

### 3.- RESULTADOS DE ESTUDIOS PREVIOS

En el contexto de este proyecto se realizó un catastro de estudios previos relacionados con energía eólica en Chile, que abarcan todos los ámbitos del tema, desde aspectos teóricos básicos hasta construcción de máquinas eólicas. La tarea, entonces, consistió en recopilar la mayor parte de dichos estudios, clasificarlos y analizar aquellos concernientes al área de prospección.

El tipo de información procesada, así como la metodología empleada en la estimación del recurso eólico difiere considerablemente entre un estudio y otro, por lo cual los resultados tienen diversos grados de precisión. En general, en la mayoría de ellos se caracteriza el recurso mediante el ajuste de alguna distribución estadística, calculando a partir de ella el potencial disponible para la región considerada. La función de distribución de probabilidad más utilizada es la de Weibull de 2 parámetros (f.d.p.W.), la cual, de acuerdo a diversos autores, es la que mejor se ajusta a los datos de velocidad de viento. El potencial eólico de un lugar se representa mediante la densidad de potencia eólica media (d.p.e.m), que corresponde a la potencia media por unidad de área disponible en el viento (pág. 8 en Anexo I).

Los errores en la estimación de los parámetros de la f.d.p.W. se amplifican considerablemente en el cálculo de la densidad de potencia eólica media, por el hecho de que ésta es proporcional al cubo de la velocidad. La descripción de los métodos referidos en este informe, su precisión, así como una breve descripción de la función de densidad de probabilidad se entregan en el Anexo I.

El tipo de información procesada es el principal factor que determina el método de cálculo de los parámetros de la distribución y, por lo tanto, la precisión de la estimación de la d.p.e.m.. Una prospección adecuada requiere de una muestra de velocidades medias en intervalos de tiempo relativamente breves (por ejemplo horarios o bi-horarios), de modo de poder identificar las características del ciclo diario

en la disponibilidad del recurso eólico. El muestreo debe extenderse idealmente durante varios años con el fin de caracterizar el ciclo anual así como la variabilidad interanual en el recurso eólico. Son pocos los estudios en Chile que han podido contar con este tipo de información. En cambio, un número importante de ellos se basan en resultados obtenidos a partir de tres observaciones diarias (12, 18, y 24 h, horario de invierno). Esto tiene el inconveniente de que se pueden sobrestimar o subestimar los efectos del ciclo diario, dependiendo de las horas a las cuales ocurren las velocidades máximas.

Se presenta a continuación un análisis crítico de los trabajos recopilados referentes a la prospección eólica en Chile. En ellos se incluye una breve descripción del estudio, las conclusiones más destacadas y una apreciación de la confiabilidad de los resultados. Los estudios de carácter global incluyen resultados aplicables a más de una zona del país. Debido a que los estudios no contienen toda la información necesaria para homogeneizar los resultados, se recurrió a procesamientos adicionales para completar los resultados, cuando ello fue posible.

### **3.1 Estudios de carácter global**

3.1.1 Atlas eólico preliminar de América Latina y El Caribe. Volumen VI, Cono Sur de América del Sur. (Aiello et al., 1983).

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) desarrolló un estudio encaminado a identificar las zonas potencialmente útiles para el aprovechamiento de este recurso energético, dentro del marco de su Programa Regional de Energía Eólica. El resultado de dicho trabajo se resumió en un Atlas Eólico Preliminar de América Latina y El Caribe, constituido por seis volúmenes. Respecto a Chile este estudio contiene información proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile y la Comisión Nacional de Energía para 27 estaciones meteorológicas. Se incluye la velocidad media anual y en algunos casos mensual, obtenida a partir de tres observaciones diarias (12, 18 y 24 h GMT), así como las características de las

estaciones consideradas, incluyendo el tipo, ubicación geográfica (latitud, longitud), elevación (m.s.n.m.) y altura del sensor sobre el suelo. El periodo de las observaciones es en la mayoría de los casos de 10 años, entre 1966 y 1978, o bien de 5 años, entre 1959 y 1965.

El procesamiento de la información consistió en estimar los parámetros de la f.d.p.W. mediante el método de la varianza (pág. 3 en Anexo I), asignándose en forma estimativa un nivel de varianza alta si la velocidad media es inferior a 4 m/s, y un nivel medio si la velocidad media es superior a ese valor. En base a estos parámetros se calculó la densidad de potencia eólica media, utilizando el método de Meyers (pág. 9 en Anexo I).

Si bien la red de estaciones analizadas es considerable, el estudio no arroja resultados confiables, ya que el cálculo de densidad de potencia eólica media se realizó a partir de un ajuste de la f.d.p.W. cuyos parámetros están calculados por un método empírico que adolece de serias limitaciones. Además, el hecho de que el ajuste esté basado sólo en observaciones realizadas tres veces al día, produce una fuente de error adicional al no considerar adecuadamente el ciclo diario en la disponibilidad del recurso eólico. Por las razones antes expuestas se recomienda tomar este estudio sólo dentro de un marco referencial de comparación entre estaciones.

3.1.2 Métodos de estimación del potencial eólico a partir de datos meteorológicos, (Cortez, 1981).

Se desarrolla una metodología para la estimación de los parámetros de la f.d.p.W. a partir de la información disponible en los anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile (pág. 5 en Anexo I), o en cualquier resumen climatológico de velocidad del viento.

Los datos que el método requiere son la probabilidad de ocurrencia de calmas asociadas a una velocidad mínima de detección del instrumento de medición (para este caso 1 nudo), la velocidad media anual y la frecuencia porcentual de ocurrencias de velocidades por encima de un cierto valor (20 nudos). Estos parámetros se deducen a partir de la climatología publicada en los Anuarios Meteorológicos para tres observaciones diarias de velocidad en 31 estaciones meteorológicas a lo largo de Chile. Se consideró el periodo 1967-1970, obteniéndose para cada estación los parámetros de la f.d.p.W. de 2 parámetros y, en algunos casos, los de la f.d.p.W. de 3 parámetros. Se estimó, además, la potencia disponible en un eologenerador típico de velocidades umbral, regulación y puesta en bandera de 8, 20 y 40 nudos, respectivamente.

Por otro lado, se probó el método desarrollado para los datos de velocidad de viento cada dos horas de la estación Bellavista en Concepción. Los resultados de este análisis en particular se comentan en el capítulo dedicado a los estudios en el sector de Concepción.

Considerando que la base de datos corresponde a observaciones tridarias, los resultados entregados pueden estimar en forma inadecuada el recurso eólico en el sector norte del país, donde el ciclo diario muestra un marcado aumento diurno en la velocidad del viento. El conocimiento parcial de la función de probabilidad acumulada en el cual se basa este método, hace aumentar el error asociado a los parámetros estimados. Por estas razones, el uso de este método resulta recomendable sólo cuando la información disponible no permite el uso de otro más exacto. Dentro de las tablas resúmenes que se incluyen al final de esta sección no se presentan los potenciales eólicos calculados, ya que éstos están asociados a un tipo de eologenerador particular y, por lo tanto, no representan la d.p.e.m.

Con el objeto de homogeneizar la información contenida en la Tabla 3.3, se transformaron los resultados a unidades comunes (S.I.), calculándose además por el

método de Meyers la densidad de potencia eólica media en aquellas estaciones que lo permitían ( $\alpha, \beta > 0$ ).

## **3.2 Estudios en la zona norte del país**

3.2.1 Estudio de alternativas de aplicación de energía eólica en la Primera Región Arica, (INTEC-Chile, 1982). Estudio de alternativas de aplicación de energía eólica en la provincia de Iquique, (INTEC-Chile, 1982).

Ambos estudios fueron encargados por SERPLAC a INTEC-Chile con el objetivo de caracterizar las zonas altiplánicas en las cuales el recurso eólico pudiese ser aprovechable, tanto para bombeo de agua como para generación eléctrica. Con dicho fin, se instalaron seis estaciones de registro continuo en papel, en poblados de la provincia de Iquique (Chusmiza, Enquelga, Villablanca, Cancosa y Pisiga Choque) durante el periodo diciembre de 1981 a julio de 1982, y cinco en las provincias de Parinacota y Arica (Visviri, Putre, Zapahuira, Chapiquiña y Codpa), funcionando estas últimas entre abril de 1981 y febrero de 1982. Además, se analizaron los registros mes por mes del año 1980 de la estación Parinacota dependiente de ENDESA.

El procesamiento de la información consistió en extraer de las bandas de registros las velocidades medias horarias que excedían los 3 m/s, ignorándose las velocidades inferiores a ese umbral dado que su aporte energético es despreciable. A partir de las velocidades, se calculó la energía total del viento por mes ( $\text{Kwh./m}^2$ ) como la suma de las potencias eólicas horarias. Además, se estimó la energía anual disponible en el viento. Se presenta también la cantidad de horas diarias medias mensuales con velocidades superiores a 3 m/s, así como estimaciones de energía eléctrica y caudal bombeado obtenible por diversos equipos de conversión de energía eólica.

## Procesamiento adicional realizado en este estudio

Dado que la metodología adoptada por INTEC no considera las velocidades inferiores a 3 m/s, se procedió a estimar la influencia de éstas sobre la energía media mensual. Para ello se usaron los datos de la estación Parinacota aportados por ENDESA a este proyecto, los que corresponden a un muestreo de cinco años, mes por medio, cada tres días y hora por medio. De esta información se extrajo las velocidades inferiores al umbral fijado por INTEC y se calculó la energía media anual de forma similar al estudio analizado, comparándola luego con el valor obtenido de la serie completa de datos. Los resultados de este análisis muestran que la metodología de INTEC arroja estimaciones conservativas con un error inferior al 4% en la estimación de la energía del viento.

Se dedujo la d.p.e.m. mensual y anual como la energía de cada periodo dividida por el número total de horas de éste. Se estimó, además, las velocidades medias mensuales como las velocidades medias entregadas por INTEC ponderadas por el número de horas de viento superior a 3 m/s, más una velocidad media asociada a los valores inferiores al umbral, ponderada por las horas con velocidades inferiores a éste. Se estimó un valor medio de 1.3 m/s para las velocidades inferiores a 3 m/s, el cual se obtuvo de los datos de Parinacota. Los resultados se presentan en la Tabla 3.4. Por otro lado, a partir de fotografías incluidas en el estudio se estimó que los sensores de viento estaban instalados a 6 metros sobre el suelo, aproximadamente.

En general, tanto la metodología de INTEC como la usada para hacer comparable los valores a los otros resultados del presente estudio, son conservativas y de una calidad aceptable. En la Tabla 3.4 no se entregan los resultados para Chapiquiña y Codpa porque durante el periodo analizado la magnitud del viento rara vez superó la velocidad umbral de 3 m/s, a lo cual el estudio de INTEC les asocia una energía anual igual a cero. Fue imposible estimar los valores de los factores de la distribución de Weibull por lo limitado de la información.

### 3.2.2 Evaluación y diseño de plantas eólicas para la generación de electricidad en el norte de Chile, (Palma y Muñoz, 1981).

A partir de valores mensuales medios de velocidad de viento en nudos, calculados de observaciones tri-diarias y recopilados de los anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile para cuatro estaciones de la zona norte del país (Arica, Potrerillos, Antofagasta y Copiapó), se ajusta para cada estación una f.d.p.W. utilizando el método de los mínimos cuadrados (pág. 5 en Anexo I), calculándose luego la potencia eólica media disponible en el aspa de un eologenerador. Esta equivale a la d.p.e.m multiplicada por un factor de utilización estimado en 0.3. La d.p.e.m. se calculó utilizando el método de Meyers. El volumen de información disponible corresponde a registros de 13, 12, 13 y 11 años para Arica, Potrerillos, Antofagasta y Copiapó, respectivamente.

Los resultados obtenidos presentan las limitaciones ya descritas por el hecho de utilizar velocidades medias mensuales y observaciones tridiarias. En esta región en particular, el uso de las observaciones sinópticas a las 12, 18 y 24 h GMT genera una incertidumbre relativamente alta en la estimación de la potencia disponible.

Se normalizó la información a unidades del S.I., y se estimó la d.p.e.m. dividiendo el valor de la potencia disponible en el aspa del aerogenerador por el factor de utilización. Estos resultados adicionales se incluyen en la Tabla 3.3.

### 3.2.3 Variabilidad diaria, estacional e interanual de la densidad de potencia eólica teórica en la costa norte de Chile, (Rutllant, 1981).

A partir de valores horarios de la velocidad del viento, considerando un muestreo de seis días por mes en el periodo 1970 - 1973 en la estación Cerro Moreno de Antofagasta, se estudia la variabilidad estacional e interanual de los valores medios de la velocidad del viento y la densidad de potencia eólica teórica. Los regímenes

diurno (09 a 21 h local) y nocturno (21 a 09 h local) son investigados en forma independiente.

La metodología utilizada es la siguiente: para cada año y periodo estacional dentro de éste, se dividió la muestra en dos, definiendo un régimen diurno (09 a 21 h local) y uno nocturno (21 a 09 h local). A cada grupo de datos se le ajustó la f.d.p.W. por mínimos cuadrados, calculando luego la d.p.e.m. mediante una integración numérica (pág. 10 en Anexo I). Se entregan, además, los valores de las velocidades medias de los grupos. El estudio incluye también una descripción de los regímenes de viento en la costa norte de Chile y la influencia de las variaciones de la temperatura sobre él.

Se aprecia una relación significativa entre las anomalías estacionales de la temperatura del aire y las correspondientes anomalías del viento medio. En particular, se encuentra que la densidad de potencia eólica teórica en la primavera de 1972 (anormalmente cálida) es casi el doble del valor en la primavera de 1971 (anormalmente fría), reflejando la importancia de integrar en la base de datos información proveniente de varios años.

Se observa un ciclo estacional marcado, con máximos en primavera y verano, y mínimos en otoño. Se documenta además una diferencia considerable en el comportamiento de los regímenes diurno y nocturno, observándose que en el primero la d.p.e.m. duplica la d.p.e.m. del segundo.

Considerando el tipo de datos y la metodología utilizados los resultados de este estudio son considerados confiables.

Se calcularon las d.p.e.m. y las velocidades medias estacional y anual para el periodo global, como el promedio entre los valores de cada año y de cada régimen. Estos datos son los que se incluyen en la Tabla 3.4. No fue posible estimar los parámetros de la f.d.p.W. asociada al año. En la Tabla 3.1 se resumen los resultados tal como se presentan en el estudio original.

Tabla 3.1 Parámetros de la distribución de Weibull, velocidad media (V) y densidad de potencia eólica media (P) en la estación cerro Moreno (Antofagasta) derivados de Rutllant (1981).

	Año	$\alpha$ [m/s]	$\beta$	V [m/s]	P[W/m <sup>2</sup> ]
verano	70	6.15	3.38	5.1	134
	71	6.19	2.76	5.3	148
	72	6.06	3.23	5.0	130
	73	6.98	3.32	6.1	196
otoño	70	4.98	2.86	4.2	76
	71	4.92	2.71	4.2	75
	72	4.59	2.71	3.8	61
	73	6.32	2.69	5.2	160
invierno	70	6.14	2.87	4.0	142
	71	5.30	2.56	4.4	97
	72	6.14	2.54	5.2	151
	73	5.52	2.50	4.6	111
primavera	70	6.22	3.25	5.2	140
	71	6.09	3.21	5.2	132
	72	7.39	3.36	6.2	232
	73	6.50	3.76	5.4	154

### 3.2.4 Evaluación preliminar del potencial eólico en Chuquicamata, (Sepúlveda y Morales, 1992).

Se entrega una evaluación preliminar del recurso eólico en Chuquicamata y Calama a través de procedimientos estadísticos, empleando para tal efecto las mediciones promedio horarias de velocidades del viento en el periodo comprendido entre los años 1988 y 1991. Además, los resultados obtenidos se aplican a la estimación del grado de utilización y el dimensionamiento de granjas eólicas, con fines de determinar la viabilidad del aprovechamiento del recurso en la zona.

El procesamiento consistió en ajustar diversas funciones de distribución de frecuencias estadísticas a los datos, concluyéndose que la distribución Weibull es la más adecuada para las dos estaciones analizadas. A partir de ella se estima la d.p.e.m. mediante el método de Meyers, las que arrojan 58 y 85 W/m<sup>2</sup> para

Chuquicamata y Calama respectivamente. Se muestran además, los ciclos diarios globales de ambas estaciones.

La metodología adoptada parece confiable. Sin embargo, se advierten algunas diferencias significativas entre la distribución empírica de los datos y la distribución ajustada, particularmente en la estación Chuquicamata. Se hace notar la ausencia de alguna estimación del error asociado a la d.p.e.m. calculada por medio de la f.d.p.W., con respecto a la obtenible de la serie global de datos.

### 3.2.5 Evolución diaria de los vientos superficiales en la zona de Antofagasta. Parte 1: Observación, (Zuleta y Vergara, 1992).

En este trabajo se presentan los resultados de la recopilación de información de viento en 5 estaciones ubicadas en la zona de Antofagasta: Mina Iván, Cerro Moreno, Uribe, Universidad Católica del Norte y Refimet. Las tres primeras son dependientes de la Dirección Meteorológica de Chile.

La información presentada corresponde a ciclos anuales y diarios, tanto de dirección como de magnitud de viento, resumidos por medio de figuras de isolíneas de velocidad de viento. Dado que los sensores de viento se encuentran a diversas alturas sobre el nivel del suelo, la información se entrega normalizada a 10 metros.

El estudio no incluye estimaciones de d.p.e.m. ni se adjunta la información suficiente para poder calcularla por algún método relativamente confiable. Sin embargo, esta información puede ser utilizada para tener una visión global del recurso eólico en la zona de Antofagasta. Con miras a esos fines se presentan, en el Anexo V de este informe, los resultados de Mina Iván, Uribe y Universidad Católica del Norte, de las cuales este proyecto no cuenta con otra información. A estas estaciones se les calculó, además, la velocidad media anual a partir de lecturas de velocidades medias horarias tomadas de las figuras de isolíneas de velocidad de viento.

### 3.3 Estudios en la V Región y Región Metropolitana

3.3.1 Metodología para la prospección y evaluación del potencial eólico, (Naveas, 1983). Análisis estadístico del potencial eólico de la V Región, (Tiemann et al., 1983). Consideraciones generales acerca de la prospección y evaluación de la energía eólica, (Tiemann y Naveas, 1990a). Punta Curaumilla: un estudio tipo para la evaluación mixta del recurso eólico y la aerogeneración real. (Tiemann y Naveas, 1990b).

Estos trabajos resumen los resultados de estudios encaminados a caracterizar el potencial eólico de la V Región. Todos ellos se encuentran basados en registros continuos de rapidez y dirección de viento en cinco lugares, obtenidos mediante el mismo anemógrafo. El periodo abarcado por los registros es de julio de 1980 hasta la primavera de 1983. Los lugares estudiados y la cantidad de información de cada punto es la siguiente: Casablanca 2536 datos; Lo Orozco 2396 datos; Quintero 803 datos; La Hormiga (San Felipe) 7941 datos (febrero de 1981 a marzo de 1982); y Punta Curaumilla 1560 datos en 1981 y 4549 datos en 1983 (abril a noviembre).

El procesamiento de la información anterior consistió en un análisis estadístico de las velocidades medias y direcciones características horarias. Se ajustaron diversas distribuciones utilizando varios métodos, concluyéndose que la f.d.p.W. calculada por máxima verosimilitud (pág. 4 en Anexo I) es la más adecuada. Se estimó luego la d.p.e.m. por integración numérica de la distribución Weibull.

Para La Hormiga y Punta Curaumilla, que son los puntos con los cuales se cuenta con información suficiente, se entrega un análisis de la variabilidad estacional del recurso eólico, encontrándose que éstos son los lugares que presentan condiciones más favorables.

Punta Curaumilla tiene una d.p.e.m. altamente favorable (del orden de  $850 \text{ W/m}^2$ ). Además, es notable lo elevado del promedio de la velocidad del viento, así como la

alta frecuencia de ocurrencia de velocidades altas. Se estima que este lugar, por ser el más occidental de la V Región y estar expuesto completamente a las direcciones predominantes del viento (S y SW), representa la condición de potencial eólico máximo, lo que constituye la referencia típica para cualquier análisis posterior en la V Región.

Se observa tanto en La Hormiga como en Punta Curaumilla un ciclo estacional en la d.p.e.m. con máximos en primavera y verano que duplican los mínimos en otoño. Lamentablemente no se presenta un análisis de ciclos diarios, pero se hace referencia a que en Punta Curaumilla, durante la noche y para cualquier época del año, las condiciones del viento siguen siendo favorables para generación.

3.3.2 Evaluación regional de la energía eólica mediante la utilización de series de tiempo, (Allende et al.,1984).

En base a los mismos registros utilizados en los trabajos previos, se aplica la metodología desarrollada por Box y Jenkins, correspondiente a modelos de series de tiempo, para describir el comportamiento de la rapidez del viento en las estaciones La Hormiga y Punta Curaumilla. Se abordó también el problema de reducir la cantidad de información mediante la técnica de componentes principales, con el objetivo de permitir el procesamiento de periodos más largos.

Este estudio presenta utilidad en la medida que encuentra una relativa invarianza de los modelos de 24 horas desarrollados, lo que sugiere la posibilidad de una reducción en la cantidad de datos diarios necesarios, ya sea midiendo a intervalos más espaciados u obteniendo un promedio diario o incluso semanal. Con esto las predicciones tendrían en la práctica más utilidad, puesto que el empleo de datos horarios restringe la posibilidad de obtener modelos óptimos para periodos más extensos debido al gran volumen de información a procesar.

### 3.3.3 Estudio experimental de la estabilidad atmosférica en Santiago mediante uso de anemómetro sensible, (Guzmán, 1984).

En este estudio, encaminado a conocer el comportamiento de la atmósfera a través de mediciones de viento y del gradiente térmico en un punto fijo de la ciudad de Santiago, se incluye los resultados de las mediciones de viento hechas con un anemógrafo de registro continuo en papel, durante el periodo octubre de 1982 a agosto de 1983.

El instrumento utilizado se ubicó en el sector céntrico de la ciudad sobre un edificio de 16 metros de altura y en un mástil de 11 metros. Las estadísticas de interés incluidas corresponden a velocidades medias horarias mensuales e histogramas de frecuencias de velocidades parciales y acumuladas para el periodo total de registro (11 meses).

Procesamiento adicional realizado en este estudio:

Usando los valores de las velocidades medias horarias mensuales, se calculó la velocidad media de todo el periodo estudiado (2.0 m/s), y se elaboró la figura de isolíneas de velocidad del viento que se presenta en el Anexo V del informe. A partir de los valores de frecuencia de velocidades acumuladas, se estimaron los parámetros de la distribución de Weibull mediante el método de los cuartiles (pág. 3 en Anexo I), que si bien no es el más exacto, fue el único que se pudo aplicar. La d.p.e.m. se calculó por el método de Meyers. Dada la calidad de los registros los resultados parecen confiables.

## 3.4 Estudios en la VIII Región

### 3.4.1 Evaluación del potencial eólico en Concepción, (Seguel, 1983).

Se evalúa el potencial eólico en la estación meteorológica Bellavista de la Universidad de Concepción, considerando promedios horarios de rapidez de viento

obtenidos a partir de registros continuos de un año de medición (1981), además de datos tri-diarios tomados durante un periodo de 10 años (1972-1981).

Los histogramas de velocidad se comparan con las distribuciones Chi, Rayleigh, Weibull (2P) y Weibull (3P). Se determina que la distribución más adecuada para la estación Bellavista es la Weibull (2P). Se calcula la densidad de potencia (P) y la densidad de energía para el periodo 1981 y se comparan con las obtenidas para el periodo 1972 - 1981. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Periodo	$\alpha$	$\beta$	P (W m <sup>2</sup> )
1981	2.6589	0.9389	80
1972-1981	4.00464	1.12186	157

La diferencia existente entre la calidad de los ajustes de las distribuciones Weibull (3P) y Weibull (2P) es mínima, notándose incluso que la f.d.p.W. (2P) tiene un grado de ajuste mayor a los datos si se consideran sólo las velocidades superiores a los 3 m/s, que son las utilizables para generación. Por esta razón, se considera que los resultados de la aplicación de la f.d.p.W. (2P) son más adecuados.

La d.p.e.m. calculada para los datos tridiarios duplica la de los registros continuos. Consideramos que la variabilidad interanual puede explicar sólo en cierta medida esta gran diferencia, siendo la razón principal el sesgo hacia las condiciones diurnas generado por la ausencia de información nocturna en los datos sinópticos de las 12, 18 y 24 h GMT. Los parámetros de la f.d.p.W. fueron estimados por el método de mínimos cuadrados y la d.p.e.m. mediante el método del histograma (pág. 9 en Anexo I). Este último no es el más preciso, pero hemos asumido que el error asociado es de menor importancia.

Procesamiento adicional realizado en este estudio:

Se calculó la velocidad media del periodo como la esperanza de la velocidad según la f.d.p.W (pág. 2 en Anexo I).

### 3.4.2 Influencia de la variación temporal de la rapidez del viento en la obtención de energía mediante aerogeneradores, (Seguel, 1988).

Se presenta un análisis general de las variables climáticas que influyen en las características del recurso, junto con los primeros resultados de un estudio encaminado a describir la influencia del anticiclón del Pacífico en los regímenes de viento predominantes en zonas costeras. Se entregan, además, resultados del análisis de las características del viento en Concepción (estación Bellavista) para los datos tridarios de un periodo de 23 años (1965-1987). En éste se incluye los promedios anuales de la rapidez del viento junto con el ciclo anual involucrado.

Existe un ciclo anual con un máximo en los meses de verano donde predominan los vientos SW, y otro en julio con predominio de vientos N. El ciclo en sí no es muy marcado. Se aprecia una variabilidad interanual considerable con fluctuaciones de velocidades medias entre 1.0 y 4.3 m/s. El promedio de la velocidad en 1981 es inferior al climatológico lo que lleva a pensar que los resultados del estudio previo subestiman las condiciones eólicas de la región.

### 3.4.3 Métodos de estimación del potencial eólico a partir de resúmenes meteorológicos, (Cortez y Ulriksen, 1981).

En este estudio, cuya metodología ha sido descrita con detalle en el trabajo mencionado de Cortez (1981), se estimaron por diversos métodos los parámetros de la f.d.p.W. para las observaciones de viento bihorarias de la estación Bellavista en Concepción durante el periodo 1975 - 1977.

El trabajo no incluye pruebas de calidad de ajuste de las distribuciones obtenidas por los diversos métodos, ni estimaciones de la d.p.e.m.. Sin embargo, considerando el carácter bihorario de los datos, los resultados parecen aceptables. Los parámetros de la distribución de Weibull que hemos asumido como los correctos son los

calculados por mínimos cuadrados ( $a=3.15$ ,  $\xi=1.43$ ). La velocidad media del periodo fue de 6.04 nudos.

Procesamiento adicional realizado en este estudio:

Se estimó la d.p.e.m. a partir de la f.d.p.W. deducida por mínimos cuadrados mediante el método de Meyers.

### **3.5 Estudios en la X Región**

3.5.1 Registro del potencial eólico en la ciudad de Valdivia, (Rojas y Bastidas, 1990).

Se analizan las velocidades medias y las direcciones características horarias para dos puntos de la ciudad de Valdivia: dentro del recinto del I.P.V. (3389 datos de 1987) y en el Aeródromo Las Marías (años 1988 y 1989 completos). Los datos se extrajeron de una estación anemográfica automática adquirida para los fines del estudio. El aeródromo Las Marías es considerado por el equipo investigador como el punto más representativo de la ciudad. También se estudiaron dos años (1962 y 1963) de velocidades horarias medias y direcciones horarias en la estación meteorológica de la Isla Teja perteneciente a la Universidad Austral de Chile.

Se ajustó la f.d.p.W. a los datos por diversos métodos concluyéndose que el ajuste por máxima verosimilitud es el más adecuado. Se calculó la d.p.e.m. mensual y anual en los puntos estudiados mediante el método de integración numérica.

Lamentablemente este estudio incluye resultados en detalle sólo para 1989 en la estación Las Marías. En el resto de los casos se entregan únicamente los resultados globales. Estos se presentan en la Tabla 3.3. La variabilidad interanual del potencial eólico parece ser relativamente pequeña. En Las Marías, la d.p.e.m. es del orden  $55 \text{ W/m}^2$  para los dos años estudiados, y en Isla Teja bordea los  $45 \text{ W/m}^2$  tanto en 1962 como en 1963. En los resultados correspondientes a 1989 se distingue un leve

ciclo anual para la d.p.e.m. con máximos entre julio y octubre. Considerando la calidad de la información y la metodología utilizada, los resultados del estudio son confiables.

### 3.5.2 Potencial eólico en el Canal de Chacao. Evaluación comparativa mediante distribución de Weibull y metodología tradicional, (Tiemann et al.,1982).

En base a datos obtenidos en la estación anemográfica de ENDESA situada en la costa nororiental del Canal de Chacao (Pargua), se realizó una evaluación de la energía eólica del lugar. El trabajo considera promedios horarios de magnitud de viento obtenidos a partir de un registro continuo de un año de duración (1979).

Sobre la base de las distribuciones frecuencia-velocidad y de las curvas magnitud-duración y potencia-duración, se calculó la d.p.e.m. por año y para cada periodo estacional. Los resultados se comparan con los obtenidos mediante la aplicación de la f.d.p.W. ajustada por mínimos cuadrados considerando los intervalos más representativos del registro.

Se estudia la posibilidad de que un trimestre no secuencial como Marzo-Agosto-Noviembre, que corresponde respectivamente a los meses de peores, medianas y mejores condiciones de viento, sea representativo del año en su conjunto.

La f.d.p.W. demostró representar adecuadamente las condiciones del régimen de vientos de la zona. También se comprobó que el trimestre no secuencial del año define satisfactoriamente la globalidad del periodo, ya que la diferencia entre la d.p.e.m. deducida con este trimestre ( $118.8 \text{ W/m}^2$ ) y la del año en su conjunto ( $120.1 \text{ W/m}^2$ ), es del orden del 1%. Se aprecia un ciclo estacional bien definido para la d.p.e.m., con máximos en invierno ( $157 \text{ W/m}^2$ ) que duplican a los mínimos de verano ( $75 \text{ W/m}^2$ ).

Los resultados obtenidos son confiables, pero lamentablemente se omite información sobre la totalidad de los parámetros de Weibull de los trimestres estudiados. Tampoco se incluye información sobre velocidades medias.

Procesamiento adicional realizado en este estudio:

Se calculó la velocidad media anual mediante la esperanza de la velocidad para la f.d.p.W.

3.5.3 Estudio comparativo de distribuciones estadísticas aplicadas al potencial eólico de Pargua (X Región), (Henríquez y Tubino, 1984).

Se realizó un estudio comparativo de las distribuciones estadísticas de Weibull (2 y 3 parámetros), Gamma, Log-Normal, Exponencial y Chi Cuadrado, aplicadas a datos de la estación Pargua que coinciden con los del estudio previo.

El trabajo consta de una parte teórica (estudio de las distribuciones) y una parte práctica, donde se analizan los datos (7088 en total), se aplican las distribuciones y se prueba su grado de ajuste mediante los test de Chi Cuadrado y Kolmogorov Smirnov, para luego evaluar la d.p.e.m. con la distribución de Weibull, la que logra el mejor ajuste.

Este estudio es complementario al anterior. Demuestra que la distribución de Weibull de 2 parámetros es la que mejor representa a la serie de datos estudiados. Además, se calcularon por los métodos más confiables los parámetros de la f.d.p.W. (máxima verosimilitud) y la d.p.e.m. (integración numérica) del año completo, obteniéndose un valor de  $120 \text{ W/m}^2$ .

3.5.4 La distribución gaussiana inversa, una alternativa para la evaluación de la energía eólica, (Alvarado y Naveas, 1984).

En este trabajo se analizan las características y propiedades de la distribución gaussiana inversa y se muestra la aplicabilidad y ventajas de su uso como un elemento de análisis en la caracterización y evaluación de la energía eólica.

Los resultados del análisis fueron aplicados a los datos de registros continuos de velocidades medias horarias de tres estaciones anemográficas: Canutillar, Pargua (ambas en la X Región) y La Hormiga (San Felipe, V Región). Los datos de Pargua son los mismos de los dos estudios previos.

La distribución gaussiana inversa no aprobó ningún test de bondad de ajuste, y por lo tanto no resulta adecuada para caracterizar las condiciones del régimen de viento en las estaciones consideradas. Sin embargo, permite realizar una estimación del potencial eólico para la estación Canutillar en función de la d.p.e.m. en Pargua, para la cual existen resultados confiables durante 1979. Se llega a la conclusión de que la d.p.e.m. en Canutillar es del orden de un sexto de la de Pargua, es decir, alrededor de  $20 \text{ W/m}^2$ .

### **3.6 Estudios en la XI y XII Región**

3.6.1 Estimación del potencial de energía eólica en Isla Las Huichas, (Ulriksen et al., 1993).

En este estudio se analizan los registros de viento del periodo agosto 1991- febrero 1992 obtenidos de un anemógrafo automático instalado en la Isla Las Huichas. El instrumento se encuentra a 10 metros sobre el nivel del suelo y es de registro en papel.

Se obtuvieron las estadísticas básicas de la serie de datos, las que incluyen, entre otras, ciclos diarios, frecuencias de ocurrencia y acumuladas de velocidades, velocidades medias y d.p.e.m.. Se probaron diversos ajustes de distribuciones estadísticas a los datos, para cada mes y para todo el periodo de información. En los meses más ventosos los ajustes apropiados correspondían a distribuciones Weibull, y para los menos ventosos a distribuciones Log-normal. La distribución asociada a la serie de datos completa es Weibull con parámetros: escala = 4.693; forma = 1.311. La velocidad media para todo el periodo fue de 4.3 m/s y la d.p.e.m. de 179 W/m<sup>2</sup>. Esta última se calculó directamente de la serie de datos (pág. 9 en Anexo I), considerando un valor de 1.2 kg/m<sup>3</sup> para la densidad del aire.

Del análisis de la serie de datos de velocidad y dirección de viento en la isla, junto con el de precipitación diaria en una estación cercana (Aisén), se pudo deducir la existencia de dos regímenes de viento independientes, uno asociado a pasos de frentes de mal tiempo (viento de magnitud elevada), y el otro caracterizado por vientos más débiles, asociado a periodos entre tormentas. Además, se pudo constatar que el principal factor en la variabilidad mensual del recurso eólico correspondía, precisamente, a estos pasos de sistemas frontales.

En base a lo anterior, se separó la información en dos muestras con la intención de caracterizar los dos regímenes, utilizándose un umbral de precipitación diaria de 5 mm, para decidir la clasificación correspondiente. Para cada submuestra se calculó la velocidad media, la densidad de potencia eólica media y el ajuste de la distribución más adecuada. Estas correspondieron a Weibull (escala = 6.146, forma = 1.385) y Log-Normal ( $\mu = 0.996$ ,  $\sigma = 0.769$ ) para las muestras de días lluviosos y secos ( $pp < 5$  mm), respectivamente. La distribución estadística representativa de la serie completa de datos corresponde, entonces, a la composición de las distribuciones de las dos submuestras ponderadas por sus respectivos tamaños.

La estimación de la función de distribución para cada mes y para el año se realizó ponderando las distribuciones calculadas para los periodos secos y lluviosos en base

a una estadística de días con precipitación sobre 5 mm en un lugar relativamente cercano (Puerto Aysen) en el periodo 1970-91. Los resultados obtenidos utilizando este método para la velocidad y d.p.e.m. se presentan en la Tabla 3.4. Dentro del mismo estudio, se calculó la potencia generable por un eologenerador de 30 kW de potencia nominal y se probó un modelo de física simplificada para la extrapolación espacial del viento sobre la isla.

El método de ajuste compuesto desarrollado probó ser mejor que el ajuste único Weibull, para las características del régimen de viento en la isla. Además, este método permite extrapolar las características del recurso eólico para todo el año a partir de las mediciones realizadas durante 7 meses.

3.6.2 Evaluación de registros continuos de energía eólica en un punto de la XII Región, (Bonifetti et al.,1978). Aprovechamiento de la energía eólica en Magallanes, (Santana, 1981).

En ambos estudios se analizan los registros continuos de un anemógrafo instalado en la estación Jorge Schythe de la Universidad de Magallanes, durante el año 1977, con un total de 7852 datos de velocidades medias horarias. La estación se encuentra ubicada unos 4 km al norte de la ciudad de Punta Arenas, en el recinto del Instituto de la Patagonia.

El procesamiento de la información consistió en la obtención de curvas de frecuencias de ocurrencia de velocidades, de duración de potencia y velocidad, ciclos diarios y anuales, y otras de menor interés.

La metodología utilizada para la estimación de la d.p.e.m. no es la más precisa, pero sí la más confiable para el tipo de información disponible. Por ello consideramos que ella nos entrega una aproximación aceptable del recurso eólico anual ( $170 \text{ W/m}^2$ ). Un punto interesante es la existencia de un ciclo diario bien definido con máximos al

mediodía cercanos a 6 m/s y mínimos durante la noche y la madrugada, del orden de 3.8 m/s.

Procesamiento adicional realizado en este estudio:

En base a la información presentada, en particular el histograma de frecuencia acumulada de velocidades, se estimaron los parámetros de la f.d.p.W. por el método de los cuartiles y la d.p.e.m., mediante el método de Meyers. Se dedujo además, la velocidad media anual como el promedio de las velocidades medias mensuales.

### 3.6.3 Recursos energéticos de la XII Región de Magallanes, (Wiedman, 1982).

Dentro de este estudio, tendiente a caracterizar el potencial energético de la duodécima región, se realiza una breve descripción del potencial eólico de la zona. Esta incluye: una reseña de las experiencias regionales en energía eólica, un listado de estaciones meteorológicas de la zona y el análisis del potencial eólico para 7 estaciones. De éstas, 6 son dependientes de la Armada de Chile: Punta Dungeness, Islote Evangelistas, Isla Dawson, Puerto Williams, Isla Nueva e Isla Diego Ramírez; se encuentran en zonas rurales a 8 metros sobre el nivel del suelo y sólo realizan observaciones 4 veces al día. La séptima es la estación Jorge Schythe, de la cual se analizaron los registros continuos de velocidad del año 1978. Para las estaciones de la Armada no se indica el periodo de recopilación utilizado.

El procesamiento de la información consistió en la obtención de las curvas de frecuencias de velocidad y duración de potencia, así como la densidad de potencia eólica por medio del método del histograma.

Dada la calidad de la información, los resultados deducidos para las estaciones de la Armada, incluidos en la Tabla 3.3, no presentan un grado de precisión adecuado para los fines del proyecto, pero permiten obtener una visión general del recurso eólico en la zona, observándose que éste es mayor en los lugares bien expuestos a los vientos dominantes del Oeste.

Para la estación J. Schythe la velocidad media durante 1978 fue de 4.9 m/s y la d.p.e.m. de  $92 \text{ W/m}^2$ . Dichos valores parecen confiables dada la calidad de los datos utilizados en su cálculo. Se hace notar la existencia de una marcada variabilidad interanual, ya que en la sección 3.6.2 se estimó una d.p.e.m. de 164 para 1977 a partir de los resultados entregados en los estudios de Bonifetti (1978) y Santana (1981). Podemos estimar, entonces, la d.p.e.m. de la estación como la media entre ambos datos, es decir, alrededor de  $130 \text{ W/m}^2$ , para el periodo 1977 - 1978.

Procesamiento adicional realizado en este estudio:

Se dedujeron los parámetros de la distribución de Weibull por medio del método de los cuartiles. Como una forma de estimar la calidad del ajuste, se calculó la d.p.e.m. mediante el método de Meyers, obteniéndose  $98 \text{ W/m}^2$  con un error inferior al 7% con respecto al valor presentado en el estudio.

3.6.4 El clima al sur de la Patagonia y sus aspectos ecológicos: un siglo de mediciones climatológicas en Punta Arenas, (Endlicher y Santana, 1988).

Se definen las condiciones meteorológicas típicas en la Patagonia a partir del análisis de la dinámica de la circulación atmosférica en el Hemisferio Sur y del impacto de la morfología regional sobre ella. Se estudió el comportamiento detallado de la precipitación, temperatura y viento bajo el aspecto ecológico, en busca de los efectos que estos parámetros han ocasionado a los diversos ecosistemas regionales.

El estudio contiene un resumen del resultado de los registros continuos de velocidad del viento efectuado en las estaciones Jorge Schythe y Kampenaike, distante esta última unos 60 km al norte de la ciudad de Punta Arenas. Para la primera se entrega el ciclo anual del periodo 1977-1987 y las isopletas de viento para 1978-1984. La segunda, en cambio, sólo tiene información del ciclo anual entre 1984 y 1987.

La información incluida es insuficiente para realizar una estimación aceptable, tanto de la f.d.p.W. como de la d.p.e.m.. Sin embargo, este trabajo permite extraer conclusiones interesantes sobre los regímenes de vientos en Magallanes. En ambas estaciones, a pesar de abarcar periodos distintos, es posible definir un ciclo anual con máximos entre noviembre y enero, y mínimos en mayo.

Por otro lado, el análisis de las isopletas de viento en Punta Arenas, confirma lo descrito en el estudio previo en lo referente a la tendencia de los ciclos diarios. En general, las velocidades medias tienden a ser máximas a mediodía y mínimas durante las horas de la noche y de la madrugada. En estas últimas los valores no sobrepasan los 4 m/s, ni bajan de 3.2 m/s. Las velocidades medias más altas del año llegan a valores entre 7 y 8 m/s y se producen alrededor de mediodía en primavera y verano. En invierno durante estas mismas horas, las velocidades fluctúan entre 4 y 5 m/s. Estas condiciones son altamente favorables para el aprovechamiento de la energía eólica.

Por su parte, la estación Kampenaike muestra condiciones aún mejores. En ella se observa una velocidad media anual de 7.6 m/s que supera ampliamente el valor de 4.6 m/s en Punta Arenas. Por otra parte, se observan en un 44% del tiempo velocidades superiores a 8 m/s, en comparación con el valor homólogo de 15% en Punta Arenas. Se debe tener presente eso sí, que los registros en Kampenaike se hicieron a 10 m, mientras que el sensor de velocidad del viento en el Instituto de la Patagonia se encuentra a 7 m. De acuerdo a este estudio, la diferencia entre estos comportamientos se debe a que Punta Arenas se encuentra en parte protegida de los vientos predominantes en la zona (oeste, noroeste y suroeste), situación que no ocurre para Kampenaike. Se llega a la conclusión de que los vientos predominantes aumentan en intensidad hacia el Este en forma proporcional a la distancia de la región cordillerana.

### **3.7 Descripción de tablas resúmenes con los resultados de estudios previos.**

La información numérica recopilada desde estudios previos en cuanto a estaciones consideradas, valores de velocidad media, parámetros de la distribución de Weibull y densidad de potencia eólica se resume en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

La Tabla 3.2 contiene las características de las estaciones cuyos datos fueron analizados en estudios previos. Se incluye el nombre de la estación, su ubicación aproximada y elevación sobre el nivel del mar (en metros). Se agrega también la altura del sensor sobre el suelo (en metros) y una referencia al (o los) estudio (s) que utilizaron sus datos. En las estaciones identificadas con • se considera que los datos y metodologías de cálculo utilizadas son adecuados para la prospección de energía eólica.

La Tabla 3.3 contiene estimaciones de valores medios de velocidad del viento ( $v$ ), factores de escala ( $\alpha$ ) y forma ( $\beta$ ) de la distribución de Weibull y densidades de potencia eólica media ( $P$ ). Notar que hay una gran variabilidad en la cantidad de datos analizados en cada caso y que ésta no es siempre suficiente para representar las condiciones medias del lugar, particularmente en los sitios donde el ciclo anual del viento es significativo y el estudio correspondiente considera sólo algunos meses de datos. Los resultados de estudios previos considerados más confiables, a nivel mensual, estacional o para el periodo global de información se presentan en la Tabla 3.4.

### **3.8 Comentarios generales sobre los resultados de estudios previos.**

La mayoría de los estudios analizados han basado las estimaciones de densidades de potencia eólica en observaciones directas y no en la lectura de bandas de registro continuo. En el análisis que se presenta en la sección 6 se concluye que la calidad de tales datos no es adecuada para una caracterización precisa del recurso eólico.

En la revisión de los estudios previos pudo advertirse una gran variabilidad de resultados, utilizando datos de una misma estación. El caso de Potrerillos tipifica esta situación. Los estudios 3.1.1, 3.1.2 y 3.2.1 le han asociado potenciales de  $80 \text{ W/m}^2$ ,  $304 \text{ W/m}^2$  y  $137 \text{ W/m}^2$ , respectivamente. Considerando que los tres estudios abarcan periodos superiores a un año, se estima que la variabilidad interanual no debiera explicar una diferencia tan marcada, por lo cual la justificación de las divergencias debe encontrarse en la metodología y en el tipo de información empleada.

**Tabla 3.2 Estaciones con información de viento, consideradas en estudios previos**

Nombre de la estación	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Elevación (m.s.n.m.)	Altura del sensor (m)	N° de referencia del estudio
• Visviri	17° 35'	69° 30'	4.070	6***	3.2.1
• Parinacota	18° 12'	69° 16'	4.392	6	3.2.1
• Putre	18° 12'	69° 35'	3.530	6***	3.2.1
• Zapahuira	18° 18'	69° 35'	3.320	6***	3.2.1
• Chapiquiña	18° 23'	69° 33'	3.280	6***	3.2.1
Chacalluta	18° 29'	70° 19'	42	15	3.1.1, 3.1.2, 3.2.2
• Codpa	18° 50'	69° 45'	1.800	6***	3.2.1
• Enquelga*	19° 13'	68° 47'		6***	3.2.1
• Pisiga Choque*	19° 16'	68° 39'		6***	3.2.1
• Central Citani*	19° 16'	68° 39'		6***	3.2.1
• Villablanca*	19° 25'	68° 36'		6***	3.2.1
• Chusmiza*	19° 42'	69° 12'		6***	3.2.1
• Cancosa	19° 55'	68° 38'	3.800	6***	3.2.1
Cavancha	20° 13'	70° 10'	9		3.1.1
Pica	20° 30'	69° 21'	1.280		3.1.2
Iquique	20° 93'	70° 03'	152		3.1.2
• Chuquicamata*	22° 19'	68° 54'	2700**	10	3.2.4
Calama 1	22° 26'	68° 53'	2.275		3.1.2
• Calama*	22° 27'	68° 55'	2300**	10	3.2.4
Calama 2	22° 30'	68° 54'			3.1.1
• Cerro Moreno	23° 28'	70° 26'	135	25	3.1.1, 3.1.2, 3.2.2, 3.2.3
Chañaral	26° 30'	70° 37'	9		3.1.1, 3.1.2
Mataverí	27° 10'	109° 26'	41		3.1.1, 3.1.2
Copiapo	27° 21'	70° 20'	370		3.1.2, 3.2.2
Potrerrillos	28° 20'	69° 30'	2.901		3.1.1, 3.1.2, 3.2.2
Vallenar	28° 35'	70° 46'	533		3.1.2
La Florida	29° 54'	71° 15'	152	14	3.1.1, 3.1.2
Punta Tortuga	29° 57'	71° 22'	25		3.1.2
Coquimbo	30° 00'	71° 15'			3.1.1
• La Hormiga	32° 42'	70° 42'			3.3.1, 3.5.4
• Quintero	32° 47'	71° 32'	3		3.1.2, 3.3.1
El Cristo	32° 50'	70° 05'	3.829		3.1.1
Punta Ángeles	33° 01'	71° 39'	41		3.1.1, 3.1.2
• Punta Curaumilla	33° 05'	71° 45'			3.3.1
• Lo Orozco	33° 15'	71° 26'			3.3.1

## Observaciones:

- Los resultados del estudio se consideran confiables

- \* La localización indicada es aproximada.

- \*\* La elevación indicada es aproximada

- \*\*\* La altura del sensor es aproximada

Tabla 3.2 Estaciones con información de viento, consideradas en estudios previos (continuación)

Nombre de la estación	Latitud (°S)	Longitud (°O)	Elevación (m.s.n.m.)	Altura del sensor (m)	N° de referencia del estudio
• Casablanca	33° 19'	71° 25'			3.3.1
Quinta Normal	33° 27'	70° 42'	520	20	3.1.1
• Santiago	33° 27'	70° 40'	532		3.3.3
El Bosque	33° 34'	70° 41'	70		3.1.2
Isla Juan Fernández	33° 37'	78° 50'			3.1.1
Rancagua	34° 10'	70° 45'	441		3.1.2
Curico	34° 58'	71° 13'			3.1.2
Constitución	35° 20'	72° 25'	9		3.1.2
Linares	35° 52'	71° 33'	157		3.1.2
Chillán	36° 36'	72° 02'	129		3.1.2
Punta Tumbes	36° 37'	73° 06'			3.1.1
Concepción	36° 46'	73° 03'	12	25	3.1.1
• Bellavista	36° 47'	73° 02'	15	10	3.4.1, 3.4.2, 3.4.3
Los Ángeles	37° 26'	72° 22'	129		3.1.2
Puerto Saavedra	38° 46'	73° 24'	114		3.1.2
Temuco	38° 46'	72° 39'	114	16	3.1.1
Valdivia	39° 37'	73° 04'	50		3.1.2
• Aer. Las Marías	39° 47'	73° 16'		10	3.5.1
• Isla Teja	39° 48'	73° 15'			3.5.1
• Inst. Prof. Valdivia	39° 48'	73° 15'		10	3.5.1
Osorno	40° 35'	73° 09'	23		3.1.2
Puerto Montt	41° 26'	73° 07'	81	20	3.1.1, 3.1.2
Canutillar*	41° 30'	72° 21'	10		3.5.4
• Parga	41° 48'	73° 30'		10	3.5.2, 3.5.3, 3.5.4
Pupelde	41° 54'	73° 48'	11		3.1.1, 3.1.2
Isla Guafo	43° 34'	74° 45'	140		3.1.1
• Las Huichas	45° 09'	73° 32'	15	10	3.6.1
Puerto Aysén	45° 24'	72° 42'	10		3.1.2
Balmaceda	45° 54'	71° 43'	520	20	3.1.1
Chile Chico	46° 36'	71° 43'	362		3.1.1, 3.1.2
San Pedro	47° 43'	74° 55'	22		3.1.1
Puerto Edén	49° 08'	74° 25'	11		3.1.2
Isla Evangelista	52° 23'	75° 05'	55	8	3.1.2, 3.6.3
Punta Dungeness	52° 23'	68° 25'	4	8	3.1.1, 3.6.3
Kampenaiké	52° 38'	70° 29'		10	3.6.4
General Ibáñez	53° 00'	70° 58'	37	16	3.1.1, 3.1.2
• Jorge Schythe	53° 07'	70° 54'		7	3.6.2, 3.6.3, 3.6.4
Isla Dawson	53° 50'	70° 24'		8	3.6.3
Puerto Williams	54° 56'	67° 56'	36	8	3.6.3
Isla Nueva	55° 10'	66° 36'	45	8	3.6.3
Diego Ramírez	56° 30'	68° 40'	40	8	3.1.1, 3.6.3
Base Eduardo Frei	61° 12'	58° 55'	9	10	3.1.1

## Observaciones:

- Los resultados del estudio se consideran confiables

- \* La localización indicada es aproximada.

- \*\* La elevación indicada es aproximada

- \*\*\* La altura del sensor es aproximada

Tabla 3.3 Resumen de resultados derivados de los estudios evaluados en el Proyecto. Estaciones con un • indican que los resultados se consideran confiables.

Estación	V [m/s]	$\alpha$ [m/s]	$\beta$	P [W/m <sup>2</sup> ]	Periodo	N° de referencia del estudio
						3.2.1
• Visviri	1,90			7	8/81-2/82	3.2.1
• Parinacota	2,90			34	1980	3.2.1
• Putre	3,70			30	4 - 10/1981	3.2.1
• Zapahuira	2,60			21	4/81-2/82	3.2.1
• Chapiquiña	< 1,50			< 5	8/81-3/82	3.2.1
Chacalluta	3,40	3,697	1,320	79	1966-75	3.1.1
Chacalluta	3,72	2,600	0,600		1967-70	3.1.2
Chacalluta	5,01	5,600	3,180	106	13 años	3.2.2
• Codpa	< 1,50			< 5	4 - 12/1981	3.2.1
• Enquelga	2,90			19	12/81-7/82	3.2.1
• Pisiga Choque	2,60			17	12/81-7/82	3.2.1
• Central Citani	2,80			20	12/81-7/82	3.2.1
• Villablanca	1,80			4	12/81-5/82	3.2.1
• Chusmiza	1,70			3	12/81-6/82	3.2.1
• Cancosa	2,40			11	12/81-5/82	3.2.1
Cavancha	3,80	4,183	1,420	100		3.1.1
Pica	3,57	2,700	0,650		1967-70	3.1.2
Iquique	3,02	2,100	0,500		1967-70	3.1.2
• Chuquicamata	4,90	4,224	1,656	58	1988-91	3.2.4
Calama 1	4,73	3,700	0,680		1967-70	3.1.2
• Calama	4,45	5,412	2,269	85	1988-91	3.2.4
Calama 2	5,30	5,989	2,160	159		3.1.1
Cerro Moreno	4,20	4,654	1,490	91	1966-75	3.1.1
Cerro Moreno	4,65	4,600	0,820		1967-70	3.1.2
Cerro Moreno	4,36	4,780	4,550	67	13 años	3.2.2
• Cerro Moreno	4,94			85	1970-73	3.2.3
Chañaral	4,00	4,511	1,880	80		3.1.1
Chañaral	3,66	2,100	0,460		1967-70	3.1.2
Mataverí	4,10	4,623	1,890	85		3.1.1
Mataverí	3,91	4,050	1,020	220	1967-70	3.1.2
Copiapo	5,93	3,375	0,550		1967-70	3.1.2
Copiapo	4,80	5,180	4,660	83	11 años	3.2.2
Potrerosillos	4,00	4,511	1,880	80		3.1.1
Potrerosillos	7,75	8,300	6,100	304	1967-70	3.1.2
Potrerosillos	5,60	6,115	3,720	137	12 años	3.2.2
Vallenar	2,72	3,005	1,520	32	1967-70	3.1.2
La Florida	2,10	2,145	1,050	30	1966-75	3.1.1
La Florida	3,65	4,300	2,150	59	1967-70	3.1.2
Punta Tortuga	2,04	2,200	1,300	17	1967-70	3.1.2
Coquimbo	1,80	1,771	0,960	26	1959-63	3.1.1
• La Hormiga	3,72	4,138	1,460	96	1981	3.3.1
Quintero	5,44	2,950	0,470		1967-70	3.1.2
• Quintero	3,20	3,505	1,626	48	803 datos	3.3.1
El Cristo	7,20	8,117	2,520	366		3.1.1
Punta Ángeles	2,00	2,172	1,310	31	1960-63	3.1.1
Punta Ángeles	5,06	3,800	0,660		1967-70	3.1.2
• Punta Curaumilla	9,00	10,153	1,886	828	1983	3.3.1

Tabla 3.3 Resumen de resultados derivados de los estudios evaluados en el Proyecto. Resultados de estaciones marcadas con un \* se consideran de alta confiabilidad.

Estación	V [m/s]	$\alpha$ [m/s]	$\beta$	P [W/m <sup>2</sup> ]	Periodo	N° de referencia del estudio
• Lo Orozco	2,70	3,080	1,792	29	2396 datos	3.3.1
• Casablanca	2,70	2,990	1,477	36	2536 datos	3.3.1
Quinta Normal	1,20	1,053	0,790	13	1966 - 75	3.1.1
• Santiago	2,02	2,272	1,611	12	10/82 - 8/83	3.3.3
El Bosque	3,17	3,050	0,900		1967-70	3.1.2
Isla Juan Fernández	6,00	6,777	2,300	220		3.1.1
Rancagua	2,79	2,900	0,800		1967-70	3.1.2
Curicó	3,21	3,200	0,970		1967-70	3.1.2
Constitución	3,54	1,950	0,450		1967-70	3.1.2
Linares	2,47	1,950	0,670		1967-70	3.1.2
Chillán	2,87	2,800	0,980		1967-70	3.1.2
Punta Tumbes	6,80	7,672	2,450	314		3.1.1
Concepción	5,20	5,876	2,130	158	1967-70	3.1.1
• Bellavista	2,70	2,659	0,939	80	1981	3.4.1
Bellavista	3,80	4,005	1,212	157	1972-81	3.4.1
• Bellavista	2,89	3,150	1,430	41	1975-77	3.4.3
Los Ángeles	4,83	4,150	0,780		1967-70	3.1.2
Puerto Saavedra	1,79	1,850	1,100	16	1967-70	3.1.2
Temuco	2,80	2,999	1,230	52	1966-75	3.1.1
Valdivia	3,60	2,450	0,550		1967-70	3.1.2
• Aeródromo Las Marías	2,98	3,353	1,608	43	1988	3.5.1
• Aeródromo Las Marías	2,99	3,360	1,644	42	1989	3.5.1
• Isla Teja	2,80	2,963	1,248	55	1962	3.5.1
• Isla Teja	2,86	3,036	1,225	57	1963	3.5.1
• Inst. Prof. Valdivia	2,22	2,518	1,840	15	3389 datos	3.5.1
Osorno	4,01	2,100	0,450			3.1.2
Puerto Montt	3,50	3,822	1,350	84	1966-75	3.1.1
Puerto Montt	3,34	3,250	0,900		1967-70	3.1.2
Canutillar				20	1979	3.5.4
• Parga	4,00	5,160	1,970	120	1979	3.5.2, 3.5.3, 3.5.4
Pupelde	7,70	8,673	2,610	433		3.1.1
Pupelde	4,07	3,300	0,680		1967-70	3.1.2
Isla Guafo	7,20	8,117	2,520	366		3.1.1
• Las Huichas	4,33	*	*	196	Climatología	3.6.1
Puerto Aysén	4,50	5,100	2,200	97	1967-70	3.1.2
Balmaceda	8,00	9,010	2,620	485	1966-75	3.1.1
Chile Chico	9,50	10,661	2,890	740		3.1.1
Chile Chico	6,60	7,500	1,750	394	1967-70	3.1.2
San Pedro	9,00	10,109	2,820	655		3.1.1
Puerto Edén	5,30	5,700	1,600	198	1967-70	3.1.2
Faro Evangelistas	11,10			962		3.6.3

En el caso de la estación Las Huichas se ajustó una función de densidad de probabilidad compuesta  $f(v)$  del tipo:

$$f(v) = 0.363 f_1(v) + 0.637 f_2(v) \quad \text{donde } f_1(v) \text{ es de Weibull con } \alpha = 6.146 \text{ y } \beta = 1.385 \\ \text{y } f_2(v) \text{ es Log-Normal con } \mu = 0.996 \text{ y } \sigma = 0.769$$

Tabla 3.3 Resumen de resultados derivados de los estudios evaluados en el Proyecto. Resultados de estaciones marcadas con un • se consideran de alta confiabilidad.

Estación	V [m/s]	$\alpha$ [m/s]	$\beta$	P [W/m <sup>2</sup> ]	Periodo	N° de referencia del estudio
Faro Evangelistas	9,95	11,100	2,300	958	1967-70	3.1.2
Punta Dungeness	8,60			467		3.6.3
Punta Dungeness	8,50	9,558	2,740	570		3.1.1
Kampenaikē	7,60				1984-87	3.6.4
General Ibáñez	7,20	8,117	2,520	401	1966-75	3.1.1
General Ibáñez	7,85	8,850	1,850	602	1967-70	3.1.2
• Jorge Schythe	4,60	5,648	1,785	164	1977	3.6.2
• Jorge Schythe	4,90	5,613	4,921	92	1978	3.6.3
• Jorge Schythe	4,60				1977-87	3.6.4
Isla Dawson	3,00			89		3.6.3
Puerto Williams	3,00			50		3.6.3
Isla Nueva	5,40			191		3.6.3
Diego Ramírez	10,70			820		3.6.3
Diego Ramírez	12,50	13,937	3,320	1560		3.1.1
Base Eduardo Frei	6,70	7,562	2,410	295	1969-78	3.1.1

Tabla 3.4 Resumen de resultados derivados de estudios seleccionados: V: velocidad media (m/s); P: densidad de potencia eólica media ( $W m^{-2}$ )

Estación	Par.	Verano			Otoño			Invierno			Primavera			ANUAL	Res.	Periodo
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
Visviri	V	1,6	1,7						1,8	1,8	2,1	2,4	2,0		3.2.1	8/81-2/82
	P	3	4						5	6	10	14	6	7		
Parinacota	V		2,9		3,0		2,6		3,2		3,0		3,1		3.2.1	1980
	P		32		31		25		49		32		39	34		
Putre	V				3,3	3,7	3,8	4,1	3,6	3,6	3,6				3.2.1	4/81-10/81
	P				26	26	35	43	34	34	29			30		
Zapahuira	V	2,5	2,2		2,1				3,0	2,9	3,0		2,4		3.2.1	4/81-2/82
	P	18	13		19				29	24	25		16	21		
Chapiquiña	V														3.2.1	8/81-3/82
	P													< 5		
Codpa	V														3.2.1	4/81-12/81
	P													< 5		
Enquelga	V	2,7	3,2	3,0	2,8	3,0	3,0	3,7					2,5		3.2.1	12/81-7/82
	P	15	23	18	13	20	19	30					14	19		
Pisiga Choque	V	2,6	2,8	2,4	2,1	2,6	2,9	2,4					2,8		3.2.1	12/81-7/82
	P	16	20	13	8	21	27	11					19	17		
Central Citani	V	2,7	2,5	2,7	2,7	3,0	3,5	2,7					3,2		3.2.1	12/87-7/82
	P	17	14	14	12	27	36	13					23	20		
Villablanca	V	1,7	1,9	1,9	1,7	1,7							1,8		3.2.1	12/81-5/82
	P	3	6	5	3	3							5	4		
Chusmiza	V	2,0	2,0	1,8	< 1,5	< 1,5	< 1,5						2,0		3.2.1	12/81-6/82
	P	6	5	4	< 5	< 5	< 5						6	3		
Cancosa	V	2,4	3,0	2,1	1,9	2,4							2,7		3.2.1	12/81-5/82
	P	12	18	9	5	10							13	11		
Chuquicamata	V													4,90	3.2.4	1988-91
	a													4,224		
	b													1,656		
	P													58		

Tabla 3.4 Resumen de resultados derivados de estudios seleccionados: V: velocidad media (m/s); P: densidad de potencia eólica media ( $W m^{-2}$ )

Estación	Par.	Verano			Otoño			Invierno			Primavera			ANUAL	Res.	Periodo
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
Calama	V													4,45	3.2.4	1988-91
	$\alpha$													5,412		
	$\beta$													2,269		
	P													85		
Cerro Moreno	V		5,38			4,35			4,55			5,50		4,94	3.2.3	1970-73
	P		90			67			81			103		85		
La Hormiga	V	4,62		4,80	3,21	2,81	3,19	2,94	2,59	3,20	3,82	4,41	4,63	3,72	3.3.1	1981
	$\alpha$	5,110		5,297	3,542	3,079	3,528	3,239	2,869	3,583	4,229	4,901	5,137	4,138		
	$\beta$	1,498		1,452	1,459	1,405	1,467	1,440	1,486	1,711	1,493	1,548	1,532	1,460		
	P	172		203	60	43	59	47	31	48	98	144	168	96		
La Hormiga	V		4,55			3,04			2,90			4,27			3.3.1	1981
	$\alpha$		5,036			3,348			3,214			4,731				
	$\beta$		1,486			1,435			1,527			1,510				
	P		167			53			41			135				
Quintero	V													3,20	3.3.1	803 datos
	$\alpha$													3,505		
	$\beta$													1,626		
	P													48		
Pta. Curaumilla	V													9,00	3.3.1	1983
	$\alpha$					9,734			11,335			12,442		10,153		
	$\beta$					2,553			2,364			2,495		1,886		
	P					645			1005			1231		828		
Lo Orozco	V													2,70	3.3.1	2396 datos
	$\alpha$													3,080		
	$\beta$													1,792		
	P													29		
Casablanca	V													2,70	3.3.1	2536 datos
	$\alpha$													2,990		
	$\beta$													1,477		
	P													36		

Tabla 3.4 Resumen de resultados derivados de estudios seleccionados: V: velocidad media (m/s); P: densidad de potencia eólica media ( $W m^{-2}$ )

Estación	Par.	Verano			Otoño			Invierno			Primavera			ANUAL	Res.	Periodo
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
Santiago	V	2,63	2,37	2,14	1,67	1,49	1,56	1,65	1,55		2,12	2,41	2,66	2,02	3.3.3	10/82-8/83
	$\alpha$													2,272		
	$\beta$													1,611		
	P													12		
Bellavista	V													2,70	3.4.1	1981
	$\alpha$													2,659		
	$\beta$													0,939		
	P													80		
Bellavista	V													2,89	3.4.3	1975-77
	$\alpha$													3,150		
	$\beta$													1,430		
	P													41		
Ae. Las Marías	V													2,98	3.5.1	1988
	$\alpha$													3,350		
	$\beta$													1,610		
	P													43		
Ae. Las Marías	V	2,85	3,02	2,66	2,63	2,46	2,91	3,56	3,06	2,91	3,34	2,64	3,68	2,99	3.5.1	1989
	$\alpha$	3,227	3,415	2,998	2,970	2,780	3,177	3,960		3,275	3,759	2,988	4,141	3,360		
	$\beta$	1,952	1,790	1,689	1,680	1,800	1,282	1,482		1,672	1,695	1,968	1,654	1,640		
	P	26	40	29	28	21	58	82		38	56	23	78	42		
Isla Teja	V													2,8	3.5.1	1962
	$\alpha$													2,963		
	$\beta$													1,248		
	P													55		
Isla Teja	V													2,86	3.5.1	1963
	$\alpha$													3,040		
	$\beta$													1,220		
	P													57		

Tabla 3.4 Resumen de resultados derivados de estudios seleccionados: V: velocidad media (m/s); P: densidad de potencia eólica media ( $W m^{-2}$ )

Estación	Par.	Verano			Otoño			Invierno			Primavera			ANUAL	Res.	Periodo
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
I. P. Valdivia	V													2,22	3.5.1	3389 datos
	$\alpha$													2,5177		
	$\beta$													1,840		
	P													15		
Pargua	V													4,00	3.5.2	1979
	$\alpha$													5,160	3.5.3	
	$\beta$													1,970	3.5.4	
	P		80			111			168			129		120		
Las Huichas	V	4,29	4,17	4,17	4,35	4,54	4,47	4,45	4,44	4,35	4,18	4,22	4,27	4,33	3.6.1	Climático
	A*	0,345	0,287	0,284	0,377	0,472	0,436	0,424	0,418	0,374	0,290	0,309	0,336	0,363		
	B*	0,655	0,713	0,716	0,623	0,528	0,564	0,578	0,582	0,626	0,710	0,691	0,664	0,637		
	P	192	180	180	199	218	271	208	207	198	181	185	190	196		
Jorge Schythe	V	4,5	3,9	5,6	5,2	4,2	4,0	3,7	4,8	5,4	4,8	4,9	5,0	4,6	3.6.2	1977
	$\alpha$													5,650		
	$\beta$															
	P													164		
Jorge Schythe	V	5,5	4,1	3,6	5,3	3,3	6,0	4,6	5,0	4,0	5,6	4,8	6,5	4,9	3.6.3	1978
	$\alpha$													5,613		
	$\beta$													4,921		
	P													92		
Jorge Schythe	V	5,20	5,10	4,70	4,50	3,30	3,70	4,00	4,60	4,90	5,20	5,60	5,20	4,60	3.6.4	1977-87

\* A y B son los factores de ponderación de la distribución compuesta  $f(v) = A f_1(v) + B f_2(v)$  aplicada en la estación de Las Huichas

donde  $f_1(v)$  es la fdp de Weibull con  $\alpha = 6.146$  y  $\beta = 1.385$

$f_2(v)$  es la fdp Log-Normal con  $\mu = 0.996$  y  $\sigma = 0.769$