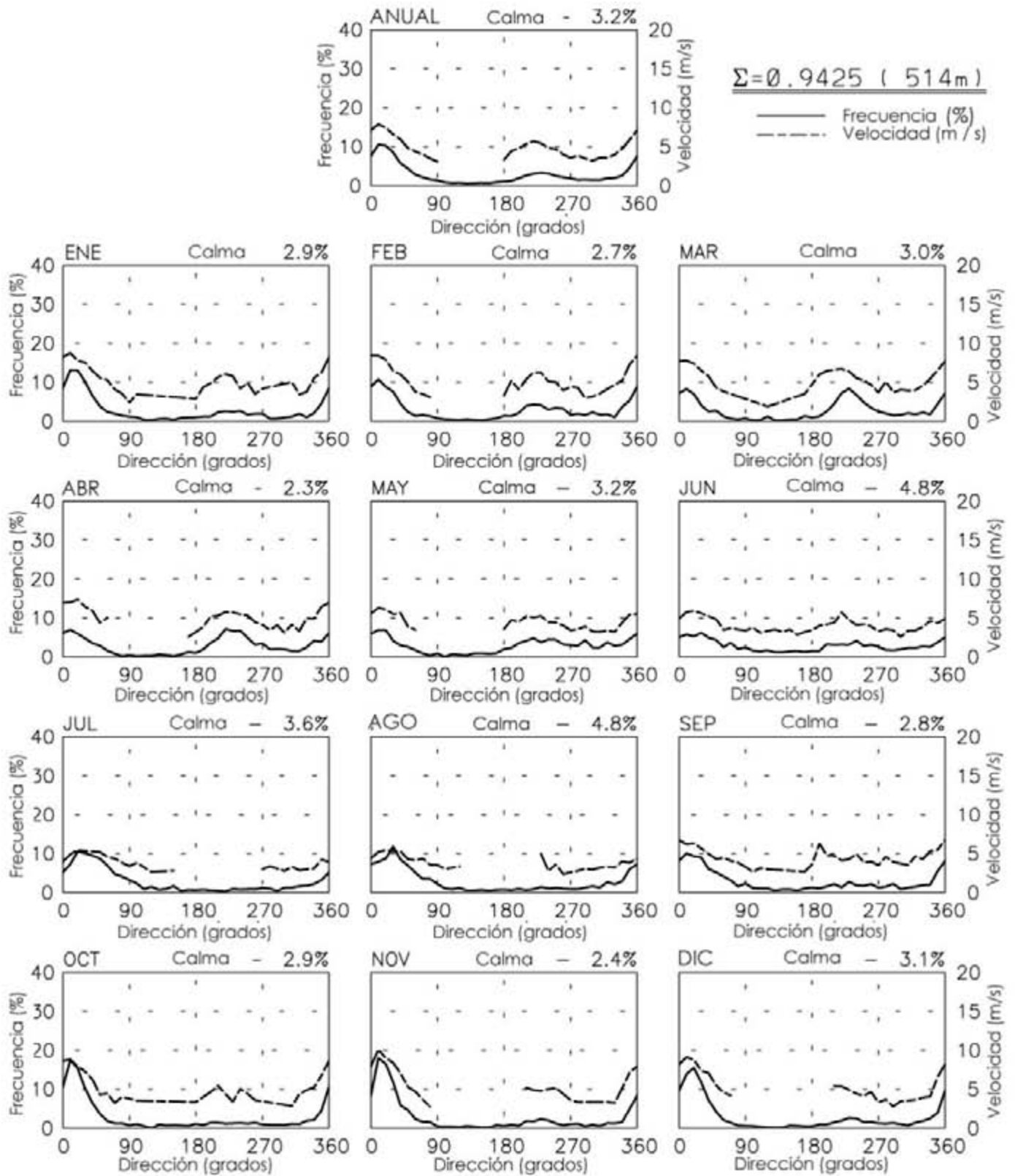
Miérc 2 de Julio 14:56:14 2003

# FRECUENCIA Y VELOCIDAD POR DIRECCIÓN (SIGMA)

Reanálisis T62 Gauss - 07438 - 1800 LST

16° 11' N 93° 45' W - Elev 398m

12/57-12/97



Miérc 2 de Julio 14:56:15 2003

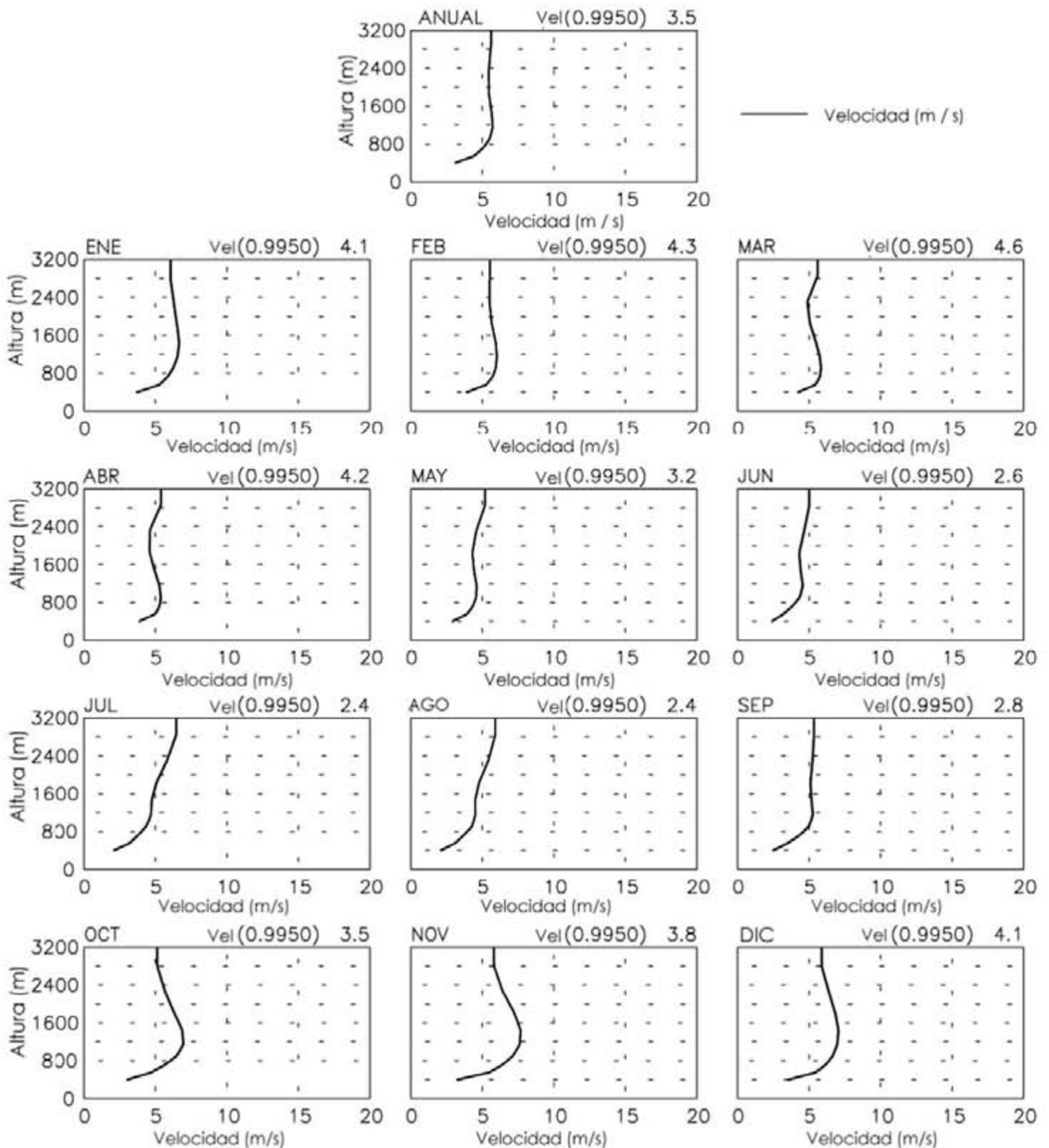


# PERFIL DE VELOCIDAD VERTICAL DEL VIENTO POR ALTURA

Reanálisis T62 Gauss - 07438 - 1800 LST

16° 11' N 93° 45' W - Elev 398m

12/57-12/97



Miérc 2 de Julio 14:56:13 2003



**Apéndice D**  
**Datos Satelitales Oceánicos del Viento**

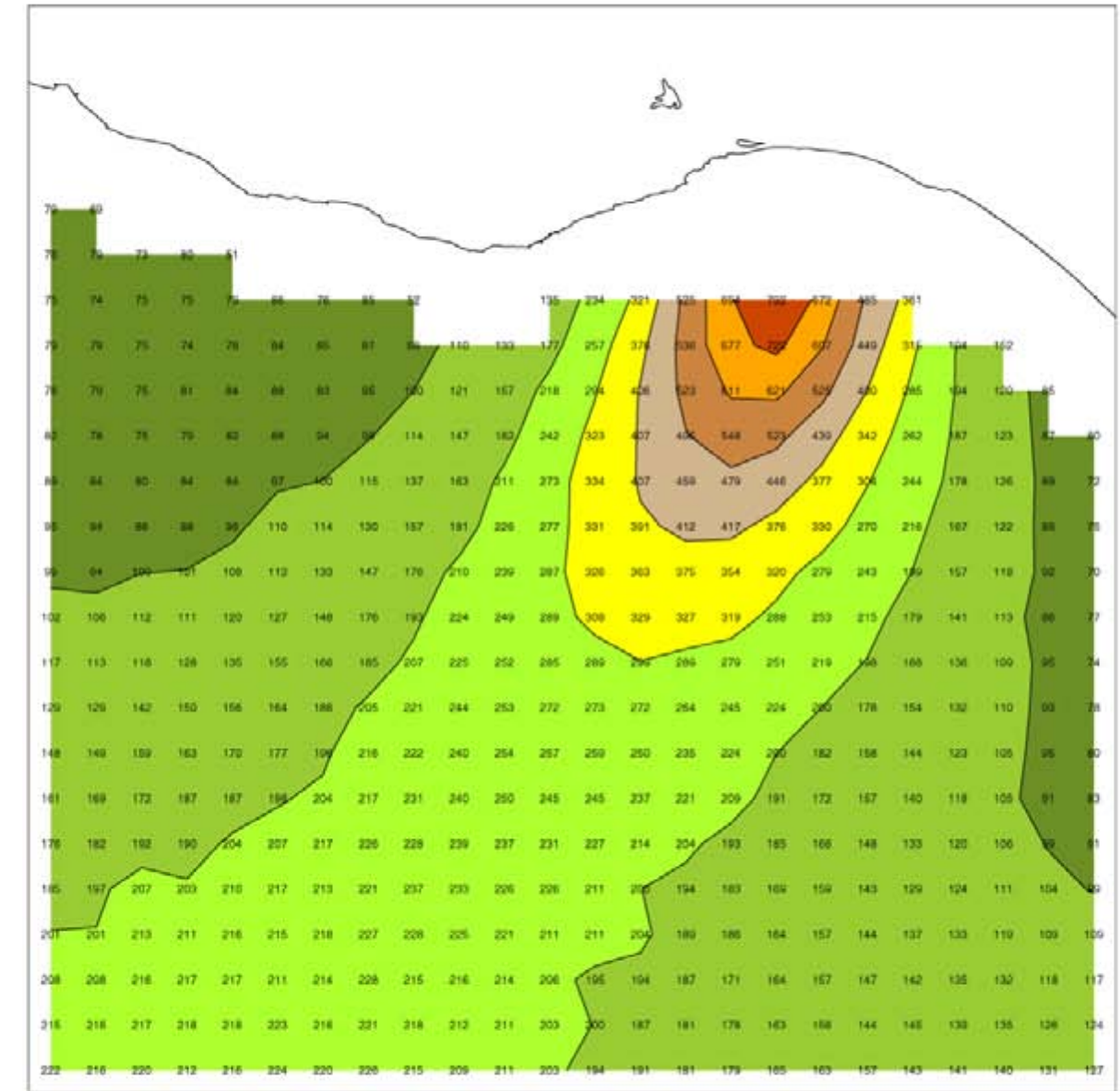


Densidad de la Potencia del Viento (W/sq.m) – 1988 a 2002  
0.25° Cuadr PRODUCTO 109 SatCode 63

17N

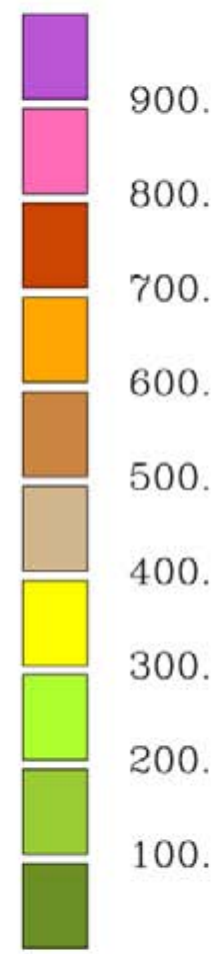
D-3

11N

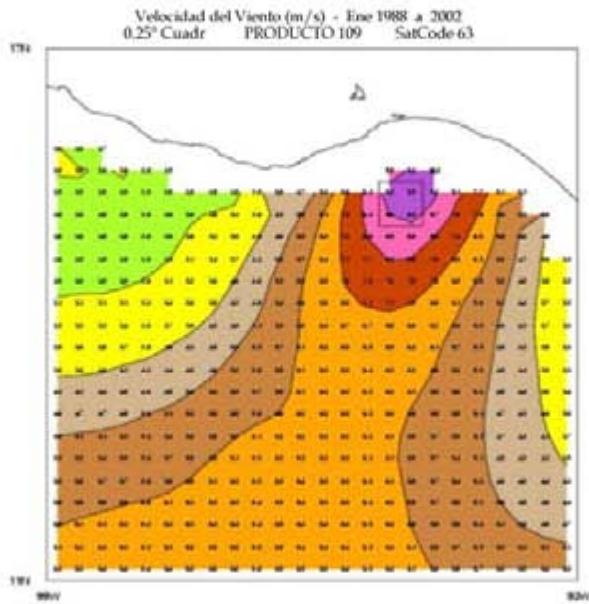


99W

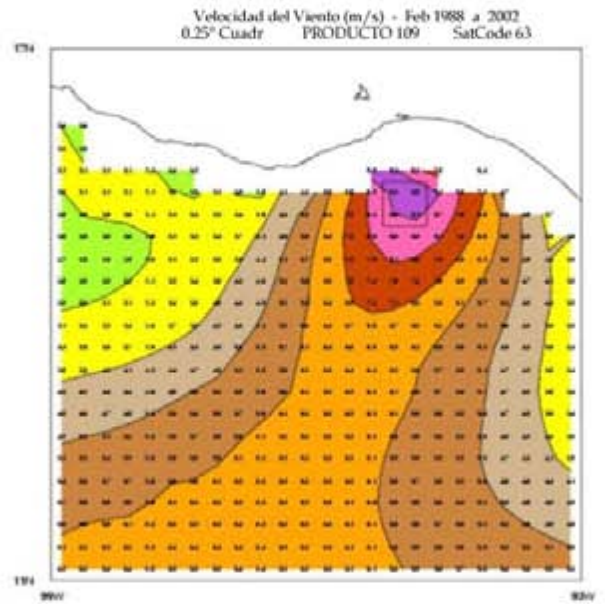
93W



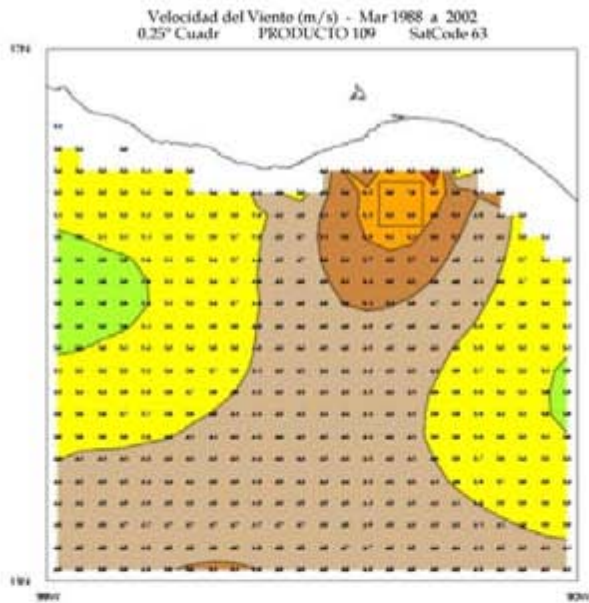
# Ene



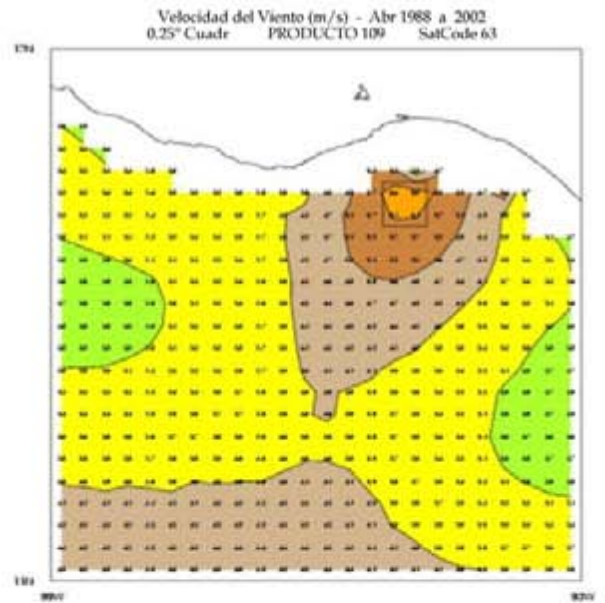
# Feb



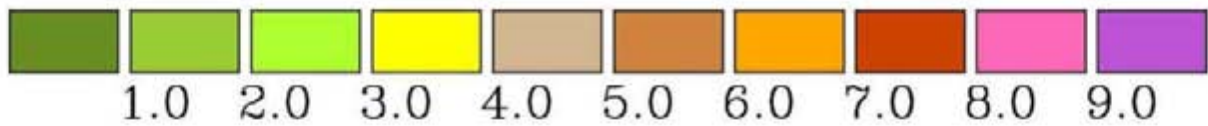
# Mar



# Abr

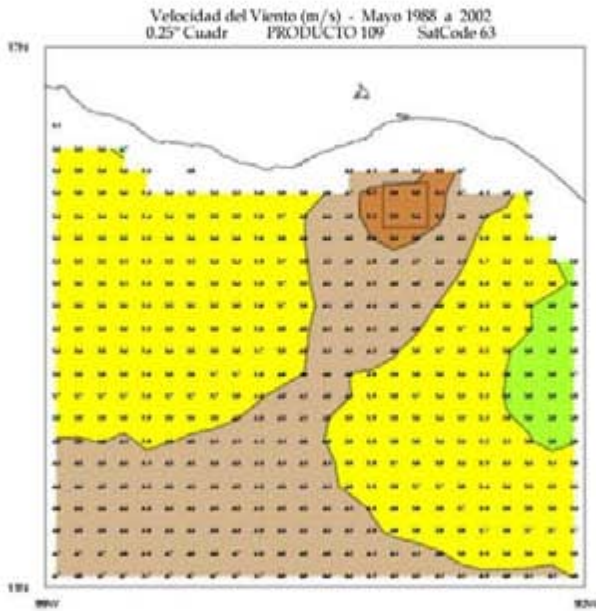


## Velocidad del Viento (m/s)

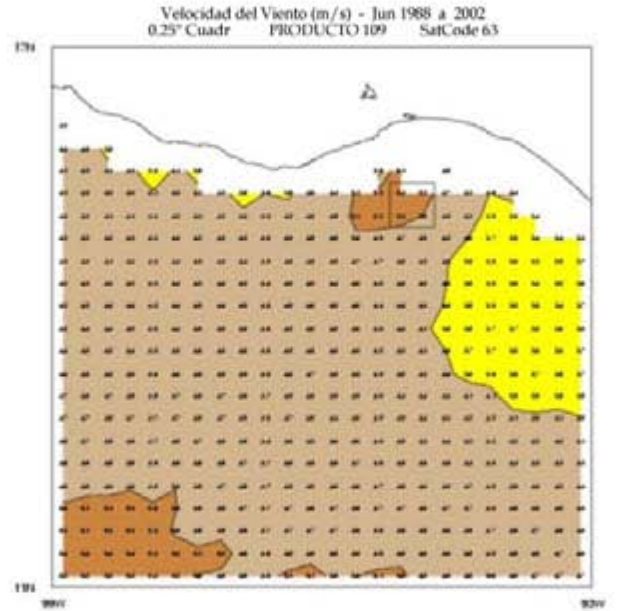




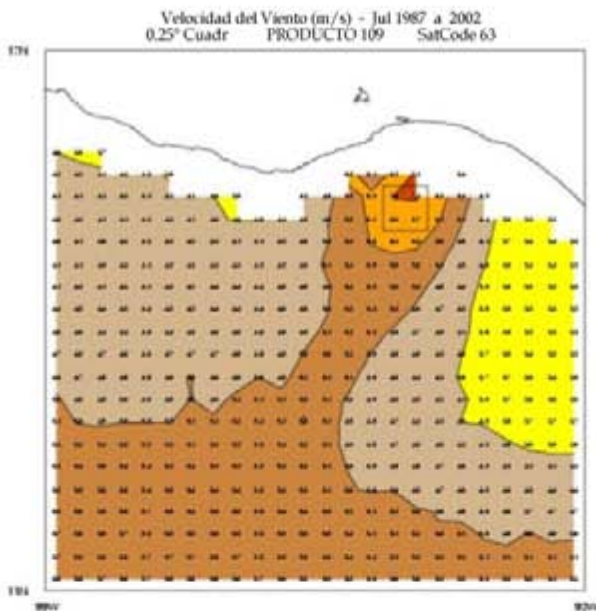
# May



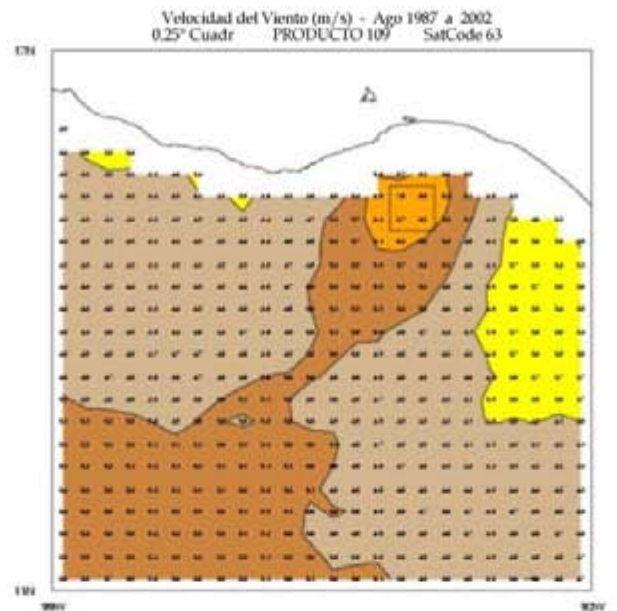
# Jun



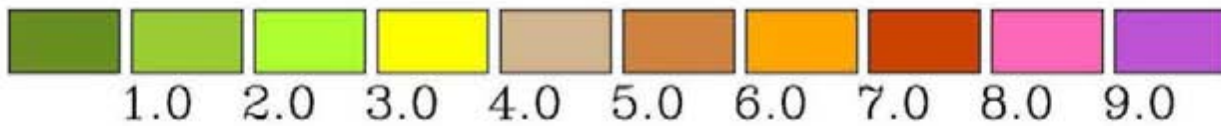
# Jul



# Ago

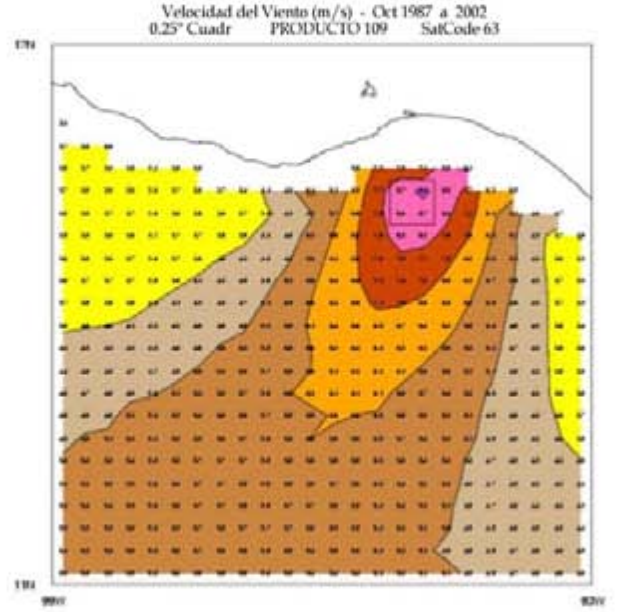
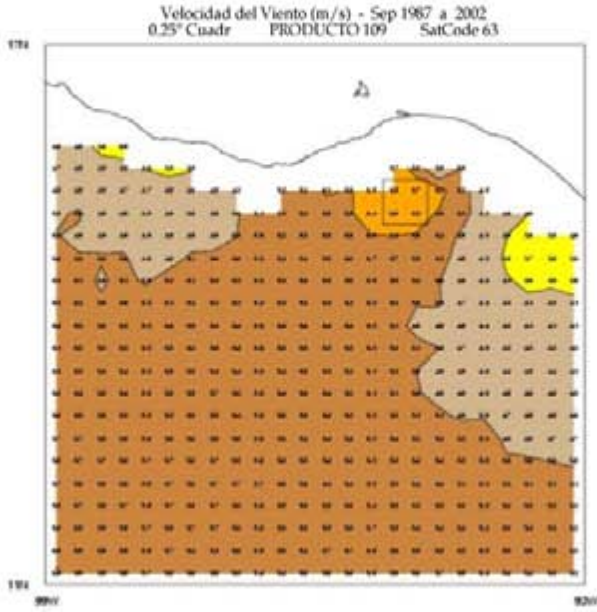


## Velocidad del Viento (m/s)



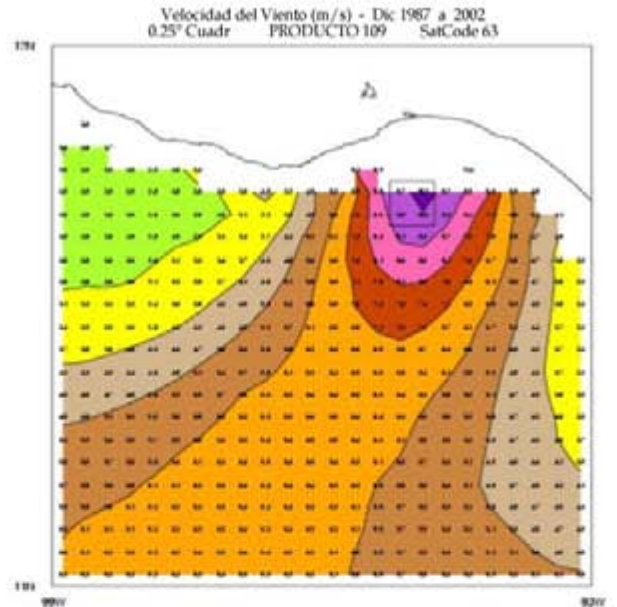
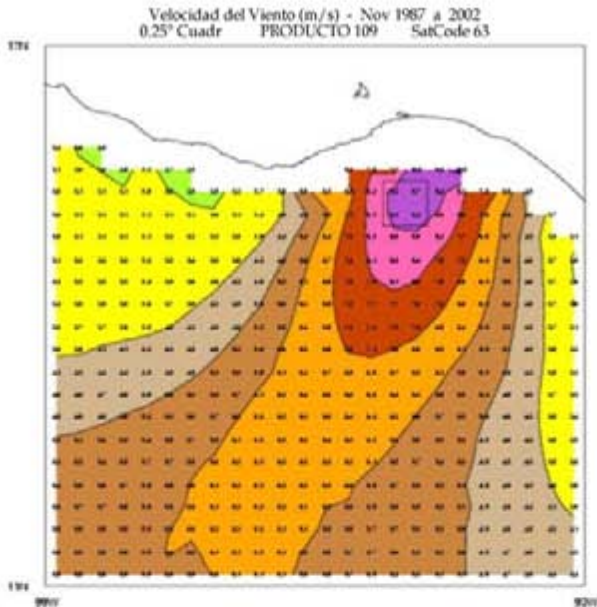
Sep

Oct

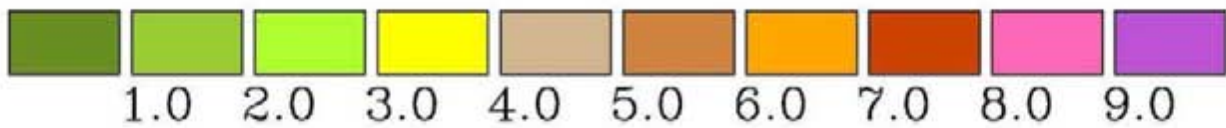


Nov

Dic

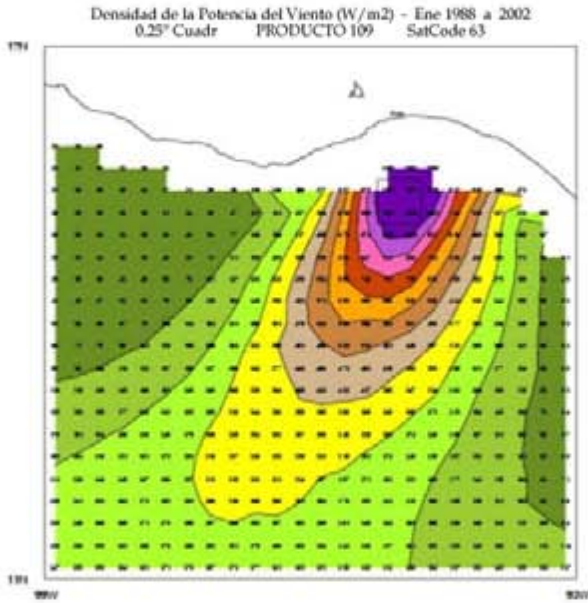


Velocidad del Viento (m/s)

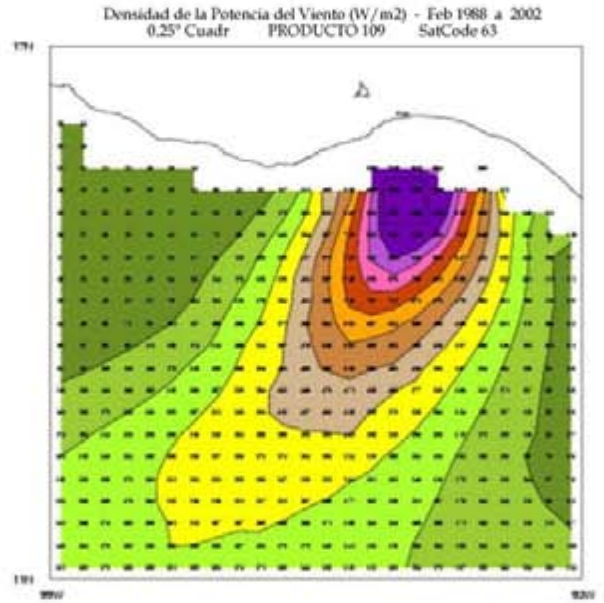




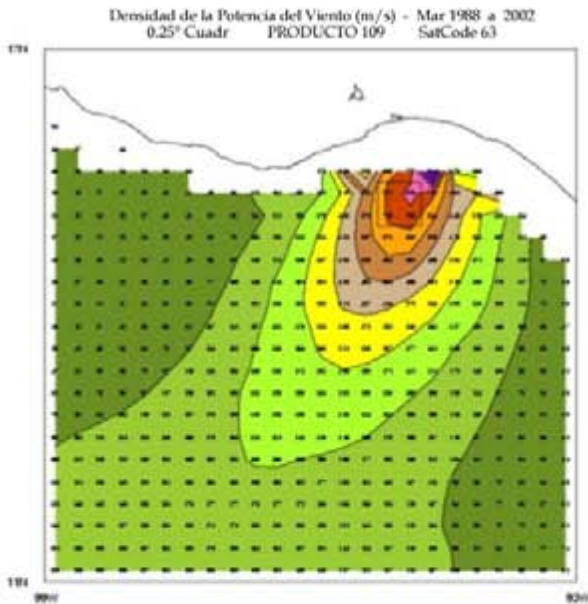
Ene



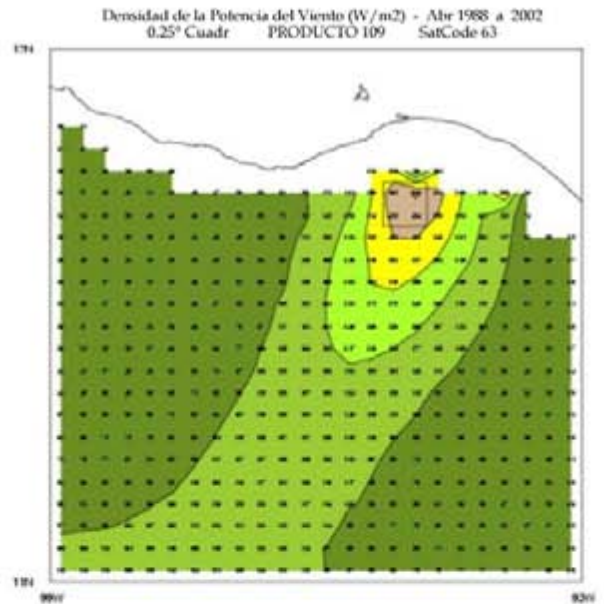
Feb



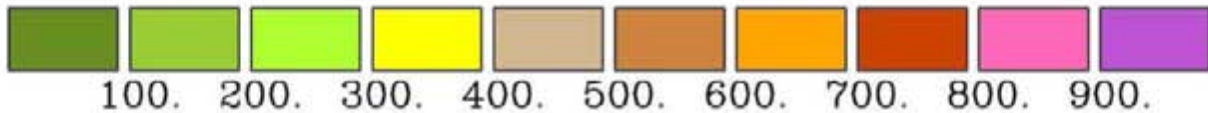
Mar



Abr

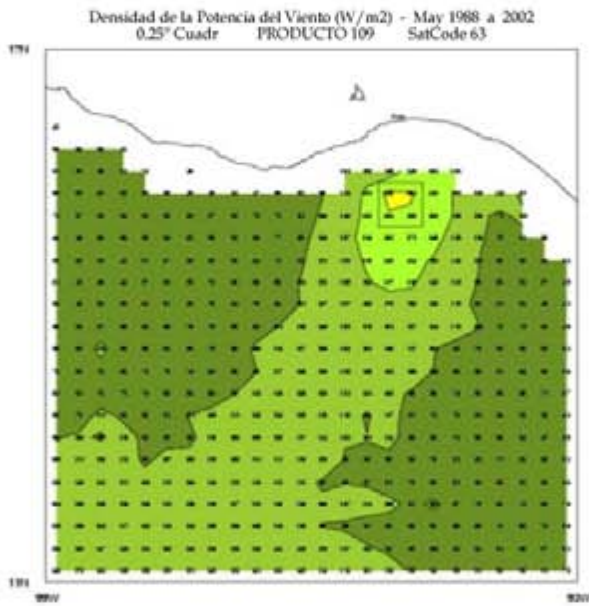


Densidad de la Potencia del Viento (Watts/m<sup>2</sup>)

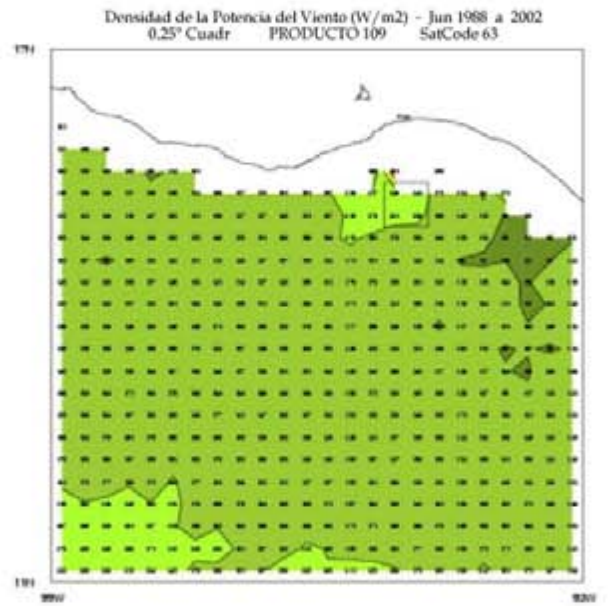




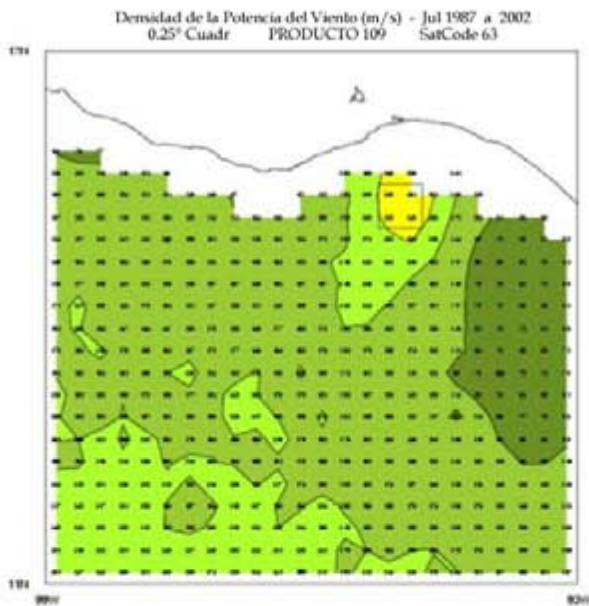
# May



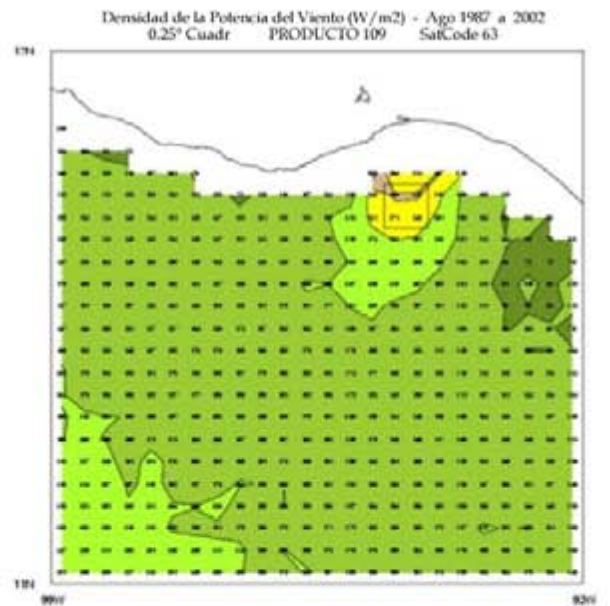
# Jun



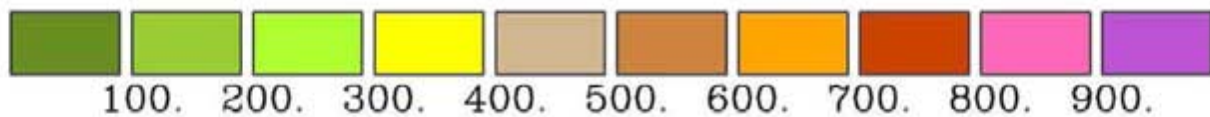
# Jul



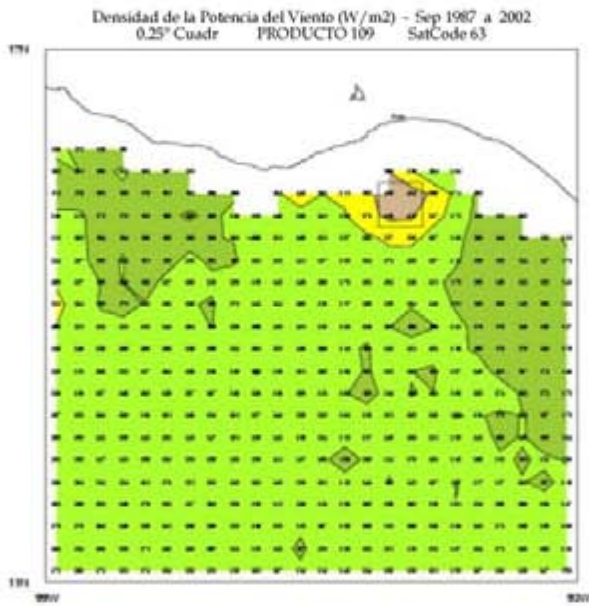
# Ago



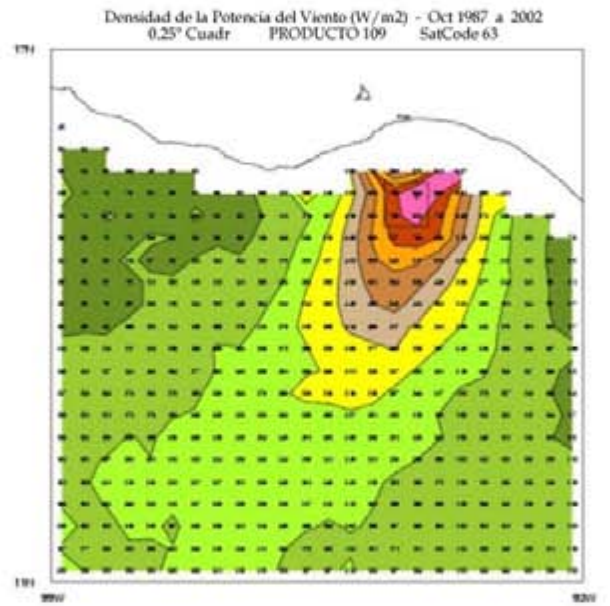
## Densidad de la Potencia del Viento (Watts/m<sup>2</sup>)



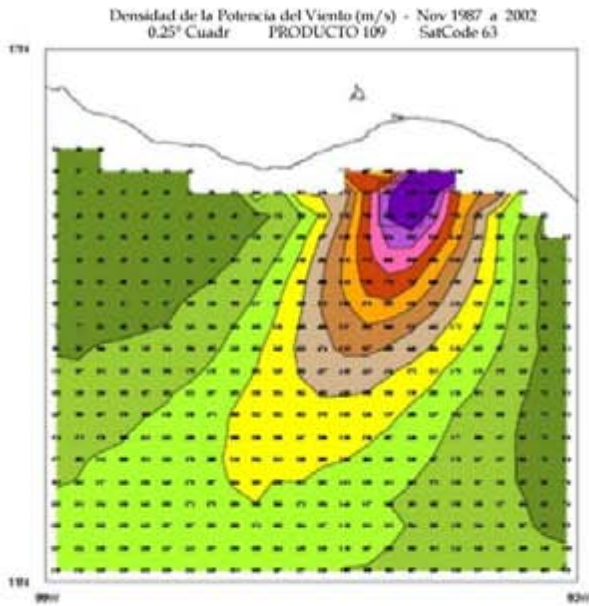
Sep



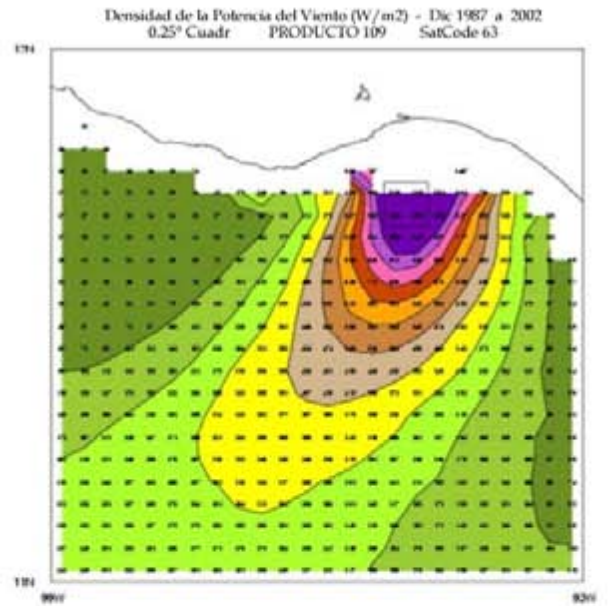
Oct



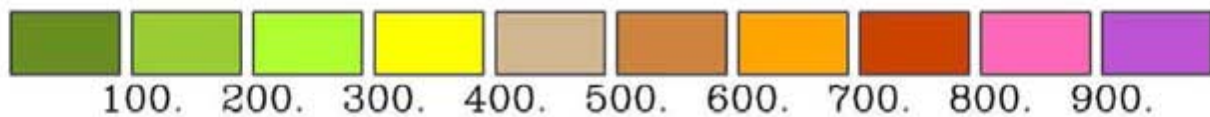
Nov



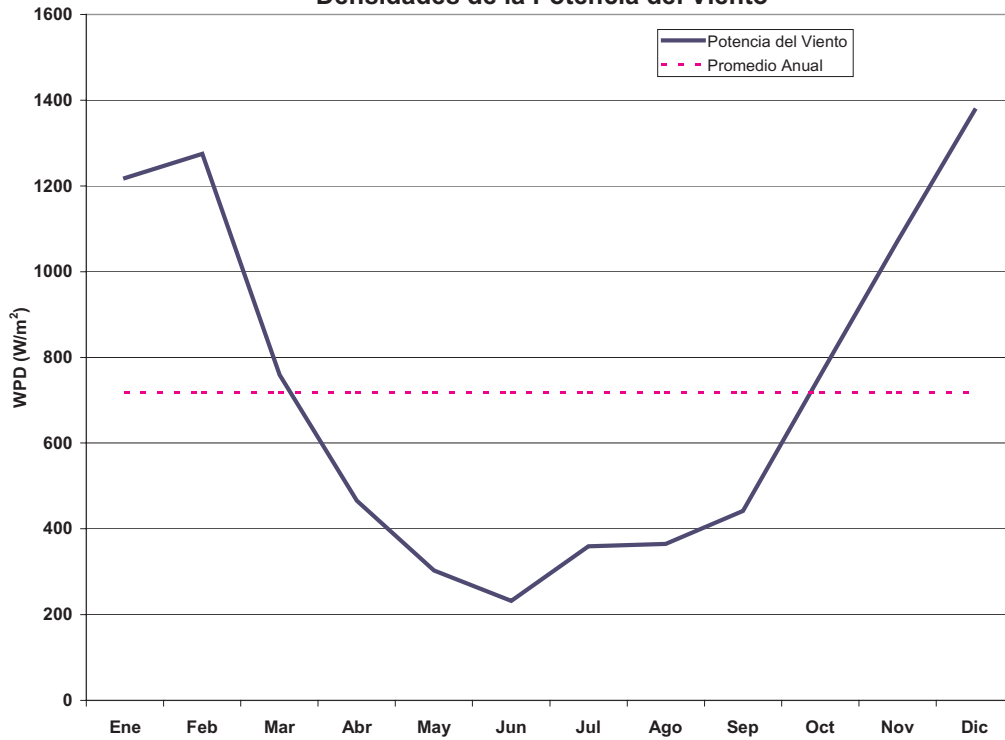
Dic



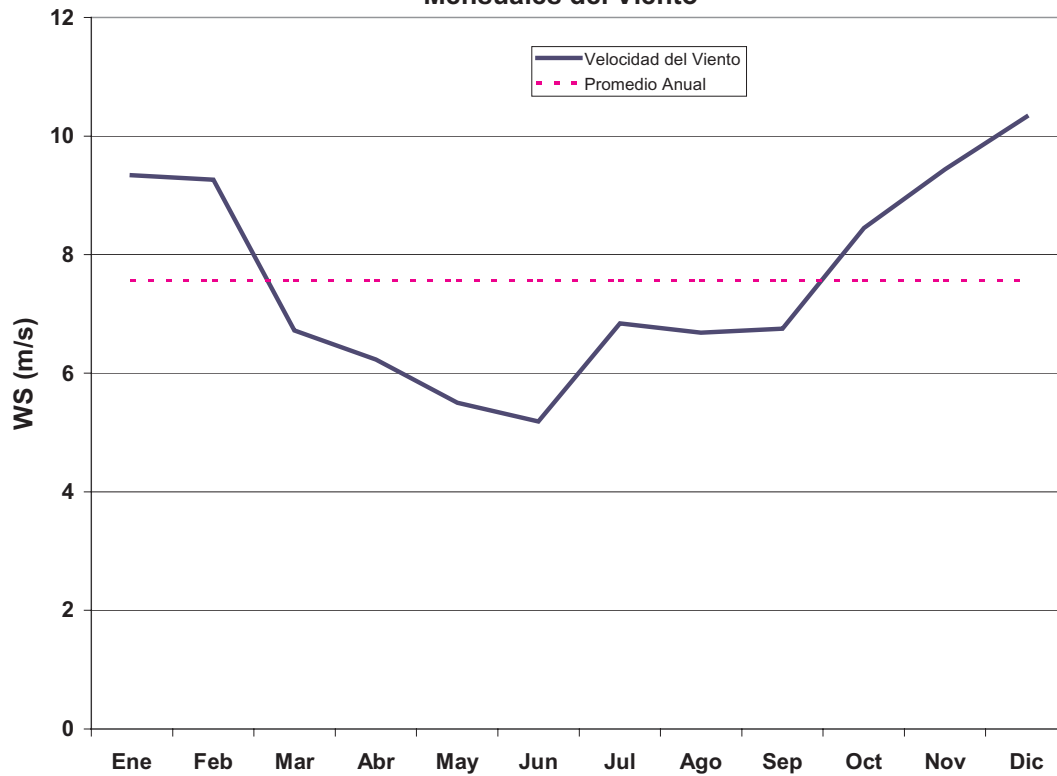
### Densidad de la Potencia del Viento (Watts/m<sup>2</sup>)

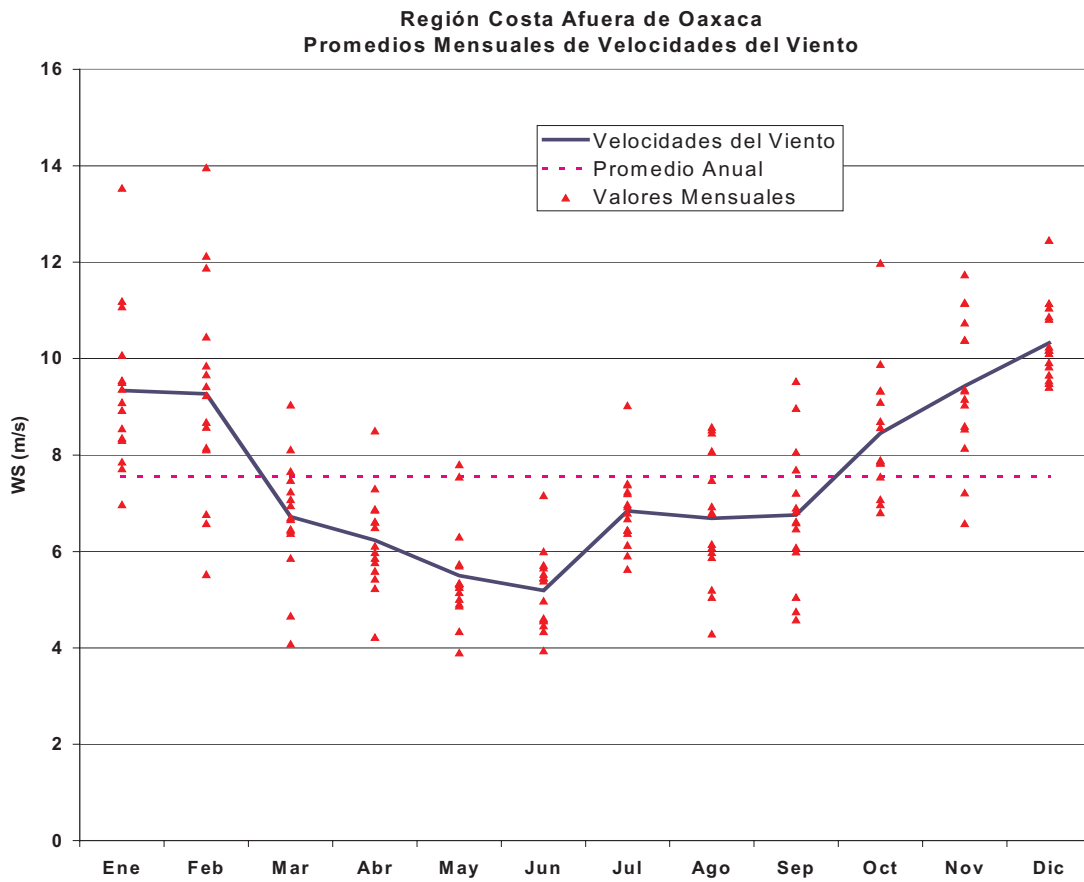
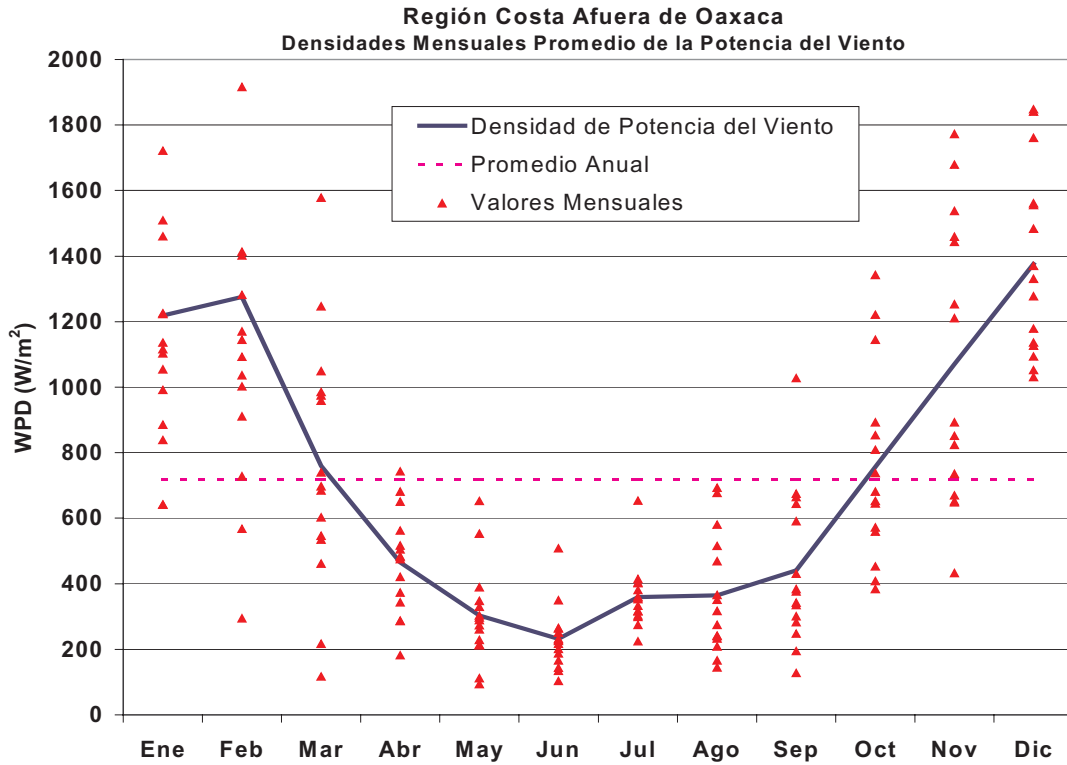


Región Costa Afuera de Oaxaca - Promedio Mensual de las  
Densidades de la Potencia del Viento

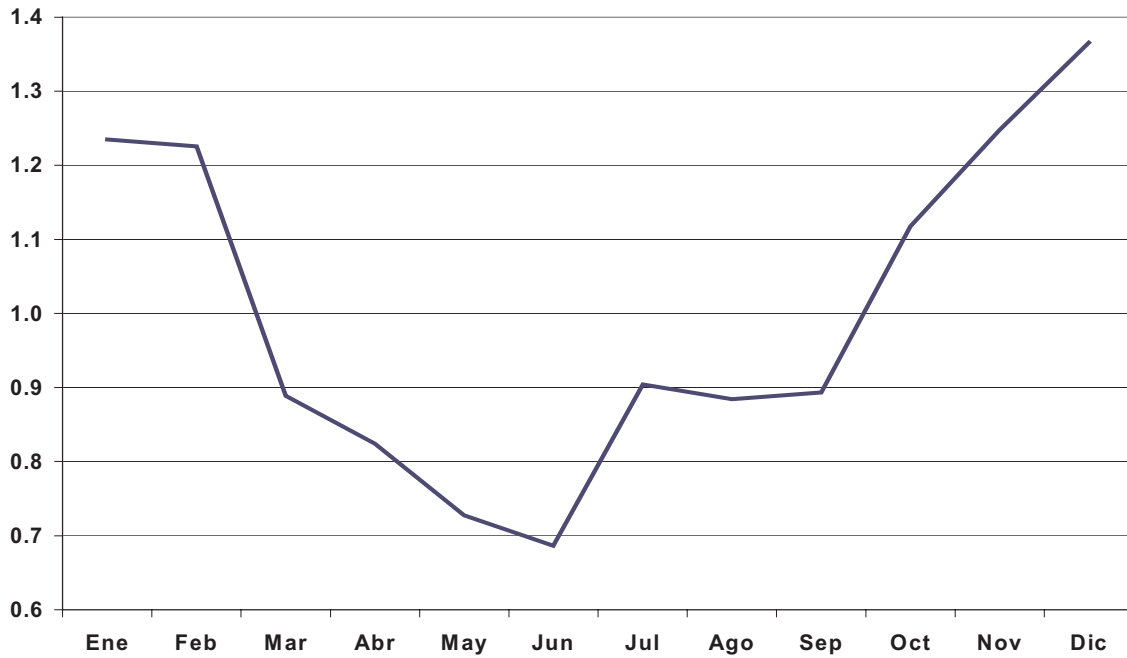


Región Costa Afuera de Oaxaca - Promedio de Velocidades  
Mensuales del Viento

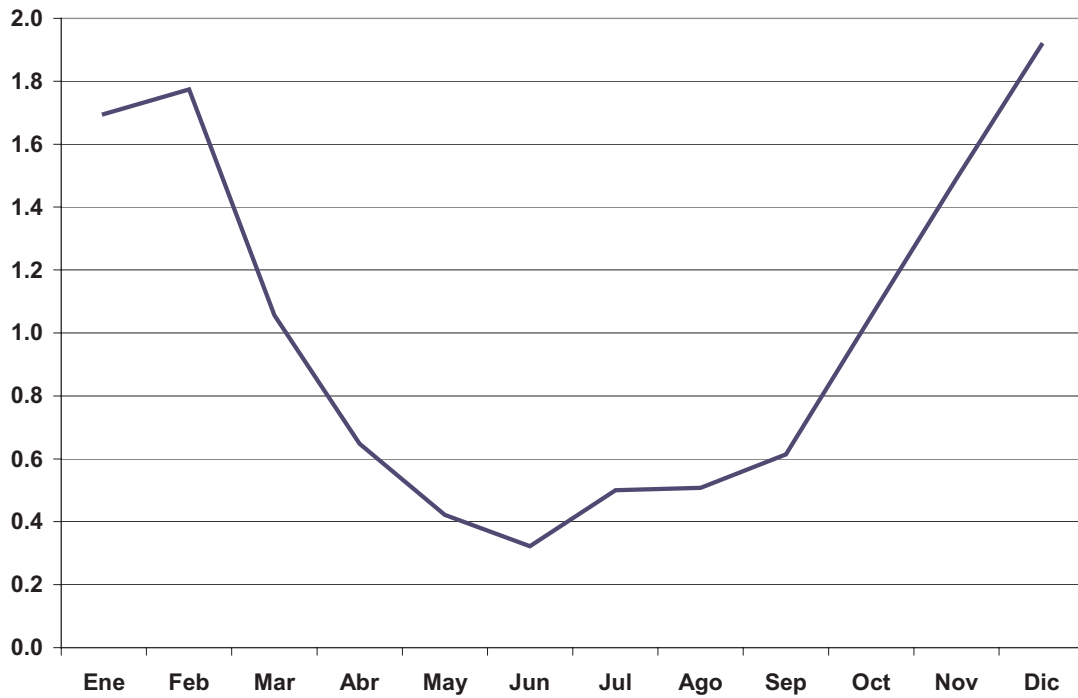


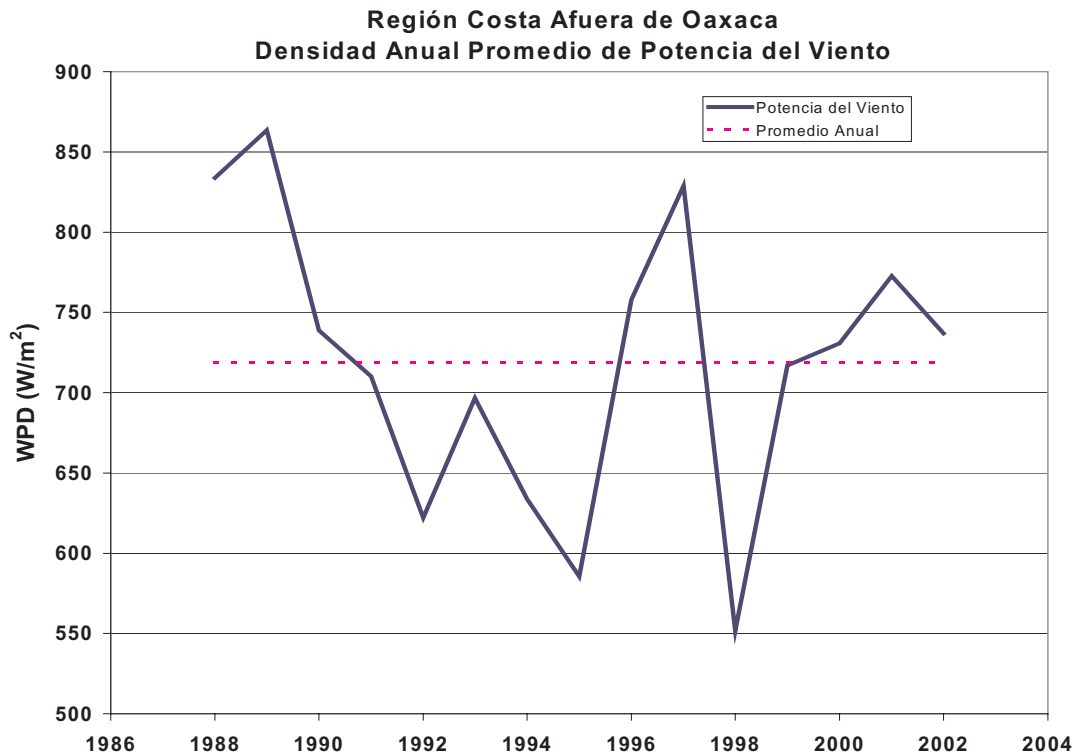
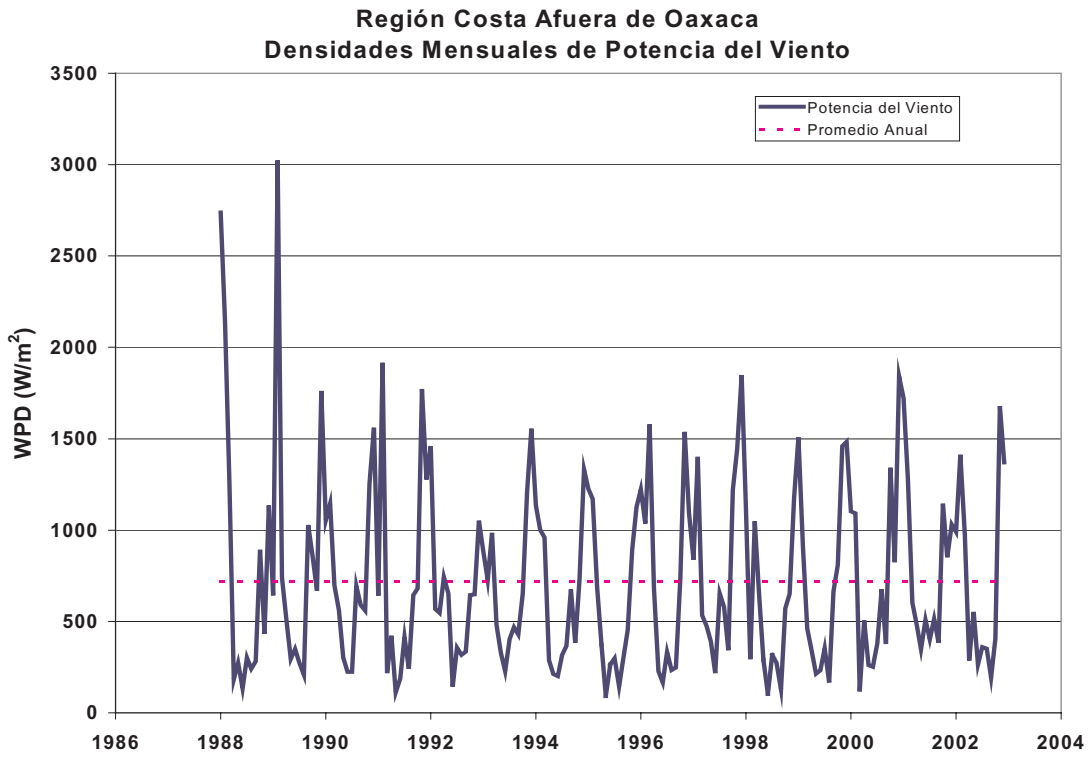


**Velocidades de Viento de 10m Costa Afuera de Oaxaca Normalizadas por Satélite**



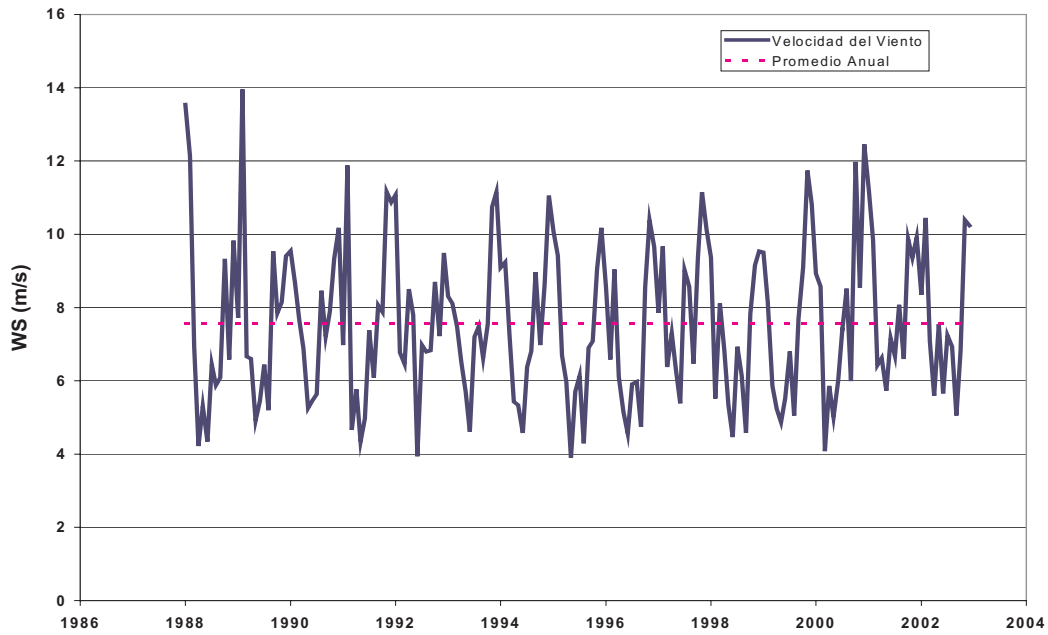
**Potencias del Viento Costa Afuera de Oaxaca Normalizadas por Satélite**



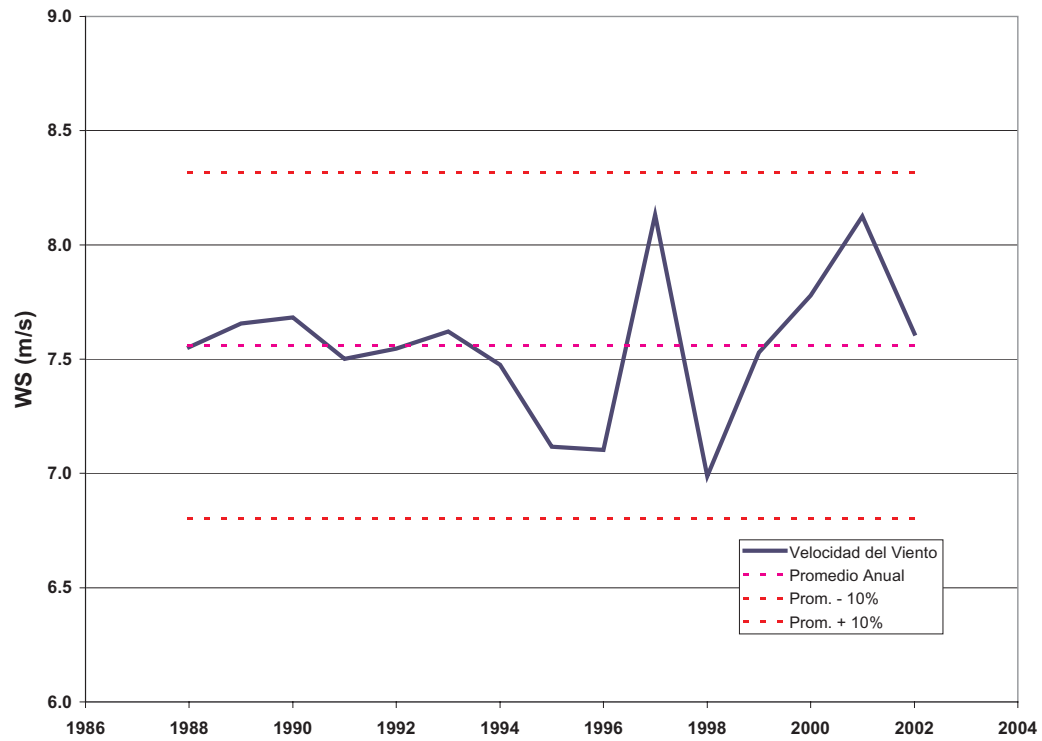




**Región Costa Afuera de Oaxaca - Velocidades Mensuales del Viento**



**Región Costa Afuera de Oaxaca  
Velocidades Anuales Promedio del Viento**



PÁGINA DE DOCUMENTACIÓN DE INFORME			Formato Aprobado OMB NO. 0704-0188
Se estima que el tiempo promedio necesario para proporcionar esta información al público es de 1 hora por respuesta, incluyendo el tiempo necesario para revisar instrucciones, realizar una búsqueda en las fuentes de datos existentes, recopilar y mantener los datos necesarios, llenar y revisar la información recopilada. Envíe cualquier comentario referente a este estimado de tiempo o a cualquier otro aspecto de esta información, incluyendo sugerencias para reducir dicho tiempo, a Servicios Centrales de Washington, Dirección de Operaciones de Información e Informes, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, y a la Oficina de Administración y Presupuesto, Proyecto de Reducción de Documentación (0704-0188), Washington, DC 20503.			
1. PARA USO EXCLUSIVO DE LA DEPENDENCIA (Dejar en blanco)	2. FECHA DEL INFORME Abril de 2004	3. TIPO DE INFORME Y FECHAS CUBIERTAS Informe Técnico	
4. TÍTULO Y SUBTÍTULO Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca		5. NÚMEROS DE FINANCIAMIENTO WF7C0310, WF3N1030	
6. AUTOR(ES) D. Elliott, M. Schwartz, G. Scott, S. Haymes, D. Heimiller, R. George			
7. NOMBRE(S) Y DOMICILIO(S) DE LA ORGANIZACIÓN REALIZADORA		8. NÚMERO DE INFORME DE LA ORGANIZACIÓN REALIZADORA	
9. NOMBRE(S) Y DOMICILIO(S) DE LA DEPENDENCIA PATROCINADORA/SUPERVISORA Laboratorio Nacional de Energía Renovable 1617 Cole Blvd. Golden, CO 80401-3393		10. NÚMERO DE INFORME DE LA DEPENDENCIA PATROCINADORA/SUPERVISORA NREL/TP-500-35575	
11. NOTAS COMPLEMENTARIAS			
12a. DISTRIBUCIÓN / DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD Servicio Nacional de Información Técnica Departamento de Comercio de los Estados Unidos 5285 Port Royal Road Springfield, VA 22161		12b. CÓDIGO DE DISTRIBUCIÓN	
13. ABSTRACTO (Máximo 200 palabras) El Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca, elaborado por el grupo de recursos eólicos del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), es el resultado de un extenso estudio cartográfico del estado de Oaxaca en la República Mexicana. Este atlas identifica las características del viento y distribución del recurso eólico en el estado de Oaxaca. Los mapas detallados de recursos eólicos y otra información contenida en el atlas facilitan la identificación de zonas con potencial para el uso de tecnologías de energía eólica, tanto para generación a escala comercial como para aplicaciones de energía eólica fuera de la red.			
14. TERMINOLOGÍA DEL TEMA mapas de recursos eólicos, Oaxaca, México, características y distribución del viento		15. NÚMERO DE PÁGINAS	
		16. CÓDIGO DE PRECIO	
17. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DEL INFORME No clasificado	18. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DE ESTA PÁGINA No clasificado	19. CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD DEL ABSTRACTO No clasificado	20. LIMITACIÓN DEL ABSTRACTO ILIMITADO



Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional



Secretaría de Energía (SENER)



Gobierno del Estado de Oaxaca, Secretaría de Desarrollo Industrial y Comercial (SEDIC)



Comisión Federal de Electricidad



Instituto de Investigaciones Eléctricas



Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)



TrueWind Solutions, LLC



Winrock International



Elaborado por  
Laboratorio Nacional de Energía Renovable  
1617 Cole Boulevard • Golden, Colorado 80401-3393  
Un laboratorio nacional del Departamento de Energía de los Estados Unidos  
Administrado por Midwest Research Institute y Battelle  
para el Departamento de Energía de los Estados Unidos  
bajo el contrato No. DE-AC36-99-GO10337  
NREL/TP-500-35575 • Abril de 2004