

4. PROCESO DE RECOPIACION DE DATOS

Se describe en esta sección el proceso de recopilación de la información utilizada en la evaluación del potencial de energía eólica. Se presentan en primer lugar las fuentes de información consideradas. Se analizan a continuación las técnicas de medición del viento y los criterios generales utilizados para la selección de los datos que debían incorporarse en el análisis. Finalmente se describen en detalle los datos recopilados en cada una de las fuentes de información.

4.1 Fuentes de información.

En el proceso de recopilación de información se revisaron inicialmente los antecedentes disponibles en las instituciones que mantienen o han mantenido en operación redes de estaciones meteorológicas. Específicamente se examinó la disponibilidad de datos en la Dirección Meteorológica de Chile, el Servicio Meteorológico de la Armada, la Dirección General de Aguas, la Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA), y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Se consultó también en otras instituciones que operan en forma rutinaria estaciones meteorológicas que miden viento. La colaboración a nivel personal fue también de gran valor en la fase de recopilación de datos. Las fuentes de información y el número de estaciones aportadas por cada una son las que se señalan a continuación.

Institución	estaciones
• Dirección Meteorológica de Chile, DMC.	17
• Empresa Nacional de Electricidad, ENDESA.	9
• CODELCO - División Chuquicamata	7
• Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.	5
• European Southern Observatory, ESO.	2
• Empresa Nacional de Petróleos, ENAP.	1
• Compañía de Carbones de Chile, COCAR.	1
Aportes personales	
• C. Naveas / R. Tiemann, U. de Playa Ancha - Valparaíso.	5
• R. Espejo, Dpto. de Física. U. del Norte - Antofagasta.	1
• R. Román, Dpto. de Ingeniería Mecánica. FCFM, U. de Chile.	1
• M. Grosjean / H. Romero, U. de Berna / U. de Chile	1

Adicionalmente, se obtuvieron estadísticas mensuales que permitieron caracterizar el ciclo diario y anual de la velocidad del viento en puntos específicos. El listado a continuación individualiza este tipo de fuentes.

Estadística de velocidades medias obtenida desde otras fuentes.	Estaciones
• ELNOR. Depto. de Tarifas y Contratos. Antofagasta	3
• Proyecto Geoecología de Atacama. U. de Erlangen-Nürnberg. Alemania	5
• Zuleta y Vergara (1992)	3
• Guzmán (1984).	1
• Estudio realizado por el Dpto. de Geofísica, U. de Chile, para EDELAYSEN.	1
• Instituto de la Patagonia, Punta Arenas.	1

Además de las fuentes de información mencionadas se recopilieron datos de los Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile, y de la base de datos COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set).

4.2 Técnicas de medición y selección de los datos

La información de viento disponible proviene de registros continuos en bandas de papel o medios magnéticos, o desde anotaciones realizadas por observadores en base a una apreciación visual, ya sea del sensor mismo o de un panel de registro.

4.2.1 Anotaciones realizadas por observadores.

Existe un número considerable de estaciones meteorológicas para las cuales se dispone de anotaciones rutinarias de las condiciones del viento (velocidad y dirección) en un horario prefijado. El número de observaciones por día varía entre 24 (observaciones horarias), en las estaciones meteorológicas más importantes, y un mínimo de tres, realizadas a las 08, 14, y 20 horas, en las estaciones de menor rango. En general estas observaciones están basadas en una apreciación visual de un dial o de un registro continuo del viento, realizada por un observador durante un lapso de algunos minutos. El volumen mayor de información de este tipo se encuentra en la DMC donde ha sido parcialmente ingresada a un banco de datos en medio magnético. Otras instituciones que también guardan información de este tipo

son el Servicio Meteorológico de la Armada (SMA), la Dirección General de Aguas (DGA) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Desde el punto de vista de la prospección del recurso eólico se considera que las anotaciones de velocidad y dirección del viento basado en apreciaciones visuales de un observador presentan limitaciones importantes. En primer lugar ellas caracterizan un periodo de tiempo muy breve y por lo tanto no representan en forma adecuada el flujo atmosférico en el intervalo entre las observaciones. Esta situación es particularmente limitante en los casos cuando se realizan sólo tres o cuatro observaciones diarias. En el caso particular de la DMC, debido a que las observaciones meteorológicas tienen un objetivo principalmente de carácter aeronáutico, su precisión es relativamente baja para los fines específicos de evaluación del potencial de energía eólica. Como un ejemplo de esta situación se incluye en la Fig. 4.1 un histograma de velocidades, calculado a partir de 24112 observaciones horarias de viento en la estación Balmaceda durante los años 1983, 1984 y 1985. Se advierte claramente una frecuencia anormalmente alta de los valores 10, 15, 20 y 25 nudos, y en general de los valores pares.

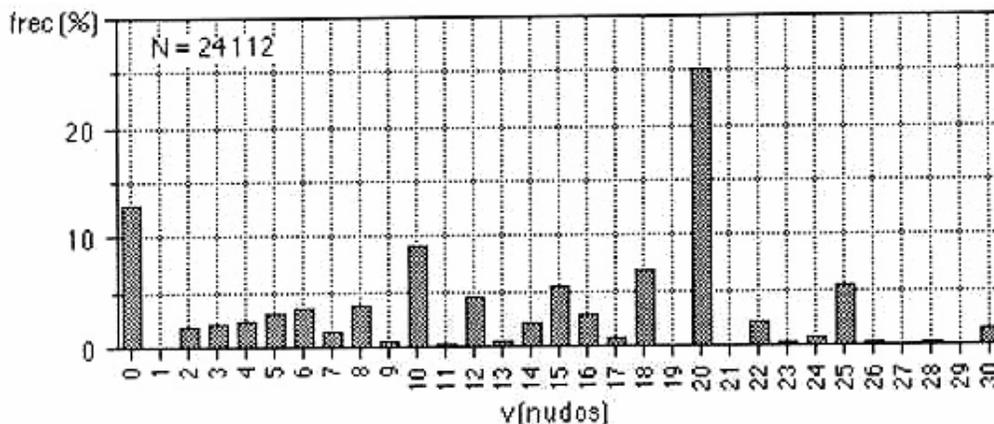


Fig. 4.1 Frecuencia de observación de la velocidad del viento en nudos en Balmaceda (45° 54' S, 71° 43' O) considerando un total de 24.112 observaciones horarias.

4.2.2 Registro continuo en bandas de papel o en medio magnético.

Entre los sistemas que ofrecen una mayor confiabilidad están los que permiten un registro directo en un medio magnético y cuya rutina de medición es programable. Es posible así archivar valores promedios durante periodos pre-determinados, valores extremos, y otras estadísticas. Este tipo de instrumento es aún poco frecuente en las redes meteorológicas convencionales en Chile.

Más comunes son los anemógrafos mecánicos que registran sobre una banda de papel la dirección del viento y el valor instantáneo de la velocidad o el número acumulado de vueltas del sensor de velocidad, que se asocia a la distancia recorrida por el viento en un intervalo de tiempo dado. En ambos casos la lectura de las bandas es un proceso lento. En el caso del registro de velocidad instantánea, existe además un cierto grado de subjetividad en la lectura, puesto que el cálculo de promedio sobre un periodo determinado se realiza en forma visual. En relación a la dirección del viento, ésta se codifica en grados (0 a 360°) o mediante las 16 direcciones más características de la rosa de vientos.

4.2.3 Control de calidad y normalización de la información

Gran parte de la información analizada en este proyecto proviene de mediciones realizadas con equipos registradores, donde se advierte una gran variedad de instrumentos y formatos de registro. Con el fin de minimizar los errores de origen instrumental u observacional se realizó una revisión preliminar de las bandas de registro, cuando fue posible hacerlo. Se consideraron los siguientes puntos:

- Verificación del ajuste de la escala de velocidad en la banda de registro (los periodos de calma deben corresponder a una velocidad nula). En caso de error se realizó el ajuste correspondiente.
- Verificación del ajuste de la escala de dirección.
- Revisión de las anotaciones de control de tiempo.

- Análisis de la calidad del registro (legibilidad).
- Comprobación de problemas asociados a trabas en el mecanismo de avance del papel o interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

Los problemas más comunes se refieren a ausencia de información, ya sea por deficiencias en el sistema de registro o por detención del instrumento registrador; existencia de un registro invariable durante un periodo anormalmente prolongado (sensor trabado); ocurrencia de valores excesivamente altos en relación a los esperados para la región; ciclos diarios anómalos. Los datos sospechosos que no pudieron verificarse fueron eliminados del análisis.

Las unidades de medición se normalizaron en todas las estaciones a m/s, para la velocidad, y a las 16 direcciones características de la rosa de vientos. Otro elemento que dificulta la comparación inmediata de los potenciales de energía eólica determinados para cada estación es la falta de homogeneidad en la instalación de los sensores, particularmente en lo que se refiere a la altura a la cual se encuentran sobre el suelo. En algunos casos esta información se obtuvo sólo en términos aproximados.

4.2.4 Selección del tiempo de promediación en la lectura de los registros

La base de datos para el análisis del potencial eólico fue creada en base a valores medios horarios de velocidad y dirección del viento leídos desde las bandas de registro. El promedio horario fue considerado adecuado para los fines del estudio luego de comparar los resultados obtenidos en base a promedios de velocidad para periodos más cortos. En la Tabla 4.1 se incluyen los valores medios de velocidad y potencia eólica, calculados en dos estaciones durante el periodo 14 Abril - 14 de Mayo de 1992, considerando promedios de 15, 30, 60 y 120 minutos. Se advierte que en la medida que el promedio se calcula sobre intervalos de tiempo más largos, la densidad de potencia eólica promedio disminuye, estimándose que el error que se

comete cuando ésta se calcula a partir de promedios horarios es suficientemente pequeño y aceptable para los fines del estudio.

Tabla 4.1 Valores medios de velocidad (V) y densidad de potencia eólica (P) en el periodo 14 abril - 14 mayo de 1992 para distintos intervalos de promediación expresados en minutos.

Estación	parámetro	intervalo de promediación (min)			
		15	30	60	120
Los Vilos (31° 51' S, 71° 31' O)	V (m/s)	3.47	3.47	3.47	3.47
	P (W/m ²)	91	90	88	81
Punta de Toro (30° 44' S, 71° 42' O)	V (m/s)	4.71	4.71	4.70	4.70
	P (W/m ²)	146	144	142	138

4.3 Consideraciones respecto a los datos de la DGA, SMA e INIA

La Dirección General de Aguas (DGA) posee una extensa red de estaciones meteorológicas cuyo objetivo principal es el monitoreo de las condiciones ambientales que inciden sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en cada región del país. En las estaciones que incluyen observaciones de viento la velocidad se estima tres veces al día a partir del ángulo de inclinación con respecto a la vertical que por efecto del viento muestra una placa metálica colgante (veleta Wild). Se consideró que esta información es demasiado imprecisa para estimar potenciales de energía eólica y por lo tanto no fue incluida en el análisis.

El Servicio Meteorológico de la Armada (SMA) controla una serie de estaciones en el litoral cuyo objetivo principal es de apoyo a la navegación y la elaboración del pronóstico del tiempo a lo largo de la costa y en el área oceánica adyacente. Al igual que en el caso descrito para la DMC las observaciones de viento realizadas en horarios prefijados no resultan apropiadas para una estimación confiable del potencial eólico y por lo tanto no fueron consideradas para el análisis. No fue posible obtener información proveniente de anemógramas.

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) mantiene en operación un total de 9 estaciones meteorológicas instaladas en diferentes regiones del país, las que cumplen un objetivo de apoyo a actividades agrícolas. Las estaciones, con excepción de una (Hidango) no cuentan con anemógrafos y sólo se realizan observaciones de viento tres veces al día. No se consideraron las observaciones por las razones ya expuestas anteriormente. Los registros anemográficos de la estación Hidango se archivan en la DMC y su procesamiento se realizó junto al resto de las estaciones de esa institución.

4.4 Descripción de las series de datos recopilados

Se describen las características específicas de los datos recopilados desde cada una de las fuentes de información.

4.4.1 Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

- Consideraciones generales.

La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) mantiene en operación una red de estaciones meteorológicas a lo largo de todo el país. Siendo el objetivo principal de sus observaciones el apoyo a las actividades aeronáuticas y al pronóstico del tiempo, tanto la ubicación de las estaciones como la metodología observacional no son necesariamente las más adecuadas para fines de prospección de energía eólica. La carencia de otras mediciones con este propósito exclusivo hace conveniente su inclusión en el estudio.

En un número considerable de estaciones de la DMC se cuenta con información de viento en la forma de anotaciones de velocidad y dirección realizadas varias veces al día en un horario fijo. Por razones ya descritas en el punto 4.2.1 esta información no fue considerada en el análisis.

- Selección preliminar de estaciones anemográficas.

La DMC mantiene en operación una red de anemógrafos instalados en las estaciones meteorológicas principales, los cuales permiten un registro continuo de velocidad y dirección del viento. Aunque aún predominan los equipos de tipo mecánico con registro de tinta en una banda continua de papel, hay una tendencia hacia la utilización de unidades automáticas con memoria.

Por regla general las bandas de registro no se encontraban procesadas. El volumen de información de viento existente en esta forma excedía largamente la capacidad de este proyecto en cuanto a procesamiento de las mismas. Fue necesario entonces realizar una selección de estaciones y un proceso de muestreo de datos en aquellas elegidas.

Se excluyeron del análisis los registros de las estaciones para las cuales se contaban con antecedentes que indicaban la predominancia de vientos débiles (por ejemplo Santiago), o aquellas cuyos datos ya habían sido analizados en estudios previos (por ejemplo la estación Las Marías, cerca de Valdivia). Como resultado de este proceso se seleccionaron en forma preliminar las 20 estaciones que se indican a continuación: Arica, Iquique, Calama, Antofagasta, La Serena, Ovalle, Quintero, Graneros, Hidango, La Rosa, Curico, Quivolgo, Isla Mocha, Temuco, Puerto Montt, Coyhaique, Balmaceda, Punta Arenas, Base Eduardo Frei, e Isla de Pascua.

- Control de calidad de los registros anemográficos.

En el proceso de selección de las estaciones también se tuvo en cuenta la calidad de los registros disponibles. El problema más recurrente se refiere a la ausencia de anotaciones de tiempo en los momentos de instalación y extracción de la banda de registro, lo que produjo problemas e incertezas en las lecturas horarias. En algunos casos, este problema fue detectado sólo al momento de analizar los resultados, cuando aparecieron ciclos diarios anómalos en la velocidad y dirección del viento. La

falta de este tipo de anotaciones, sumada a interrupciones en el registro, hace imposible la determinación de una escala temporal precisa.

Como resultado de este proceso de control de calidad de la información disponible en bandas, se resolvió no procesar los registros de las estaciones Calama, Curicó y La Rosa, debido a diversos problemas en la disponibilidad de la información y calidad de los datos. La Tabla 4.2 incluye la ubicación, altura del sensor y periodo de mediciones considerado para las estaciones seleccionadas.

- Procedimiento de muestreo y lectura de las bandas de registro

En las 17 estaciones seleccionadas se extrajeron valores medios horarios de velocidad y dirección del viento de acuerdo a un procedimiento de muestreo que permite caracterizar el ciclo diario y anual del régimen de viento, capturando al mismo tiempo la variabilidad interanual del mismo. Para este efecto se evaluaron promedios horarios de velocidad y dirección del viento cada dos horas en los intervalos 0-1, 2-3, 4-5, ..., 22-23 horas. Se consideraron seis días por mes (días 1, 6, 11, 16, 21 y 26) y seis meses por año (enero, marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre). Este procedimiento se repitió para cinco años (seleccionando, dentro de lo posible, el periodo 1987-91) o para el periodo máximo disponible, si éste era inferior a cinco años. Para la estación de Quivolgo, en la cual sólo se cuenta con 7 meses de información, el muestreo se extendió a todos los meses, con 11 días por mes.

El procesamiento de las bandas anemográficas fue realizado por observadores meteorológicos de la DMC. En los casos de ausencia de información en alguno de los días especificados en el muestreo se leyeron los datos del día anterior o posterior. En los casos de carencia de información durante algunos de los meses especificados se seleccionaron meses fuera del periodo de muestreo (1987-91). La dirección del viento fue discretizada a las 16 direcciones características: N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW, NNW.

Tabla 4.2. Estaciones de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) para las cuales se analizó información de viento a nivel horario, desde bandas de registro.

Estación	latitud °S	longitud °W	altitud m.s.n.m.	elevación sensor (m)	periodo
Arica	18° 20'	70° 20'	58	10	1987-91
Iquique	20° 32'	70° 11'	52	8	1986-92
Antofagasta	23° 26'	70° 26'	135	5	1986-92
Isla de Pascua	27° 09'	109° 25'	51	16	1987-92
La Serena	29° 54'	71° 12'	142	10	1985-92
Ovalle	30° 34'	71° 11'	300		1965-69
Quintero	32° 47'	71° 31'	8	15	1986-91
Graneros	34° 04'	70° 44'	475	10	1987-91
Hidango	34° 06'	71° 47'	296	10	1989-91
Quivolgo	35° 17'	72° 23'	10	10	5-12/1991
Isla Mocha	38° 21'	73° 58'	18		1965-69
Temuco	38° 45'	72° 38'	114	13	1987-91
Puerto Montt	41° 25'	73° 05'	85	17	1987-91
Coyhaique	45° 35'	72° 07'	310		1986-90
Balmaceda	45° 55'	71° 41'	520	18	1987-91
Punta Arenas	53° 00'	70° 51'	37	11	1987-91
Base Eduardo Frei	62° 25'	58° 53'	10	10	1988-91

4.4.3 Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA).

La ENDESA proporcionó datos de viento en forma de bandas de anemógrafos de su red de estaciones meteorológicas. Estas se localizan principalmente en los sectores cordilleranos o en lugares cercanos a centrales hidroeléctricas. La Tabla 4.3 incluye el nombre y localización de las estaciones seleccionadas. La calidad de los registros es en general buena. Se leyeron valores medios horarios de velocidad del viento utilizando un procedimiento de muestreo similar al descrito para los datos de la DMC. Teniendo en cuenta que en general el periodo de información disponible es inferior a 5 años se realizó un muestreo de 11 días por mes. El resto del procedimiento es similar al descrito para la DMC, seleccionando 12 valores por día y seis meses por

año. En cuanto a la dirección del viento se realizó un proceso de muestreo similar al de la velocidad sólo para los meses extremos en el ciclo anual: enero y julio. En la estación San Vicente, con información para un periodo inferior a 2 años, se aplicó un muestreo de 15 días por mes, sobre todos los meses del periodo.

Tabla 4.3 Estaciones pertenecientes a la ENDESA.

estación	latitud °S	longitud °W	altitud m.s.n.m.	elevación sensor (m)	periodo
Parinacota	18° 12' 00'	69° 16' 00"	4392	6	1970-73
El Juncal	32° 51' 25'	70° 10' 00"	2217	6	1987-89
Quelentaro	34° 02' 30'	71° 35' 00"	260	6	1975-79
Desague					
Laguna Invernada	35° 43' 30'	70° 46' 30"	1280	6	1975-80
San Vicente	36° 45' 00'	73° 07' 30"	15	6	1974-75
Desague Lago Laja	37° 22' 30'	71° 22' 30"	1375	6	1970-75
Huilo-Huilo	39° 49' 30'	72° 00' 30"	320	6	1986-90
Puelo en Carrera					
Basilio	41° 38' 30'	72° 16' 00"	20	6	1986-90
El Balseo	47° 15' 00'	72° 38' 00"	150	6	1986-90

4.4.3 CODELCO - División Chuquicamata

La División Chuquicamata de CODELCO puso a disposición del proyecto los datos de viento de siete estaciones meteorológicas instaladas en el área vecina de Calama y Chuquicamata. Las estaciones están ubicadas en la cuenca del río Loa, en la zona preandina desértica de la Región de Antofagasta. Las estaciones son: El Abra, San Pedro, Lasana, Botadero 71, Botadero 67, Casa de Bombas y Calama.

La Fig. 4.2 muestra un plano de distribución geográfica de las estaciones. La estación de El Abra se encuentra en una zona de prospección minera al norte de Chuquicamata, en una meseta ubicada sobre el cordón de cerros que separa el valle

del río Loa de una pampa desértica que desciende hacia el poniente. La estación San Pedro se ubica en la vertiente oriente del valle del Loa, frente a El Abra, sobre la quebrada del río San Pedro (afluente del Loa), que corre al sur de los volcanes San Pedro y San Pablo. La estación Lasana está ubicada en el campamento cercano a la localidad del mismo nombre, sobre la meseta desértica que forma el borde oriente del valle del río Loa en esa zona. Las estaciones Botadero 71 y Botadero 67 están ubicadas en el área de explotación de Chuquicamata, hacia el nororiente y oriente del campamento, respectivamente. La estación Casa de Bombas se ubica en la pampa, al suroriente de Chuquicamata, en el camino hacia el salar de Talabre. La estación Calama está ubicada en el sector norte de la ciudad, en terrenos donde funciona un policlínico.

La Tabla 4.4 indica la información analizada en este proyecto. El periodo total se extiende desde enero 1991 hasta julio 1992, con un número variable de meses con información según el lugar. La misma tabla indica también los instrumentos utilizados en las mediciones. La información utilizada corresponde a promedios horarios de velocidad y dirección de viento, recibida en forma de archivos en medio magnético. En la estación conectada al sistema de adquisición automática de datos, los promedios son calculados directamente por el sistema. En las estaciones aisladas, la información se obtiene por lectura de un registro en papel. Estas lecturas fueron realizadas por personal de la División Chuquicamata.

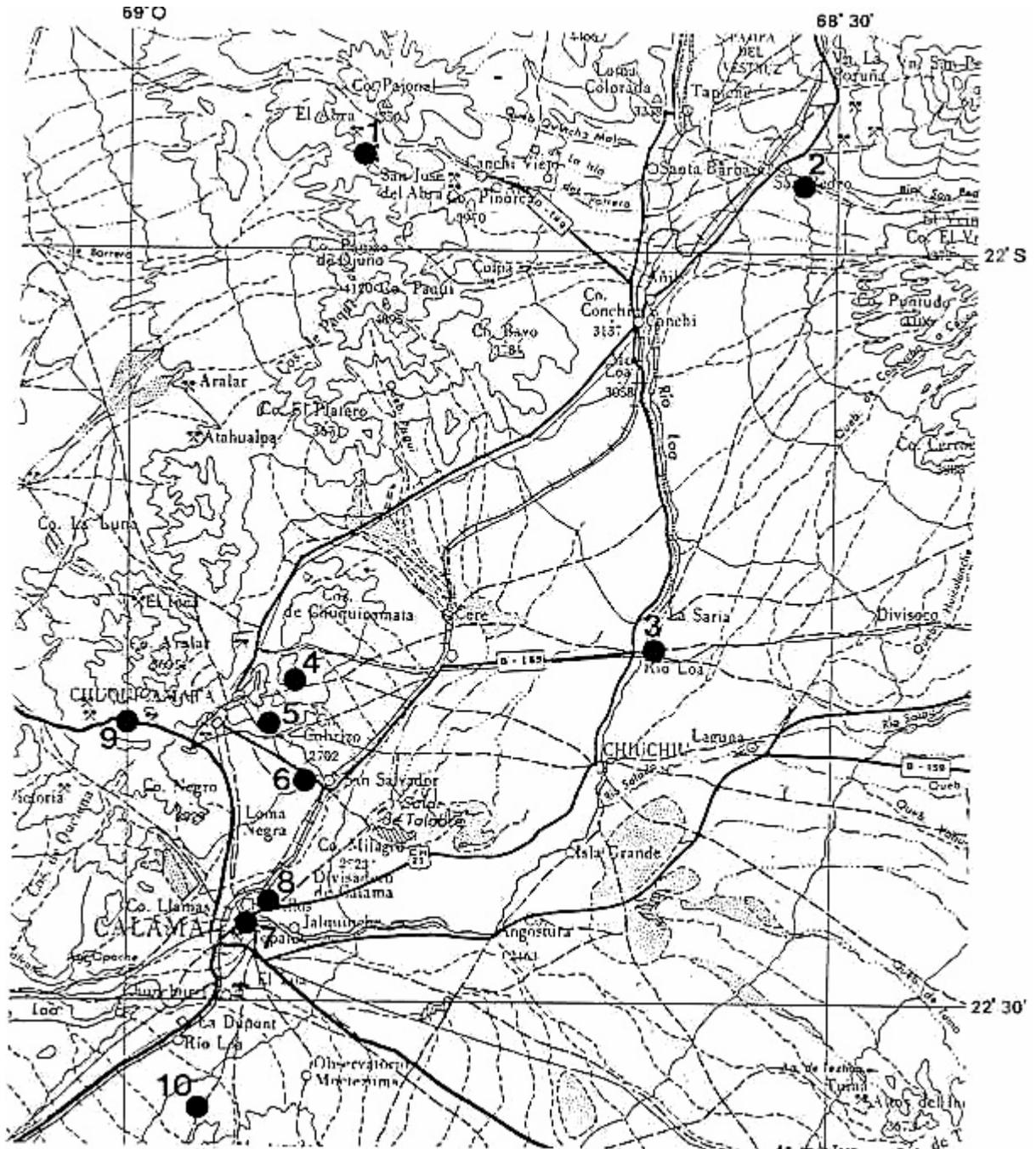


Fig. 4.2 Plano de ubicación de estaciones anemométricas en el sector de Calama (escala 1:500.000).

- | | | | |
|----|--------------------|-----|------------------|
| 1: | El Abra | 6: | Casa de Bombas |
| 2: | Bocatoma San Pedro | 7: | Calama (CODELCO) |
| 3: | Lasana | 8: | Calama (EDELNOR) |
| 4: | Botadero 71 | 9: | Monte Cristo |
| 5: | Botadero 67 | 10: | Moctezuma |

Tabla 4.4. Estaciones pertenecientes a la División Chuquicamata de CODELCO

Estación	periodo con datos	tipo de instrumento	registro
El Abra	Ene 92-May 92	R. M. Young Wind Monitor	Banda papel
San Pedro	Mar-Abr 91, Jul 91-May 92	R. M. Young Wind Monitor	Banda papel
Lasana	Ene-Sep 91	R. M. Young Wind Monitor	Banda papel
Botadero 71	Ene-Jul 91, Sep 91-Ago 92	Climatronics F-460	Banda papel
Botadero 67	Ene 91-Jul92	Climatronics F-460	S.A.D.D. (*)
Casa de Bombas	Ene 91-Feb 92, Abr-Jul 92	Climatronics F-460	Banda papel
Calama	Ene 91-Sep 91, Mar-Jun 92	Climatronics F-460	Banda papel

(*) S.A.D.D.: Sistema Automático de Adquisición y Despliegue de Datos (estación conectada a sistema centralizado de adquisición de datos).

4.4.4 Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.

La Sección Meteorología del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile se encuentra realizando mediciones de viento en varios puntos del sector costero de la IV Región, como parte de dos proyectos de investigación. En uno de ellos, relacionado con el estudio de los aspectos meteorológicos y oceanográficos de la generación de nubosidad junto a la costa, se instalaron tres estaciones meteorológicas en el sector de El Tofo y en el puerto de Cruz Grande. Las estaciones de medición se identifican como Cerro Carmelitas (ya discontinuada); Cruz Grande y El Tofo. Los sensores de velocidad y dirección del viento son del tipo MetOne (modelo 13A y 23A para las copelas y la veleta, respectivamente) y se ubicaron a 3.75 m sobre el suelo. Las estaciones funcionan en forma automática mediante una unidad programable de procesamiento y almacenamiento en medio magnético, archivando, entre otros parámetros, los promedios de velocidad y dirección del viento cada 15 minutos.

En otro proyecto, relacionado con el estudio de surgencia costera, se instaló una estación meteorológica automática en Punta Lengua de Vaca, en el extremo

surponiente de la gran Bahía de Tongoy. Los sensores de viento (velocidad y dirección) son R.M. Young modelo Wind Sentry y se encuentran instalados a 3.75 m sobre el suelo. La estación opera en forma automática registrando en medio magnético el promedio de diversos parámetros meteorológicos cada media hora, entre ellos la dirección y la velocidad del viento.

La Tabla 4.5 resume los datos de ubicación de las estaciones y el periodo de registro considerado para el análisis del recurso eólico en cada una de ellas.

Tabla 4.5. Estaciones pertenecientes al Departamento de Geofísica. U. de Chile.

Estación	latitud °S	longitud °W	altitud m.s.n.m.	elevación sensor (m)	periodo
Carmelitas	29° 24' 30'	71° 15' 48"	1000	3.75	Oct. 90 - May. 91
Cruz Grande	29° 26' 45'	71° 18' 57"	10	3.75	Jul. 90 - Nov. 91
El Tofo	29° 27' 00'	71° 14' 42"	780	3.75	Ene. 89 - Nov. 91
Lengua de Vaca	30° 14' 26'	71° 37' 46"	10	3.75	Oct. 90 - Nov. 91

4.4.5 Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación

Los profesores Carlos Naveas y Rolando Tiemann de la Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación pusieron a disposición del Proyecto una base de datos de promedios horarios de velocidad y dirección del viento medido en las localidades de Ritoque, Punta Curaumilla, Lo Orozco, Casablanca y Canutillar. Las mediciones fueron realizadas con un anemógrafo mecánico Lambrecht instalado durante distintos periodos en las localidades señaladas. Una excepción son los datos de Canutillar, los que corresponden a mediciones realizadas por ENDESA. En general se trata de periodos breves de mediciones en cada uno de los puntos señalados: enero-abril de 1981 en Lo Orozco; mayo - junio de 1981 en Ritoque, julio - octubre de 1980 en Casablanca; enero - agosto de 1979 en Canutillar. En el caso de Punta

Curaumilla las observaciones están distribuidas a lo largo de un periodo mayor, como se indica en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Número de promedios horarios de velocidad del viento disponibles para la estación Punta Curaumilla (33° 05' S, 71° 45' O) en los meses que se indican.

meses	(meses)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1983								666	704	737		
1984	480			701	207	583	87			108	720	85
1985				744	380	644			120	608	368	270

4.4.6 European Southern Observatory (ESO).

ESO contribuyó con datos de viento recopilados en dos estaciones meteorológicas automáticas instaladas en Cerro Paranal en la II Región y en el observatorio astronómico La Silla en la IV Región. La información, proporcionada en medio magnético, corresponde a promedios de velocidad y dirección del viento cada 20 minutos, a partir de los cuales se evaluaron promedios horarios. La Tabla 4.7 incluye los datos de ubicación de cada estación, la altura de los sensores y el periodo con información disponible.

Tabla 4.7. Estaciones pertenecientes al European Southern Observatory (ESO)

estación	latitud S°	longitud °W	altitud m.s.n.m	elevación sensor (m)	periodo
Paranal	24° 37' 24"	70° 24' 05"	2.665	10	1985-92
La Silla	29° 16'	70° 42'	2.400	10	Feb 85 - May. 92

4.4.7 Empresa Nacional del Petróleo (ENAP).

La empresa ENAP contribuyó con datos de viento medidos en una estación meteorológica automática instalada sobre la plataforma petrolera Spiteful Norte 2 ubicada en el mar a unos 15 Km de la boca oriental del estrecho de Magallanes ($52^{\circ} 30' S$, $68^{\circ} 45' O$). El sensor (medidor sónico marca Avionic) fue instalado a unos 20 m sobre el nivel medio del mar. Los datos, proporcionados en medio magnético, corresponden a promedios horarios de velocidad y dirección del viento en el periodo noviembre 1985 - diciembre 1989.

4.4.8 Compañía de Carbones de Chile (COCAR)

La empresa COCAR proporcionó los datos de una estación automática instalada sobre el muelle de carga de sus instalaciones ubicadas en la ribera oriental del seno Otway ($52^{\circ} 57' S$, $71^{\circ} 11' O$) en la XII Región. Las observaciones corresponden a promedios horarios de dirección y velocidad del viento en el periodo marzo 1990 - diciembre 1991. El sector es relativamente plano y el sensor, instalado a unos 20 m sobre el nivel medio del mar, se encontraba bien expuesto a los vientos predominantes.

4.4.9 Otras fuentes de información

El profesor Roberto Espejo, del Departamento de Física de la Universidad del Norte en Antofagasta, colaboró con una serie de promedios horarios de velocidad y dirección del viento observado en una estación instalada en la empresa Refimet ($23^{\circ} 51' S$, $70^{\circ} 26' O$, 550 m.s.n.m.). El sensor de viento se encuentra a 1.8 m sobre el suelo.

El Instituto de Geografía de la Universidad de Berna está realizando un proyecto de investigación en el sector cordillerano al interior de Antofagasta el que incluye el monitoreo de las condiciones ambientales en un punto a 5000 m de altitud mediante

una estación meteorológica automática (modelo Delta-T). El punto de medición (aproximadamente $23^{\circ} 49' S$, $67^{\circ} 30' O$) se encuentra a unos 4 km al norte del Campamento El Laco. El sensor de viento se encuentra a 2 m sobre el suelo. Los datos, consistentes en una serie de un año de promedios horarios de velocidad y dirección del viento, fueron proporcionados en medio magnético por el Prof. Hugo Romero del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, quien colabora en el proyecto mencionado.

El profesor Roberto Román del Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, puso a disposición del proyecto las bandas de registros anemográficos de seis meses (agosto 1984 - febrero 1985) de una estación que funcionó en la localidad de La Ola ($26^{\circ} 34' S$, $69^{\circ} 03' O$, 3800 m.s.n.m), en un campamento perteneciente a CODELCO, División Salvador. El punto de medición se encuentra en el margen oeste de un valle de orientación norte-sur. El sensor estaba ubicado a 6 m sobre el suelo. Debido a la ausencia de marcas de tiempo se utilizó el registro de radiación solar en la estimación del mediodía. Se leyeron valores medios horarios hora por medio.

El proyecto EULA está desarrollando un estudio integrado de la cuenca del río Bio-Bio. Para analizar los aspectos meteorológicos se han instalado algunas estaciones meteorológicas automáticas en diferentes puntos de la cuenca. Se consideraron particularmente relevantes para este estudio las mediciones en una estación ubicada en la costa (Punta Hualpén, $36^{\circ} 44' S$, $73^{\circ} 11' O$) y otra ubicada en la isla Santa María ($37^{\circ} 03' S$, $73^{\circ} 31' O$). Como el costo de adquisición de los datos excedía las posibilidades de este proyecto, se adquirió una muestra de promedios horarios de velocidad del viento en ambas estaciones correspondientes a enero de 1991.

4.5 Estadísticas horarias y mensuales provenientes de otros estudios.

Para un número considerable de estaciones fue posible obtener sólo valores medios de velocidad del viento para distintos meses, publicados como resultados de estudios

previos. Esta información, aunque insuficiente para el cálculo preciso del potencial de energía eólica, fue considerada de interés por la información adicional que provee respecto a las características del ciclo diario y anual del régimen de viento. La Tabla 4.8 identifica estas estaciones así como las referencias a los estudios que las generaron.

Tabla 4.8. Estaciones con estadísticas de velocidades medias horarias proveniente de otros estudios.

Estación	latitud °S	longitud °W	altitud m.s.n.m	elevación sensor (m)	periodo (meses)	fuelle
U. Católica del Norte	23° 41'	70° 25'	30	10	120	1
Uribe	23° 33'	70° 15'	450	10	36	1
Mina Iván	23° 20'	70° 16'	800	10	120	1
Jorquencal	22° 40'	67° 59'	4200	2.7	12	2
Yareta	22° 42'	67° 56'	4900	2.7	12	2
Diablo	22° 43'	68° 02'	3700	2.7	12	2
Sairecabur	22° 44'	67° 53'	5800	2.7	12	2
Pelón	22° 48'	68° 07'	2900	2.7	12	2
Monte Cristo	22° 19'	69° 00'	3000	10	7	3
Calama - EDELNOR	22° 26'	68° 54'	2400	10	7	3
Moctezuma	22° 34'	68° 57'	2350	10	7	3
Dpto. Geofísica	33° 27'	70° 40'	532	27	11	4
Las Huichas	45° 09'	73° 32'	15	10	7	5
Jorge Schythe	53° 07'	70° 54'		7	60	6

Fuentes de información.

- (1) Zuleta y Vergara (1992).
- (2) Sr. Dieter Schmidt. Proyecto Geoecología de Atacama. Univ. de Erlangen-Nürnberg, Alemania.
- (3) Sr. Luis Leiva. EDELNOR - Antofagasta.
- (4) Guzmán (1984).
- (5) Informe Final estudio "Estimación del potencial de energía eólica en Isla Las Huichas" realizado para EDELAYSEN . Dpto. de Geofísica. U. de Chile.
- (6) Sr. Ariel Santana. Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes, Punta Arenas.

4.6 Información recopilada desde Anuarios de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

La Dirección Meteorológica de Chile ha publicado una serie de Anuarios Meteorológicos en los cuales se incluyen estadísticas mensuales y anuales de dirección y velocidad media del viento para un conjunto de estaciones seleccionadas, en base a tres observaciones diarias (08, 14 y 20 horas). En base a esta información se calcularon los valores medios anuales de velocidad del viento para un conjunto de estaciones, durante el periodo 1950-1990, excluyendo los años 1979 a 1984 y 1986 a 1988, para los cuales los Anuarios no se encuentran disponibles.

En relación con esta base de datos es necesario incluir algunos comentarios de los cuales se concluye que debe ser utilizada con cautela en aplicaciones de energía eólica.

a) La ubicación de las estaciones es aproximada y se advierten cambios en las coordenadas geográficas de algunas estaciones. Estas modificaciones podrían corresponder a desplazamientos de ellas o a correcciones en las coordenadas anotadas en Anuarios previos.

b) Los Anuarios no incluyen comentarios que permitan evaluar la calidad relativa de los datos que en ellos se publican. A este respecto no se identifica la institución que controla la estación (DMC, ENDESA, SAG, etc.) ni el tipo de personal a cargo de las observaciones (observador profesional u otro tipo de personal).

c) No se incluyen indicaciones respecto a las condiciones generales del entorno de cada estación (tipo de suelo, relieve, presencia de obstáculos, etc.) ni de la altura de instalación del sensor de viento sobre el suelo. Este dato, necesario para la extrapolación vertical del viento, sólo se obtuvo en las estaciones para las cuales se analizaron datos a nivel horario.

d) Como se discutirá más adelante en la sección 6, el promedio de velocidad calculado en base a tres observaciones diarias por lo general sobreestima la velocidad media real del viento.

A pesar de los problemas señalados y teniendo en cuenta la significativa carencia de información sobre el régimen del viento en vastos sectores del país, se consideró que los datos provenientes de Anuarios proveen de una estimación aproximada de la velocidad media del viento. Este dato, aunque insuficiente para una estimación precisa del potencial eólico, permite al menos inferir un rango en la densidad de potencia eólica media.

4.7 Datos provenientes de observaciones de barcos.

Para analizar la variación del régimen de viento a lo largo de la costa que pudiese atribuirse a condiciones de gran escala se recopiló información de viento de la base de datos COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set). Esta incluye datos de velocidad media mensual para todas las áreas oceánicas del planeta, deducidas de mediciones realizadas desde barcos. Los datos están especificados como promedios sobre áreas de 2 x 2 grados de latitud y longitud, respectivamente, para el periodo correspondiente a 1946-87. Estos datos tienen asociado un error considerable, pero se ha establecido que las estadísticas basadas en un número grande de años producen valores medios aceptables (Sadler et al., 1987).

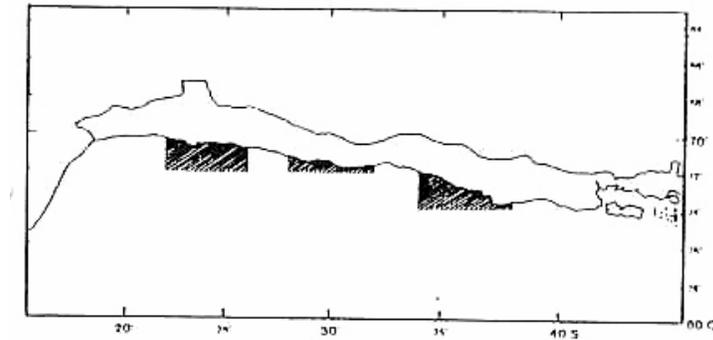


Fig. 4.3 Sectores oceánicos para las cuales se calcularon valores medios de velocidad a partir de observaciones desde barcos (datos COADS).

La Fig. 4.3 muestra las tres áreas para las cuales se calcularon valores medios de velocidad durante el verano (diciembre, enero y febrero) e invierno (junio, julio y agosto). Los sectores elegidos así como el promedio de velocidad del viento durante las estaciones señaladas aparecen indicados en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Velocidades medias en tres sectores oceánicos a partir de observaciones desde barcos (datos COADS).

Condiciones de verano (diciembre-enero-febrero)

sector norte	dominio N-S ° S	dominio al E de	N. obs.	v (m/s)
sector norte	22-26	72°	879	4.3
sector central	28-32	72°	886	4.8
sector centro-sur	34-38	74°	777	5.7

Condiciones de invierno (diciembre-enero-febrero)

sector norte	dominio N-S ° S	dominio al E de	N. obs.	v (m/s)
sector norte	22-26	72°	1009	3.6
sector central	28-32	72°	1058	5.1
sector centro-sur	34-38	74°	685	4.2

4.8 Distribución de las estaciones con estadísticas a nivel horario

En la Tabla 4.10 se resumen las características de las 58 estaciones para las cuales fue posible recopilar series de valores medios horarios de velocidad del viento. Su distribución geográfica se incluye en el Mapa 1 del estudio. Se advierte que la repartición de las estaciones es muy poco homogénea a lo largo del país, existiendo grandes extensiones en los extremos norte y sur para las cuales no existen o no se pudo recopilar información confiable de velocidad del viento para los fines específicos del estudio.

La Fig. 4.4 muestra la distribución del número de datos disponibles por estación. Se advierte una gran diversidad entre estaciones. Aquellas con un número inferior a 2000 datos corresponden a un 20% del total, en tanto en un 38% de los casos el número de datos disponible oscila entre 2000 y 4000. Entre las estaciones con un mayor número de información destacan La Silla y Cerro Paranal con más de 40.000 datos cada una.

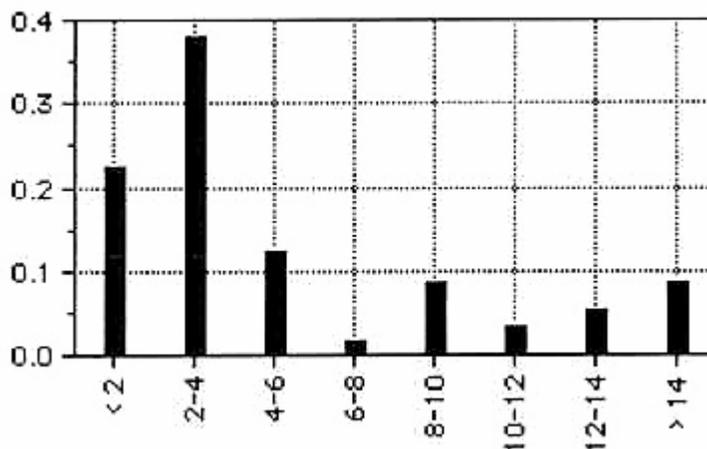


Fig. 4.4 Distribución del volumen de información disponible por estación. Eje horizontal: número de datos en intervalos de 2000; eje vertical: porcentaje del total de estaciones.

4.9 Fuentes de información de viento no incluidas en el estudio

Además de todas las fuentes de información incluidas en el proyecto, existen otras para las cuales no fue posible obtener información de mediciones de viento.

La preocupación creciente por los problemas de contaminación atmosférica ha conducido a la instalación de redes de monitoreo que incluyen mediciones de viento en el entorno de fuentes emisoras importantes, tales como fundiciones de concentrados de cobre. Estas redes son de carácter privado y varias están recién en proceso de instalación. Entre ellas se incluyen las de Potrerillos, Paipote, Ventanas, Chagres y El Teniente.

Otro conjunto de mediciones meteorológicas, en las que se incluye viento, corresponden a estudios de líneas base ambientales, realizados para proyectos en el ámbito de la minería, generación de electricidad y otros. Entre ellos se incluyen los estudios realizados para ubicación de centrales termoeléctricas en la zona norte, el proyecto de Minera Escondida, los proyectos mineros de la Región de Atacama, tales como La Candelaria y otros al interior de la cordillera. De ellos sólo se dispone de referencias indirectas sobre mediciones meteorológicas.

El interés por el recurso eólico en el país se remonta a más de dos décadas, en las que se realizaron diversos estudios de prospección de viento, en forma puntual. Además de los datos recibidos de parte de investigadores en el tema, hay antecedentes de otras mediciones a las cuales no se tuvo acceso. Entre ellas se incluyen los estudios realizados para instalar generadores eólicos en Isla de Pascua, un proyecto de evaluación del recurso eólico regional que está comenzando la Universidad de Tarapacá y un proyecto similar en la Universidad de Magallanes. En los últimos dos años, una empresa extranjera relacionada con la construcción de generadores eólicos ha estado realizando prospecciones en el área de Calama por encargo de EDELNOR. Un estudio con estos fines está en desarrollo en la División El Teniente, en la Sexta Región.

El proyecto EULA de la Universidad de Concepción, que corresponde a un estudio integrado de la cuenca del Bio-Bio, ha instalado un conjunto de estaciones meteorológicas en esa región. Al momento de finalizar este trabajo no se encontraban aún disponibles publicaciones que presentaran las características del viento medido en las estaciones de esa red.

Podrían existir otras mediciones de viento en relación a diversas actividades. Por ejemplo, en observatorios astronómicos del norte del país, además de los incluidos en el estudio, o en relación a estudios hidrológicos, agropecuarios y forestales. En este último campo, la protección contra incendios forestales puede requerir de información local de viento. Posiblemente algunas instalaciones del sector productivo

requieran información para evaluar efectos de sus actividades sobre el medio ambiente y con fines de protección de sus faenas. No se tienen antecedentes concretos sobre disponibilidad de información de viento en estos casos.

Tabla 4.10. Listado general de estaciones para las cuales se dispuso de series de velocidad media horaria.

Nombre de la estación	latitud (°S)	longitud (°W)	elevación m.s.n.m	altura sensor (m)	tipo de dato (1)	período de observación	N° de datos	fuelle
Parinacota	18° 12'	69° 16'	4392	6	a	1970-1973	3072	ENDESA
Arica	18° 20'	70° 20'	58	10	a	1987-1991	2074	DMC
Iquique	20° 32'	70° 11'	52	8	a	1986-1992	2114	DMC
El Abra *	21° 55'	68° 50'	4300**		b	1-6/ 1991	3628	CODELCO
Bocatoma San Pedro*	21° 57'	68° 33'	3900**		b	3/1991- 5/1992	8326	CODELCO
Lasana *	22° 16'	68° 37'	2600**		b	1-9/ 1991	6042	CODELCO
Botadero 71 *	22° 17'	68° 53'	3000**	10	b	1/1991-8/1992	12590	CODELCO
Botadero 67 *	22° 19'	68° 54'	2700**	10	e	1/1991-7/1992	13298	CODELCO
Casa de Bombas *	22° 21'	68° 51'	2500**	10	b	1/1991-7/1992	12714	CODELCO
Calama *	22° 27'	68° 55'	2300**	10	b	1-9/1991,3-6/1992	9102	CODELCO
Antofagasta	23° 26'	70° 26'	135	5	a	1986-1992	2162	DMC
El Laco *	23° 49'	67° 30'	5000	2***	e	4/1991-3/1992	8456	Univ. de Berna (2)
Refimet	23° 51'	70° 20'	550	1,8	b	6/1991-5/1992	8696	R. Espejo. (3)
Cerro Paranal	24° 37' 24"	70° 24' 05"	2665	10	e	1/1985-12/1991	43332	ESO
La Ola	26° 34'	69° 03'	3800	6	a	8/1984-2/1985	1786	R. Román. (4)
Isla de Pascua	27° 09'	109° 25'	51	16	a	1987-1992	2090	DMC
La Silla	29° 16'	70° 42'	2400	10	e	2/1985-5/1992	47916	ESO
Carmelitas	29° 24' 30"	71° 15' 48"	1000**	3,75	e	10/1990-5/1991	5544	Dpto. Geofísica. U.CH.
Cruz grande	29° 26' 45"	71° 18' 57"	10**	3,75	e	7/1990-11/1991	11448	Dpto. Geofísica. U.CH.
El Tofo	29° 27' 00"	71° 14' 42"	780**	3,75	e	1/1989-11/1991	25322	Dpto. Geofísica. U.CH.
La Serena	29° 54'	71° 12'	142	10	a	1985-1991	2108	DMC
Tololo*	30° 10'	70° 48'	2150**	20***	a	1984-1988	3154	Obs. Astronómico Tololo
Pta. Lengua de Vaca	30° 14' 26"	71° 37' 46"	10**	3,75	e	8/1990-5/1992	14224	Dpto. Geofísica. U.CH.
Ovalle	30° 34'	71° 11'	300		a	1965-1969	1526	DMC
Punta de Toro	30° 44' 01"	71° 41' 58"	9	10	d	4-11/ 1992	5114	Proyecto EOLO
Pta. Cerro de Arena	31° 15' 22"	71° 37' 51"	60	10	d	4-11/ 1992	5130	Proyecto EOLO
Los Vilos	31° 50' 48"	71° 30' 48"	60	10	d	4-11/ 1992	5098	Proyecto EOLO
Quintero	32° 47'	71° 31'	8	15	a	1986-1991	2194	DMC

Tabla 4.10. Listado general de estaciones para las cuales se dispuso de series de velocidad media horaria (continuación)

Nombre de la estación	latitud (°S)	longitud (°W)	elevación m.s.n.m	altura sensor (m)	tipo de dato (1)	período de observación	N° de datos	fuelle
Ritoque*	32° 49'	71° 32'	10**	8	c	5-6/ 1981	706	C. Naveas y R. Tiemann (5)
El Juncal	32° 51' 25"	70° 10' 00"	2217	6	a	1987-1989	1962	ENDESA
Punta Curaumilla	33° 05'	71° 45'	20**	8	c	7/1983-12/1985	8210	C. Naveas y R. Tiemann (5)
Lo Orozco	33° 15'	71° 26'	350	8	c	1-5/ 1981	2384	C. Naveas y R. Tiemann (5)
Casablanca	33° 19'	71° 25'	260	8	c	7-10/ 1980	2312	C. Naveas y R. Tiemann (5)
Quelentaro	34° 02' 30"	71° 35' 00"	260	6	a	1975-1979	2760	ENDESA
Graneros	34° 04'	70° 44'	475	10	a	1989-1991	914	DMC
Hidango	34° 06'	71° 47'	296	10	a	1989-1991	1066	DMC
Putú	35° 12' 34"	72° 16' 54"	8	10	d	5-10/ 1992	4044	Proyecto EOLO
Quivolgo	35° 17'	72° 23'	10	10	a	5-12/ 1991	784	DMC
Pahuil	35° 36' 45"	72° 34' 02"	52	10	d	5-10/ 1992	4040	Proyecto EOLO
Des. Laguna Invernada	35° 43' 30"	70° 46' 30"	1280	6	a	1975-1980	3860	ENDESA
Cobquecura	36° 08' 28"	72° 48' 08"	29	10	d	5-10/ 1992	3996	Proyecto EOLO
Punta Hualpén*	36° 44'	73° 11'	10	6	e	1/ 1991	744	EULA
San Vicente	36° 45' 00"	73° 07' 30"	15	6	a	1974-1975	3072	ENDESA
Isla Santa María*	37° 03'	73° 31'	10	6	e	1-2/ 1991	840	EULA
Desagüe Lago Laja	37° 22' 30"	71° 22' 30"	1375	6	a	1970-1975	3534	ENDESA
Isla Mocha	38° 21'	73° 58'	18		a	1965-1969	1552	DMC
Temuco	38° 45'	72° 38'	114	13	a	1987-1991	1518	DMC
Huilo-Huilo	39° 49' 30"	72° 00' 30"	320	6	a	1986-1990	3870	ENDESA
Puerto Montt	41° 25'	73° 05'	85	17	a	1987-1991	2126	DMC
Canutillar*	41° 30'	72° 21'	10		c	1-8/ 1979	5070	C. Naveas y R. Tiemann (5)
Puelo Carrera Basilio	41° 38' 30"	72° 16' 00"	20	6	a	1986-1990	3436	ENDESA
Coyhaique	45° 35'	72° 07'	310		a	1986-1990	1416	DMC
Balmaceda	45° 55'	71° 41'	520	18	a	1987-1991	2044	DMC
El Balseo	47° 15' 00"	72° 38' 00"	150	6	a	1986-1990	2466	ENDESA
Plataforma Spiteful N4 *	52° 24'	69° 00'	0	20	e	11/1985-12/1989	27114	ENAP-Magallanes
Pecket *	52° 57'	71° 11'	0	20	e	3/1990-12/1991	11388	COCAR

Tabla 4.10. Listado general de estaciones para las cuales se dispuso de series de velocidad media horaria (continuación)

Estación	latitud (°S)	longitud (°W)	elevación m.s.n.m	altura sensor (m)	tipo de dato (1)	período de observación	N° de datos	fuelle
Punta Arenas	53° 00'	70° 51'	37	11,3	a	1987-1991	2154	DMC
Base Eduardo Frei	62° 25'	58° 53'	10	10	a	1988-1991	1508	DMC

Observaciones a la Tabla 4.10

(*) Localización aproximada; (**) elevación aproximada; (***) altura aproximada del sensor.

1: Tipo de dato

- a: lectura desde banda de registro (realizada por el proyecto)
- b: lectura desde banda de registro (información recibida en medio magnético)
- c: lectura desde banda de registro (información recibida como listados en papel)
- d: mediciones en una estación automática instalada por el proyecto.
- e: mediciones en una estación automática perteneciente a otra fuente (recibido en medio magnético)

2: Datos proporcionados en medio magnético por el Prof. Hugo Romero. Depto. de Geografía. U. de Chile.

3: Depto. de Física, Universidad del Norte de Antofagasta. Datos proporcionados en medio magnético.

4: Departamento de Mecánica. Universidad de Chile.

5: Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación, Valparaíso.