

## PRIMEROS ANTECEDENTES CLIMATOLÓGICOS DE ESTACIONES AUTOMÁTICAS (AWS) EN EL CANAL BEAGLE, MAGALLANES, CHILE

### FIRST CLIMATOLOGIC ANTECEDENTS OF AUTOMATIC WEATHER STATIONS (AWS) IN THE BEAGLE CHANNEL, MAGALLANES, CHILE

Ariel Santana<sup>1,2</sup>, Charles Porter<sup>3,4</sup>, Nicolás Butorovic<sup>1</sup> & Carlos Olave<sup>1</sup>

#### RESUMEN

Como contribución al conocimiento del clima del extremo austral de la Patagonia se analizan los datos provenientes de estaciones automáticas de tiempo (AWS) ubicadas a lo largo de un perfil oeste-este del canal Beagle, incluyendo el Beagle norte y sur, en los 54° S de latitud aproximadamente. Por primera vez se publican los datos meteorológicos del interior de este canal. Esta transecta comprende las localidades de bahía Pía, península Cloue, isla Diablo, caleta Lewaia y Puerto Williams. Para comparación se analizaron, para el mismo periodo, los datos de la estación Jorge Schythe de Punta Arenas. Las temperaturas del aire a lo largo del canal están altamente correlacionadas y éstas a su vez con las de Punta Arenas. Se observa una variación pluviométrica a lo largo del canal, fluctuando entre los 1.600 mm/año a cerca de 450 mm/año. Se analiza la radiación solar para Punta Arenas y Puerto Williams estableciéndose una clara diferencia entre ellas atribuibles a la diferencia de latitud y nubosidad. El viento es intenso durante todo el año y debido a la poca longitud estadística de los datos disponibles, no se aprecia una estacionalidad clara. Los vientos predominan del oeste, en ambas localidades. Se establecieron relaciones de la temperatura, la precipitación, la radiación solar, la humedad relativa y la presión atmosférica, en función de las direcciones del viento. La región del Beagle y todo el extremo sur de Sudamérica, junto a las Georgias del Sur, constituyen las únicas áreas en el hemisferio sur más cercanas en latitud al continente antártico, por lo cual su información climática es muy valiosa para los estudios referidos al cambio climático global.

Palabras clave: Clima, estaciones automáticas de tiempo (AWS), canal Beagle.

<sup>1</sup> Grupo de Climatología Centro de Estudios del Cuaternario Fuego-Patagonia (CEQUA).

<sup>2</sup> Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes (Proyecto de Investigación PR-F3-01LC-2002).

<sup>3</sup> Patagonia Research Foundation. Maine USA.

<sup>4</sup> Climate Change Institute, University of Maine, Orono, ME. USA.

## ABSTRACT

As a contribution to knowledge of the Patagonia Southernmost weather conditions, the data analyzed came from the Automatic Weather Stations (AWS), located along west to east profile across the Beagle channel, including northern and southern Beagle in the 54° S. For the first time, the meteorological data from inside the channel are published. This line of AWS includes the location of Pía Bay, Cloue peninsula, Diablo Island, Lewaia cove and Puerto Williams. These data were compared at the same period, with those of Jorge Schythe station in Punta Arenas. The air temperatures along the channel are highly correlated as well as with the temperatures of Punta Arenas. A pluviometric variation is observed along the channel, fluctuating between 1600 mm/year and 450 mm/year. The solar radiation for Punta Arenas and Puerto Williams is analysed establishing a clear difference between them, attributing it to the difference of latitude and cloudiness between the localities, being the radiation inferior in the last location. The speed of the wind is high during the year but no seasonal pattern is observed due to the insufficient available data. Wind predominates from west in Punta Arenas as well as in Puerto Williams. The relations of temperatures, the precipitation, the solar radiation, the relative humidity and the atmospheric pressure were established in function of the directions of the wind. The region of the Beagle and all southern extreme of South America, as well as the South Georgia are the only areas in the Southern Hemisphere closer in latitude to the Antarctic continent, being its climatic information extremely useful for the studies referred to the global climatic changes.

Key words: Climate, automatic weather station (AWS), Beagle channel.

## INTRODUCCIÓN

El clima de Magallanes y en general, de toda la Patagonia, ha sido definido por diversos autores como frío y ventoso, destacándose su variedad y, en algunos casos, grandes contrastes entre localidades cercanas (Pisano 1977, Zamora & Santana 1979a, Casassa 1985, Weischet 1985, Endlicher 1991, Tuhkanen 1992, Weischet 1996, Cerveny 1998, Coronato & Bisigato 1998). Una de sus principales características es el intenso viento que predomina desde la dirección oeste. Las altas velocidades que alcanza este meteoro se debe a la baja fricción en la zona de vientos de oeste en el hemisferio sur, a causa de la escasa masa continental entre las latitudes 40° S y los 60° S, si se compara con las mismas latitudes del otro hemisferio (Schneider *et al.* 2003). Debido a lo frío del continente antártico, existe una diferencia permanente de unos 15 hPa a 25 hPa más en el gradiente de presión entre las latitudes altas y las subtropicales del hemisferio sur, comparado con la misma situación en el hemisferio norte (Aceituno *et al.* 1993). En consecuencia, en la zona con vientos del oeste del hemisferio sur se desarrollan velocidades mucho mayores (Miller 1976, Capel 1983).

La temperatura por su parte, a causa de la relativa cercanía al continente antártico, es baja en toda la Patagonia, registrándose promedios anuales que no exceden de los 7° C y con pequeñas amplitudes en el ciclo diario y estacional (Schneider *et al.* 2003). El promedio anual de temperatura en Punta Arenas, a orillas del estrecho de Magallanes, es de sólo 6,5° C y una amplitud media mensual de 10° C (Zamora & Santana 1979a, Endlicher & Santana 1988).

La peculiar orografía de Magallanes también es un factor determinante en el clima, siendo la cordillera de Los Andes el principal accidente geográfico que causa importantes modificaciones en el clima local. Este cordón montañoso, en sus secciones patagónica y fueguina, tiene una dirección norte-sur en la parte norte y centro de la región, torciéndose a una dirección noroeste-sureste en la parte sur de Magallanes, conformando así una barrera topográfica perpendicular que actúa eficazmente frente al flujo de la principal dirección del viento, provocando la diferencia climática más extrema a nivel mundial (Endlicher & Santana 1988).

Con todo esto, los climas en el barlovento de los Andes difieren notablemente de los climas encontrados en el sotavento, en la vertiente orien-

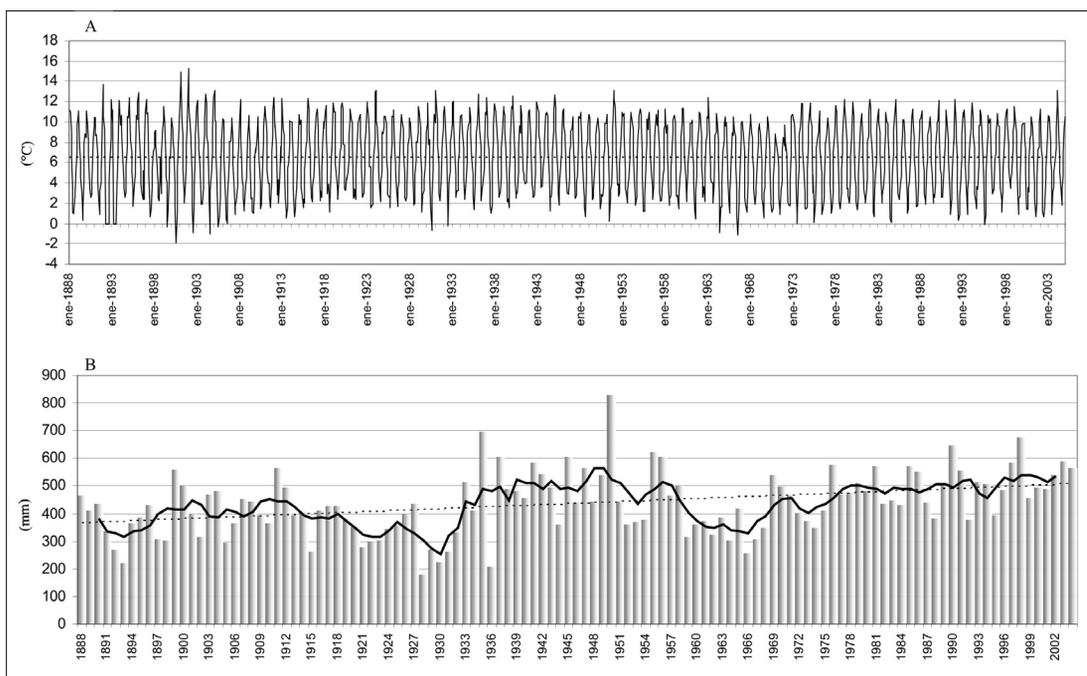


Fig. 1. Temperatura media mensual (A) y montos anuales de precipitación (B) histórica de Punta Arenas.

tal. La precipitación, en especial, experimenta una dramática variación entre la costa oeste del Pacífico y la del sotavento de los Andes (Endlicher 1991). En los islotes Evangelistas ( $52^{\circ}24'S-75^{\circ}06'W$ ), situado en la costa occidental de Magallanes, precipitan aproximadamente unos 2.600 mm/año. Más al este, pero todavía en la costa oeste, en bahía Félix ( $52^{\circ}28'S-74^{\circ}07'W$ ), la precipitación aumenta a unos 4.025 mm/año (Endlicher & Santana 1988). Más al este y debido al enfriamiento adiabático que experimenta el flujo de aire proveniente del Pacífico, al verse obligado a elevarse para cruzar los Andes de oeste a este, éste condensa gran parte de su vapor de agua, precipitando la mayor parte del agua en la ladera occidental y en las altas cumbres, liberando calor latente durante este proceso. Al descender por la ladera oriental, ya con una mayor temperatura, esta masa de aire vuelve a calentarse adiabáticamente, recuperando su poder evaporante, pero al no encontrar grandes cuerpos de agua que las alimenten, se vuelven más secas, causando que las precipitaciones disminuyan drásticamente en dirección este. Así, en Punta Arenas ( $53^{\circ}08'S-70^{\circ}53'W$ ), ubicada en la vertiente oriental de la cordillera de Los Andes, a orillas del estrecho de Magallanes, precipitan solamente 430 mm anuales,

dejando de manifiesto el efecto de *foehn* provocado por la cordillera (Endlicher 1991, Zamora & Santana 1979a).

Los estudios referidos a este fenómeno, casi único, son escasos y se han publicado muy pocas mediciones de parámetros meteorológicos de estaciones automáticas de tiempo (AWS) de esta parte de la cordillera. En este sentido, Glaser *et al.* (2000<sup>1</sup>), Schneider *et al.* (2001<sup>2</sup>, 2003) describen el clima en una transecta oeste-este en los  $53^{\circ}$  de latitud en el Gran Campo Nevado. Las condiciones climáticas del Hielo Patagónico Sur, obtenidas de registros de corto plazo y a través de modelos, han sido descritas por Carrasco *et al.* (1998, 2000) y Casassa *et al.* (2000). Referente al extremo sur de los Andes, en la cordillera Darwin, los datos son aún más escasos y casi se carece de ellos.

<sup>1</sup> Glaser, M., C. Schneider, R. Kilian, G. Casassa & A. Santana 2000. First meteorological record for the climate divide of the southernmost Andes,  $53^{\circ}S$ , Chile. *Programme and Abstracts of the 17. Lateinamerika-Kolloquium*, Institut für Geologie und Paläontologie, Stuttgart, Germany, p. 46.

<sup>2</sup> Schneider, C., M. Glaser, G. Casassa, A. Santana & R. Kilian 2001. Climate variability across the southern Andean climate divide: a contribution to the understanding of climate archives. *Abstracts and Programme of Cambios vegetacionales y climáticos durante el último ciclo glacial-interglacial a lo largo de Chile continental*, Department of Biology, Santiago, Chile, p. 41.

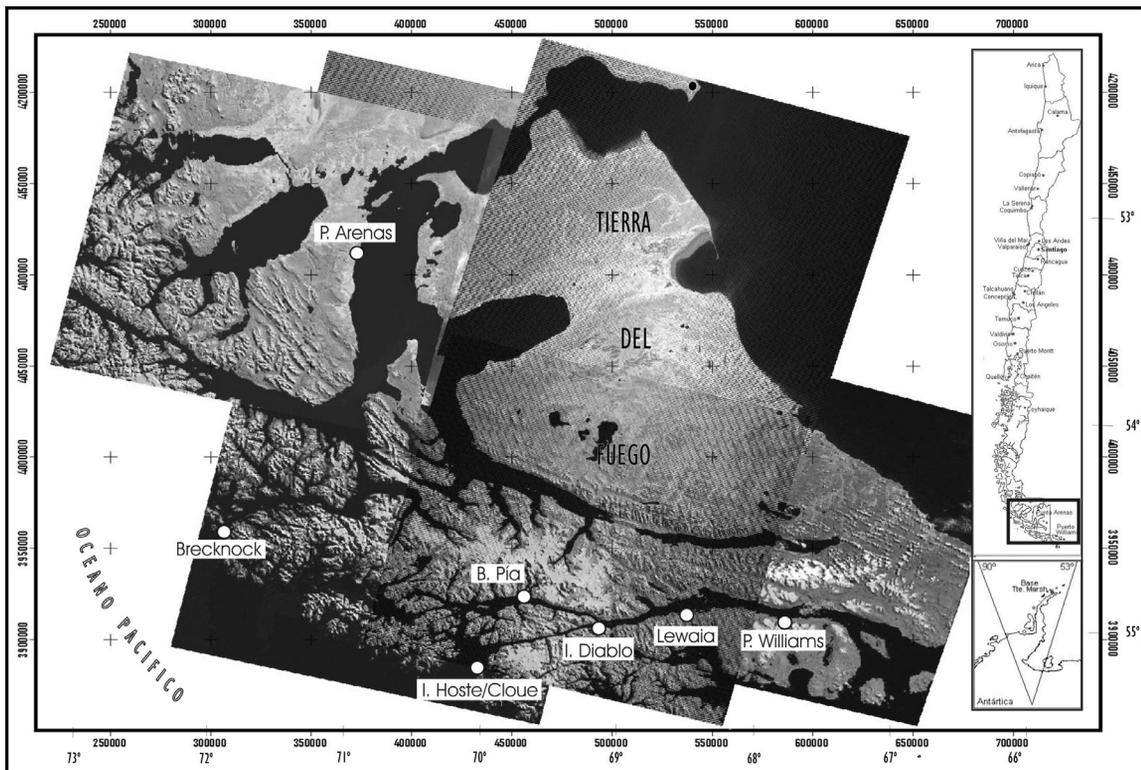


Fig. 2. Ubicación de las estaciones de tiempo (AWS) en el canal Beagle y Punta Arenas.

Algunos estudios respecto a las tendencias en el largo plazo de series de tiempo de temperatura y precipitación han sido analizadas por Rosenblüth *et al.* (1985, 1997), para ambos lados de los Andes, mostrando una tendencia al calentamiento y un decrecimiento de las precipitaciones en la última década. No obstante, Zamora & Santana (1979b), Santana *et al.* (2003<sup>3</sup>), Porter & Santana (2003), basados en las observaciones de los Salesianos desde fines del siglo XIX y mediados del siglo XX, sumados a antecedentes de la estación de bahía Catalina, en Punta Arenas, que se conectan, en los últimos 30 años, con los datos de la estación Jorge Schythe, hasta la actualidad, muestran para Punta Arenas una leve tendencia al enfriamiento (una pendiente en la tendencia lineal de  $-0.002016$ ). Esta tendencia también la muestra Daly (2000) y en Porter & Santana (2003). Por otro lado, los antecedentes pluviométricos recientes de Punta Arenas, obtenidos

en la estación Jorge Schythe y mostrados en Porter & Santana (2003) evidencian que las precipitaciones de la última década estuvieron por sobre el valor promedio normal, contradiciendo, en ambos casos, las apreciaciones de Rosenblüth *et al.* (1985, 1997). La figura 1A muestra la temperatura media mensual para Punta Arenas desde 1888 (Santana *et al.* 2003<sup>3</sup>), con datos actualizados al 2004 y la figura 1B, los montos de precipitación anual para el mismo periodo.

Los esfuerzos mencionados anteriormente corresponden a sectores centro y norte de la Patagonia y aún no existen antecedentes climatológicos detallados del extremo sur de esta región. En este sentido, la zona del canal Beagle representa un área importante en el hemisferio sur, al estar conectada al continente americano y por su mayor cercanía al continente antártico, lo cual, la hace una zona muy sensible a los cambios globales. La presencia de un gran campo de hielo en esta región, que lo constituye la cordillera Darwin, hace que las mediciones climáticas de esta zona sean de fundamental importancia y apoyo para entender la dinámica de

<sup>3</sup> Santana A., N. Butorovic, A. Torres, C. Schneider & C. Porter 2003. Tendencias térmicas en Punta Arenas durante el último siglo. Simposio de Cambio Global: Hacia una visión sistémica en Punta Arenas entre el 23 y el 25 de Enero de 2003. Modalidad de poster.

TABLA 1. AWS, coordenadas y parámetros de medición.

Estaciones	Latitud Sur	Long. Oeste	Altura (m)	T	PP	H.R.	R.S.	PA	Vvel	Vdir
Jorge C. Schythe	53°08'	70°53'	6	x	x	x	x	x	x	x
Puerto Williams	54°57'	67°39'	48	x	x	x	x	x	x	x
Bahía Pía	54°50'	69°40'	34	x	x	x	x	x	x	
Bahía Cloue	55°11'	70°03'	17	x	x	x				
Canal Brecknock	54°29'	71°59'	38	x	x	x	x	x	x	
Isla Diablo	54°56'	67°17'	20	x	x	x				
Caleta Lewaia	54°56'	69°21'	12	x	x	x				

este campo de hielo, como así también los comportamientos particulares de sus glaciares. Esta cordillera, junto a las Georgias del Sur (54° S-37° W), constituyen las mayores porciones de tierra con campos de hielo en la región subantártica, por lo que su comportamiento es de vital importancia para entender los efectos del cambio global en este hemisferio. La figura 2 muestra la ubicación de las estaciones automáticas de tiempo (AWS) instaladas en la zona del canal Beagle.

Este estudio presenta las primeras mediciones de estaciones automáticas de tiempo, a lo largo del canal Beagle, incluyendo sus brazos norte y sur. Los datos son analizados y comparados en conjunto con la AWS de Punta Arenas.

### MATERIALES Y MÉTODOS

En febrero de 2002, la Patagonia Research Foundation, instaló 4 prototipos de estaciones automáticas de tiempo (AWS) marca HOBO, desarrolladas por la Onset Computer Corporation, a lo largo del canal Beagle, en las localidades de Puerto Williams, bahía Pía, península Cloue y península Brecknock.

Durante abril de 2002 se instaló otra AWS en la estación Jorge Schythe, en Punta Arenas. El año 2003, el Centro de Estudios del Cuaternario de Fuego-Patagonia (CEQUA) adquirió estas 4 AWS y financió la campaña de abril de 2003. Durante esta campaña se instalaron dos AWS en caleta Lewaia y punta Eugenia, financiadas por la Universidad de Magallanes mediante el programa de investigación PR-F3-01 LC-2002. Se instaló una nueva unidad de AWS en isla Diablo y todas fueron puestas en servicio. En campañas realizadas en junio de 2004 y mayo de 2005 se descargaron los datos de todas las estaciones y fueron puestas en servicio nuevamente.

Durante estos periodos se detectaron fallas notables en las AWS, causadas por la destrucción de cables de conducción de los sensores a la unidad de datalogger, por roedores del lugar. Los datos previos a la destrucción de los cables se mantuvieron almacenados en la memoria de 512 k de los datalogger.

Como se observa en la tabla 1, todas las estaciones miden temperatura, precipitación y humedad relativa. De las estaciones que midieron radiación solar, presión atmosférica y viento, sólo fue

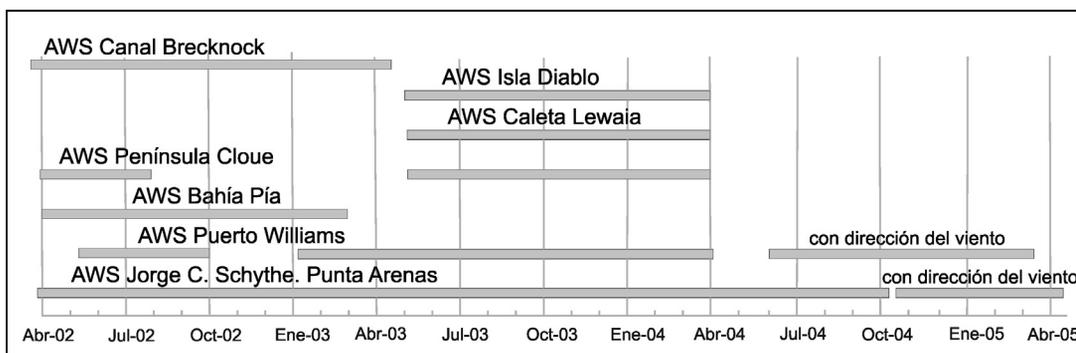


Fig. 3. Períodos de medición de las AWS.

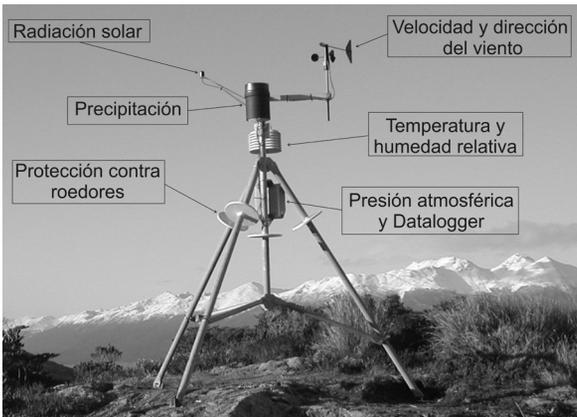


Fig. 4. Estación meteorológica automática tipo (AWS), marca Hobo.

posible obtener periodos largos en Puerto Williams y Punta Arenas. Los sensores de dirección del viento se dispusieron sólo para el periodo 2004-2005.

La figura 3 muestra los periodos de registro de datos que se disponen en cada AWS, destacándose los periodos de vacío de información por fallas. La figura 4 muestra un prototipo de AWS con los sensores más comunes.

Los sensores toman información de las variables atmosféricas en cada segundo, haciendo un promedio de estas mediciones en periodos de dos horas para las estaciones de mayor dificultad logística (este periodo garantiza independencia en la capacidad de memoria superior a un año), mientras que para las estaciones de Puerto Williams y Punta Arenas, el promedio se hizo para un periodo de 30 minutos. Por su parte, las baterías de litio de estas estaciones, proporcionan la energía necesaria y aseguran una duración de aproximadamente 14 meses, de manera que este tipo de estaciones resulta muy

adecuada para registros de variables del tiempo en lugares remotos.

Durante la campaña 2003 se modificaron las estaciones, poniendo protectores contra ratas, los que mostraron ser eficaces en Lewaia, isla Diablo y Cloue, estaciones en las que se consiguió registrar un año de datos. Finalmente para el periodo 2003-2004 se dispuso de un total de cinco estaciones que midieron los parámetros meteorológicos del canal Beagle y Punta Arenas, en forma simultánea y por un periodo de un año aproximadamente.

En Porter & Santana (2003) se presentan los datos del periodo 2002-2003 para las localidades de bahía Pía, Puerto Williams y Punta Arenas. Para el periodo 2003-2004 se consideraron las estaciones de Lewaia, isla Diablo, Cloue, Puerto Williams y Punta Arenas. Estas dos últimas se analizaron hasta el periodo 2004-2005 para el análisis de las variables atmosféricas en función de la dirección del viento.

Los datos se extrajeron desde los datalogger con notebook, a través del software BoxCard suministrado junto con las estaciones Hobo. Los datos se traspasaron a computadores personales y se analizaron con programas estadísticos y planillas electrónicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados discutidos aquí, están referidos al periodo 2003-2004 principalmente y se incluyen las estaciones de Punta Arenas, Puerto Williams, Cloue, isla Diablo y Lewaia. Los análisis con la estación de Pía fueron mostrados en Porter & Santana (2003) y sus resultados son mostrados aquí como referencia a esa localidad.

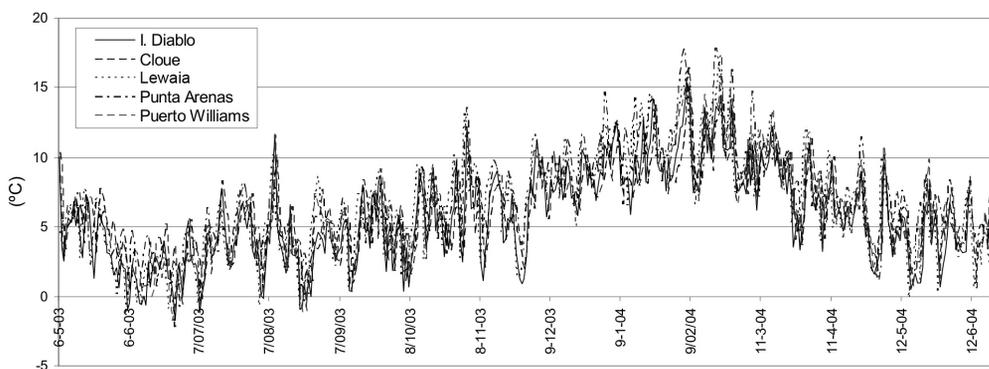


Fig. 5. Temperatura media diaria.

TABLA 2. Índice de correlación entre estaciones. Temperaturas diarias.

	P. Williams	B. Pia	Hoste/Cloue	Lewaia
Punta Arenas	0,918	0,924	0,788	0,919
P. Williams		0,929	0,862	0,971
Hoste/Cloue			1,000	0,831

TABLA 3. Temperatura media mensual y anual del Canal Beagle.

	Lewaia	Cloue	Isla Diablo	P. Arenas	P. Williams
may-03	4,9	5,6	4,6	6,0	-
jun-03	1,1	2,4	1,5	2,0	0,9
jul-03	4,0	4,3	3,9	4,4	3,9
ago-03	3,6	4,0	3,1	3,8	3,6
sep-03	5,0	4,8	4,5	4,9	4,9
oct-03	5,8	5,0	5,1	5,8	5,3
nov-03	6,8	5,5	5,8	7,4	-
dic-03	9,0	7,3	8,3	9,5	-
ene-04	11,0	9,3	9,8	11,2	8,7
feb-04	12,1	10,1	11,2	12,7	11,8
mar-04	9,1	8,7	8,2	9,2	9,8
abr-04	6,5	6,3	6,2	6,9	6,6
Media	6.6	6.1	6.0	7.0	6.2

### Temperaturas

En la figura 5 se presenta la temperatura media diaria para las estaciones de Punta Arenas, Puerto Williams, isla Diablo, Cloue y Lewaia. La alta correlación de los datos entre estas cinco estaciones queda de manifiesto visualmente y los valores de los coeficientes de correlación entre ellas se muestran en la tabla 2. Por lo tanto, los datos de las estaciones del Beagle se pueden relacionar con Punta Arenas mediante una correlación lineal. El promedio anual alcanzado en el periodo llegó a los 7,0 °C en Punta Arenas, a 6,6 °C en Lewaia, a los 6,2 °C en Williams, a los 6,1 °C para Cloue y 6,0 °C para isla Diablo. El mes más cálido fue febrero y alcanzó una temperatura media de 12,7 °C en Punta Arenas, 12,1 °C en Lewaia, 11,8 °C en Puerto Williams, 11,2 °C en isla Diablo y 10,1 °C en Cloue. La diferencia de esta última con Punta Arenas llega a los 2,6 °C para este mes, mientras que para el mes más frío, la estación de Cloue marcó el promedio mayor, dejando en evidencia un acento más marítimo con respecto a las otras estaciones. Los valores medios mensuales se muestran en la tabla 3.

Si bien la temperatura media mensual normal para Punta Arenas llega a su máximo en enero, alcanzando a los 11,0 °C (Endlicher & Santana 1988), en el periodo estudiado aquí, el máximo promedio lo presentó febrero con una temperatura de 12,7 °C, esto es unos 2,3° C por sobre su temperatura normal. No obstante eso, esta aparente anomalía no indica un cambio o algo relacionado, ya que las variaciones de los promedios mensuales de este mes (y normalmente los otros meses) superan los 4,0 °C. Así, el máximo valor promedio que ha registrado febrero en el último siglo llegó a los 15,0 °C y ocurrió el año 1901, fenómeno que estuvo asociado al SOI (Southern Oscillation Index, en Butorovic 2004<sup>4</sup>). Si bien febrero fue el mes de mayor temperatura en el periodo analizado, esto quedó expresado en todas las estaciones estudiadas, por lo cual no es improbable suponer que estas temperaturas corresponden a un valor superior al normal en todas las localidades.

<sup>4</sup> Butorovic, N. 2004. Análisis de series de tiempo de Punta Arenas y su relación con ENSO. Memoria para optar al título de Licenciado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad de Magallanes, 36 pp.

TABLA 4. Temperaturas extremas en el canal Beagle.

Estación	Isla Diablo		Caleta Lewaia		Pen. Cloue		P. Arenas		P. Williams	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
may-03	-0,2	16,0	-2,0	13,3	0,3	14,9	-2,0	14,1	-	-
jun-03	-2,4	5,4	-4,8	5,8	-1,5	7,0	-5,8	7,8	-4,5	5,6
jul-03	-2,4	12,6	-2,4	9,8	-2,0	10,6	-2,0	11,4	-2,8	10,9
ago-03	-2,9	16,0	-5,3	14,5	-2,0	14,1	-2,4	13,7	-4,1	16,1
sep-03	-2,0	14,1	-3,9	13,7	-1,5	12,2	-2,9	13,7	-3,3	12,2
oct-03	-0,6	19,0	-2,4	17,9	-0,6	14,9	-2,0	15,2	-0,4	13,5
nov-03	-0,2	16,8	-0,6	19,0	0,3	13,7	-0,6	19,8	-	-
dic-03	1,6	19,4	0,3	17,9	2,0	16,0	1,6	17,9	-	-
ene-04	4,6	21,0	3,7	21,7	5,0	16,4	2,9	20,6	-	-
feb-04	3,7	25,2	3,3	27,5	3,3	21,3	1,2	25,2	3,9	25,8
mar-04	1,2	18,7	-1,5	19,4	1,6	16,4	-0,6	18,7	0,5	17,4
abr-04	0,7	18,3	-0,2	18,7	1,6	15,2	-1,1	16,4	0,8	14,5

Por otra parte, el promedio más bajo de Punta Arenas lo registró junio, con una temperatura de 2,0 °C, superior en 1,0 °C al valor normal de ese mes. En todas las estaciones este fue el mes más frío de manera que, apoyados en la alta correlación de los datos, también podemos suponer que este valor está por sobre su promedio normal para este mes, en todas las localidades.

En cuanto a las temperaturas extremas absolutas, durante el periodo analizado, la máxima temperatura alcanzó a los 27,5 °C en Lewaia, a los 25,8 °C en Puerto Williams, a 25,2 °C en Punta

Arenas e isla Diablo y a los 21,3 °C en Cloue. Estas temperaturas ocurrieron el mismo día que se produjo en Punta Arenas, evidenciándose sin embargo, que las temperaturas instantáneas están afectadas por factores locales, manifestándose esto en que el valor más alto alcanzado ocurrió en Lewaia, seguido de Puerto Williams. El tercer valor más alto ocurrió en Punta Arenas e isla Diablo, mientras que la menor máxima absoluta se registró en Cloue. Las temperaturas extremas mínimas, en cambio, tuvieron comportamientos diferentes en cada localidad. Así, mientras Punta Arenas presentó una mínima para este periodo de -5,8 °C en junio de 2003, caleta Lewaia registró una de -5,3 °C en agosto del mismo año.

La tabla 4 muestra las temperaturas extremas alcanzadas en el periodo de estudio para las diversas estaciones consideradas.

Se calculó además la amplitud media diaria de la temperatura para cada estación, encontrándose un máximo valor para la estación de Lewaia con un promedio de 7,6 °C, seguido de Punta Arenas con una amplitud media de 7,2 °C. En tercer lugar está la isla Diablo con un promedio de amplitud diaria de 6,3 °C, mientras que en cuarto lugar está Cloue con 4,6 °C de amplitud. En último lugar y con sólo 2,4 °C de promedio está Puerto Williams. La figura 6 muestra los valores de amplitud media diaria de la temperatura para las estaciones consideradas en este estudio.

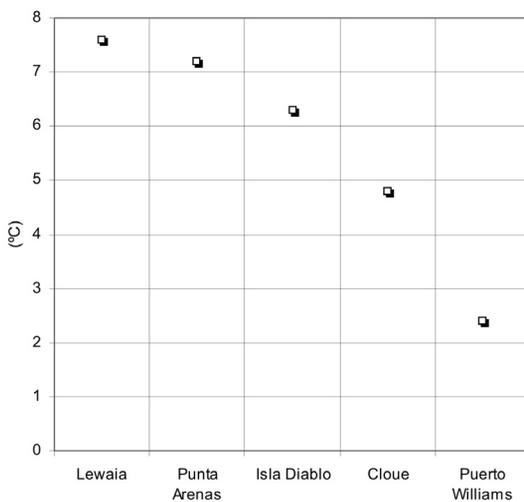


Fig. 6. Amplitud térmica media diaria para cada estación analizada.

TABLA 5. Montos mensuales y anual de precipitación en el canal Beagle.

Meses	Lewaia	Cloue	Isla Diablo	P. Arenas	P. Williams
may-03	34,2	152,4	145,0	72,0	
jun-03	80,2	84,4	144,2	32,2	17,0
jul-03	51,8	221,6	220,4	50,8	30,6
ago-03	44,6	99,8	94,2	11,2	33,2
sep-03	23,0	112,8	66,4	17,2	25,0
oct-03	35,8	121,2	103,8	52,4	40,0
nov-03	66,4	172,2	245,6	14,8	62,8
dic-03	30,4	113,4	88,4	47,6	46,0
ene-04	44,8	187,4	225,0	31,4	58,0
feb-04	32,0	83,4	44,4	25,0	45,0
mar-04	25,2	146,6	97,6	30,0	40,0
abr-04	58,8	134,8	155,2	51,8	39,6
SUMA	527,2	1630,0	1630,2	436,4	437,2
%	32,3	100,0	100,0	26,8	26,8

### Precipitaciones

Para el periodo de un año, el total de precipitaciones alcanzadas en Punta Arenas llegó a los 436,4 mm ( $l/m^2$ ), valor ajustado al normal anual que llega a los 433,0 mm (Endlicher & Santana 1988). En la tabla 5 se muestra los totales mensuales de precipitación alcanzados en cada estación. El análisis diario de los datos no muestra una correlación significativa entre las diferentes localidades, de manera que es claro que cada localidad tiene sus características propias de pluviosidad.

A grandes rasgos se podría afirmar que si un año es normal en precipitaciones, o es lluvioso o seco, podría generalizarse a cualquier localidad de la Patagonia. Sin embargo, esto no se puede establecer con los datos adquiridos en este periodo, de manera que la comparación entre estaciones es sólo una referencia que podrá definirse más claramente cuando se disponga de periodos más extensos de medición en cada estación.

Los montos anuales en caleta Lewaia, península Cloue, isla Diablo y Puerto Williams fueron de 527,2 mm, 1630,0 mm, 1630,2 y 437,2 mm respectivamente. Se puede apreciar que la precipitación de Puerto Williams es muy similar a la de Punta Arenas, pero ésta debe ser mayor ya que no se dispuso del total de lluvias para el mes de mayo de 2003 en esta localidad y debe sumar-

se al total mencionado. Además, de acuerdo a los datos promedios del último siglo en Punta Arenas, el mes de mayo es el que tiene el mayor promedio de precipitación.

Si se analiza la distribución espacial de las precipitaciones en el canal Beagle se aprecia una gradiente clara con dirección oeste a este. Sin embargo, se observa que en Beagle Norte, en la estación de bahía Pía (cuyos datos son solamente de referencia ya que corresponden a un periodo anterior), la precipitación es menor que en isla Diablo, situada más al este. La precipitación ocurrida en Punta Arenas, para el mismo periodo de los datos de bahía Pía, presentó un superávit de un 17 % respecto al monto normal, por lo cual la precipitación promedio normal de Pía podría ser aún inferior.

Otra característica pluviométrica de esta zona, es que, al igual que Punta Arenas, no se aprecia una estacionalidad clara en ellas y más bien éstas se distribuyen en forma homogénea durante todo el año. No obstante esto, es necesario disponer de periodos más extensos para afirmar esto con propiedad.

### Precipitación y temperaturas

La figura 7 muestra los ombrogramas para cada AWS, en los que se observa claramente la gran correlación entre las temperaturas medias mensuales,

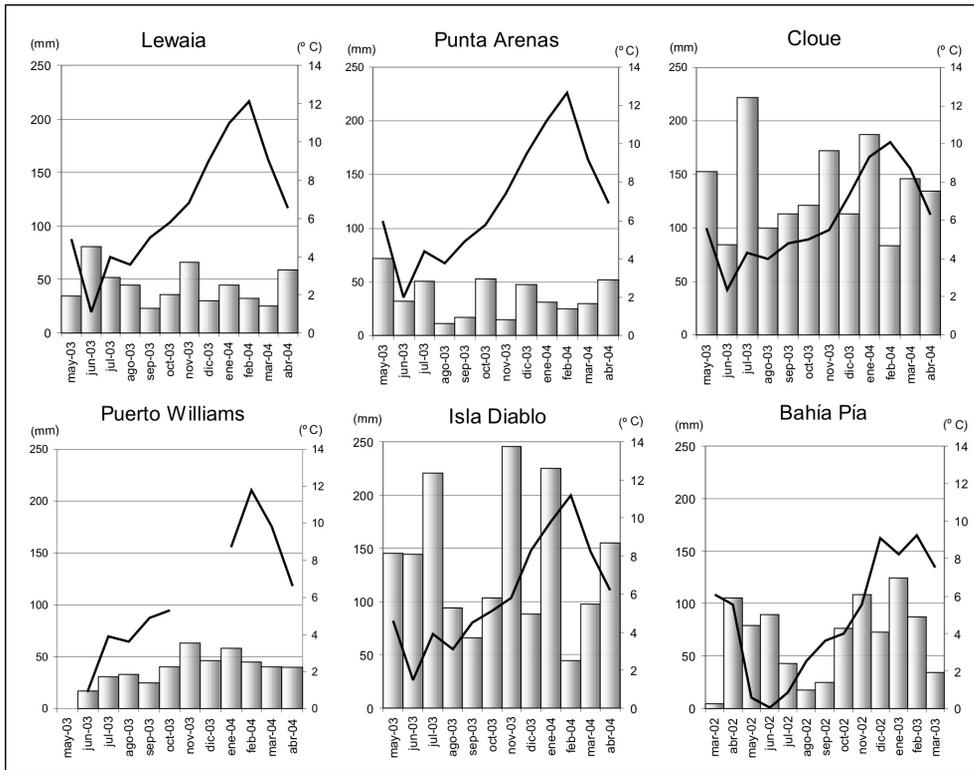


Fig. 7. Temperatura media mensual (° C) y precipitación mensual (mm) de las AWS del canal Beagle y Punta Arenas.

excepto para bahía Pía que está mostrando otro periodo de tiempo. Es notable en aquellas localidades donde la pluviosidad es alta, que la temperatura tiende a reducir su amplitud media mensual y ser más homogénea, es decir, la temperatura sube menos en verano, pero baja menos también en invierno. Los contrastes más notorios dentro del canal se observan entre las localidades de península Cloue con caleta Lewaia.

La estación de Pía se muestra sólo como referencia para dar una idea de los montos de precipitación que se registran en esa localidad.

*Radiación Solar*

La información de radiación solar está limitada a radiación PAR, es decir, aquella radiación que está en rango óptico del espectro solar (0,4

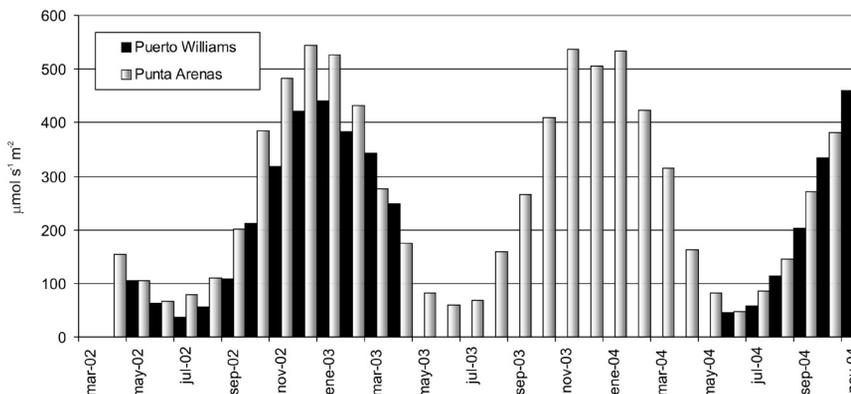


Fig. 8. Radiación PAR mensual en Punta Arenas (en barras claras) y Puerto Williams (en barras negras).

$\mu\text{m}$  a  $0,7 \mu\text{m}$ ) y que es el rango de la radiación que utiliza el proceso de fotosíntesis de las plantas. Esto es debido a las características de los sensores que incluyeron inicialmente las estaciones. Para el siguiente periodo estos sensores fueron cambiados por pirheliómetros, cuya medición abarca un rango más amplio del espectro solar ( $0,4 \mu\text{m}$  a  $1,1 \mu\text{m}$ ).

La figura 8 muestra la radiación PAR (en  $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ ) para las localidades de Punta Arenas y de Puerto Williams durante el periodo abril de 2002 a diciembre de 2004. Claramente el régimen de radiación solar es estacional y los valores máximos ocurren en los meses de diciembre, enero y febrero, mientras que los mínimos promedios se producen en los meses de mayo, junio y julio. En ambas localidades se puede apreciar la homogeneidad de esta variable de año en año y en relación a los máximos y mínimos valores medios mensuales. En la estación de Puerto Williams el sensor presentó fallas importantes en el periodo 2003-2004. En la figura 8, se observa que tanto los valores máximos en los meses de verano como los mínimos de invierno en

Puerto Williams son inferiores a los alcanzados en Punta Arenas. Los promedios mensuales alcanzados en la localidad de Puerto Williams son inferiores a los promedios obtenidos en Punta Arenas y esto se debe, en primer lugar, a la mayor latitud en que se encuentra en relación a Punta Arenas y en segundo lugar, a las diferentes condiciones de nubosidad entre ambas localidades.

#### *Velocidad y dirección del viento*

En relación con este parámetro, las estaciones que dispusieron de un sensor de velocidad del viento fueron Punta Arenas, bahía Pía, canal Brecknock y Puerto Williams. Sin embargo, sólo fue posible obtener información de velocidad y dirección del viento en las dos primeras y para el periodo 2004-2005.

La figura 9A muestra la velocidad del viento en Puerto Williams y en la 9B se muestra la de Punta Arenas, para el período julio de 2004 a marzo de 2005. En general se observa que el viento es constante, sin periodos significativos de calma

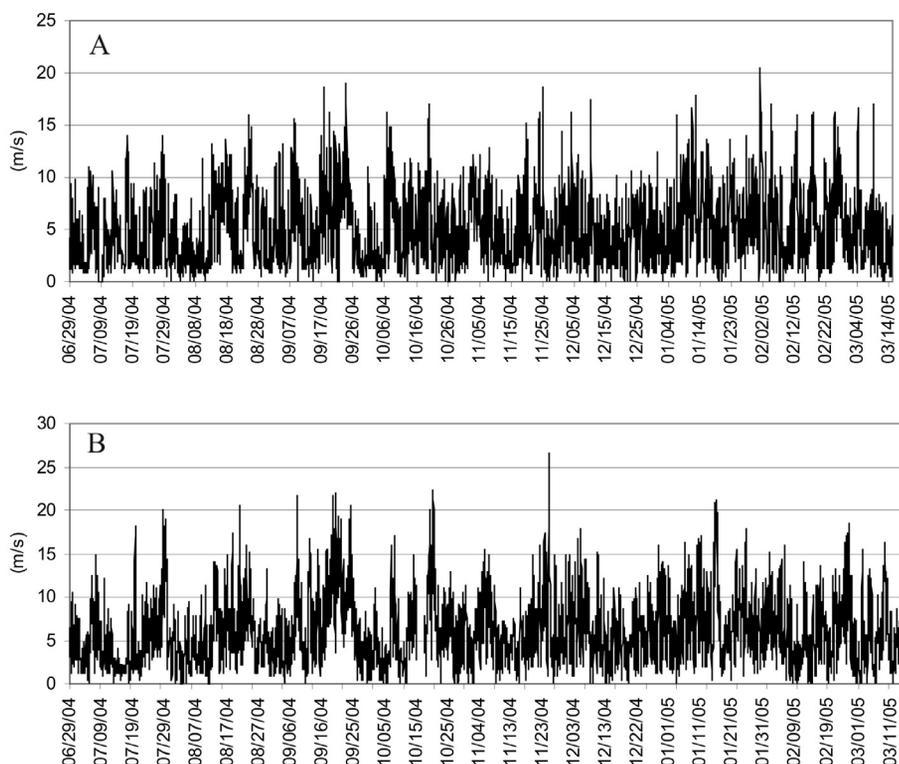


Fig. 9. Velocidad del viento en Puerto Williams (A) y Punta Arenas (B), correspondientes a valores máximos en periodos de 30 minutos.

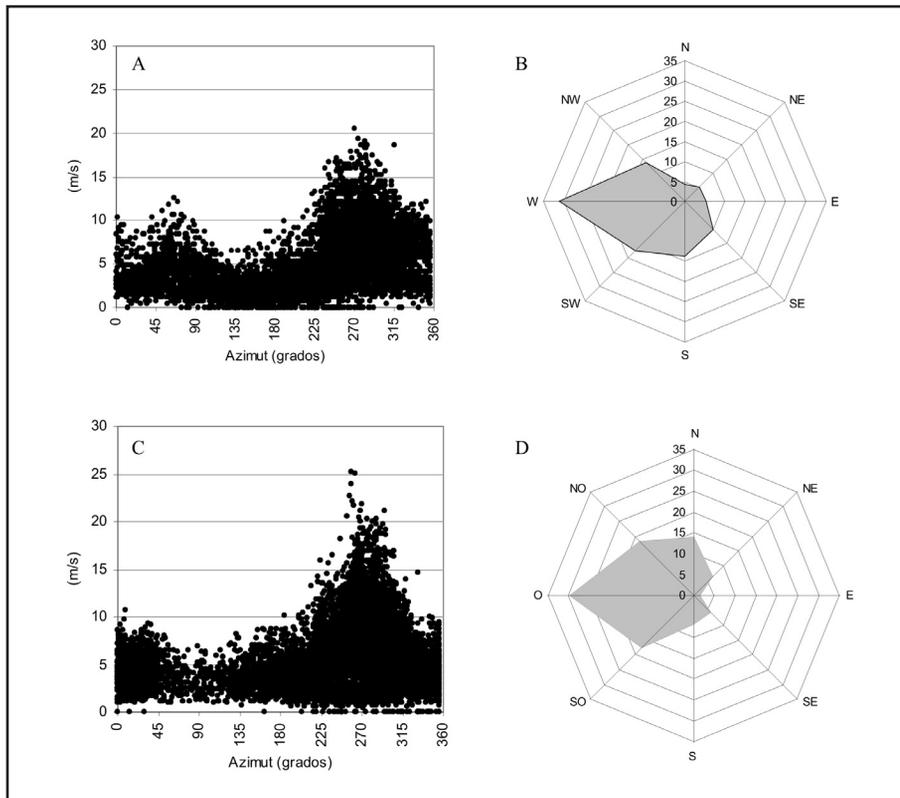


Fig. 10. Velocidad del viento según su dirección y rosa de frecuencia de vientos (%) en Puerto Williams (A y B respectivamente) y Punta Arenas (C y D respectivamente).

y una leve estacionalidad haciéndose mayor en los meses de primavera y verano como producto de la mayor insolación de esta época. Esta característica debería quedar establecida más claramente con periodos más largos de registro. En Puerto Williams las velocidades más frecuentes fluctúan entre los 2 y 10 m/s, alcanzándose valores máximos de más de 20 m/s, mientras que en Punta Arenas las velocidades del viento alcanzan valores más frecuentes entre los 5 y 8 m/s. Las velocidades máximas superan los 30 m/s y al igual que en Puerto Williams, no se observan claramente periodos significativos de calma. Si bien los promedios alcanzados en Punta Arenas son mayores, esta diferencia es relativa, ya que depende mucho del entorno en el cual esté instalado el sensor. En Punta Arenas este sensor está ubicado a una altura de 2,5 m s.n.s. mientras que en Puerto Williams éste está a 8 m s.n.s.

El análisis de las velocidades del viento según su dirección se acotan al periodo julio de 2004 a marzo de 2005, lapso de tiempo que se

dispuso sólo para las estaciones de Puerto Williams y Punta Arenas.

Las figuras 10, A y C muestran la velocidad del viento según su dirección, esta última expresada en grados de azimuth, para las localidades de Puerto Williams y Punta Arenas respectivamente. Cada punto representa la velocidad media en un periodo de media hora, asociada a la dirección promedio de ese mismo lapso de tiempo. Se observa claramente en éstas que las máximas velocidades corresponden al cuadrante oeste y noroeste, mientras que para la dirección sureste las velocidades son notablemente menores en Puerto Williams y en el cuadrante este para Punta Arenas. Además se aprecia un leve aumento de las velocidades en el noreste y este en el caso de Puerto Williams. Las figuras 10, B y D muestran la rosa de frecuencia del viento de ocho direcciones para Puerto Williams y Punta Arenas respectivamente. En ambos casos la dirección predominante, es el oeste, seguida de las del noroeste en Williams y del suroeste en Punta Arenas.

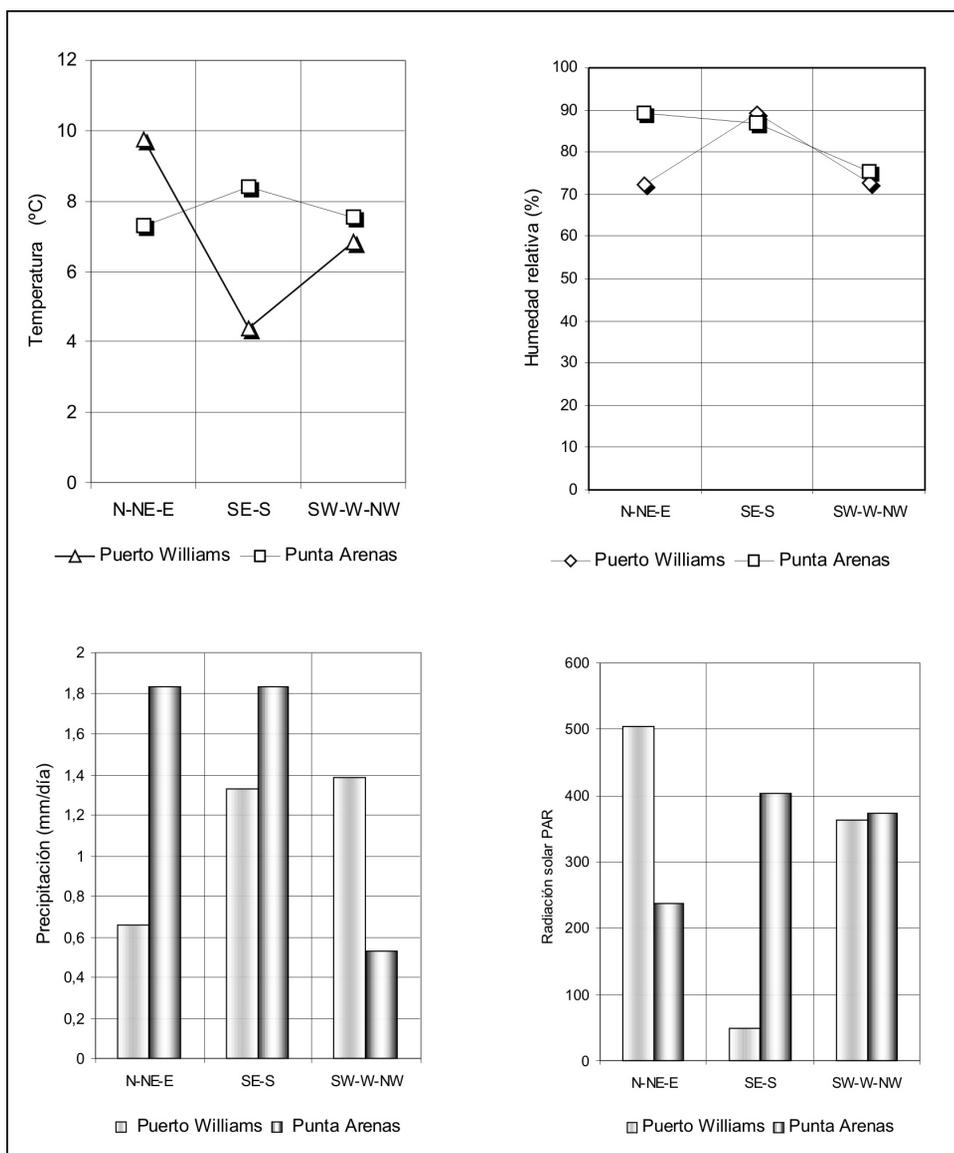


Fig. 11. Variación de la temperatura (°C), la humedad relativa (%), la precipitación (mm/día) y la radiación solar PAR (μE), en función de la dirección del viento.

*Temperatura, humedad, radiación y precipitación en relación a la dirección del viento*

Al igual que la velocidad del viento, este análisis está basado en la información de velocidad y dirección del viento en conjunto, disponibles sólo para las localidades de Puerto Williams y Punta Arenas, y correspondientes al periodo común entre estas dos estaciones mencionadas anteriormente.

De esta forma, la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y la radiación solar se analizaron según la dirección del viento. Así, se separaron en tres tipos principales de patrones de tiempo a escala sinóptica: los vientos provenientes de las direcciones suroeste, oeste y noroeste, conocidos también como *westerlies*; los vientos del norte, noreste y este, también llamados *northerlies* y los de las direcciones sureste y sur, llamados *southerlies* (Schneider *et al.* 2003). Las estaciones

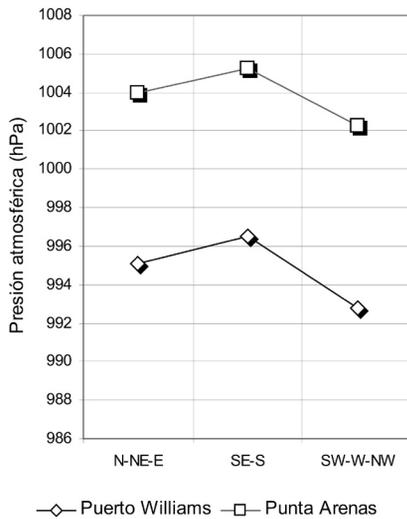


Fig. 12. Variación de la presión atmosférica media en función de la dirección del viento.

que dispusieron de la medición de la dirección del viento fueron: Puerto Williams y Punta Arenas, y sólo para el periodo 2004-2005.

En el análisis de las temperaturas respecto a las direcciones del viento, se desprende que las mayores temperaturas de Williams ocurren cuando los vientos predominan desde las direcciones norte, noroeste y este, superando los promedios obtenidos en las mismas condiciones en Punta Arenas. Por su parte, cuando las direcciones provienen de los otros cuadrantes, la temperatura media en Punta Arenas supera a la de Williams, mientras que cuando los vientos provienen del cuadrante oeste, las temperaturas son similares en ambas localidades.

Las precipitaciones, por su parte, tienen mayores montos en Puerto Williams cuando las direcciones del viento son del suroeste, oeste, noroeste, aunque también de importancia los montos provenientes de sureste y sur. En Punta Arenas en cambio, las lluvias de menores montos vienen del cuadrante oeste dejando de manifiesto el efecto de *föhn* que produce la cordillera de Los Andes, situada al occidente de esta localidad, efecto que no ocurre en Puerto Williams, donde la cordillera cambia su rumbo a una dirección más noroeste-sureste, frenando los vientos del suroeste.

En cuanto a la humedad relativa, la diferencia entre estas localidades la marca el viento

proveniente del norte, noreste y este, alcanzándose los mayores promedios en Punta Arenas, producto de la temperatura media más baja. Esta menor temperatura hace que la masa de aire se aproxime más a la presión de saturación, alcanzándose mayores valores en esta variable atmosférica.

La radiación solar por su lado, varía primeramente por ubicación geográfica, siendo menor la recibida en Puerto Williams. En segundo término, la radiación está afectada por la nubosidad y a este respecto, se observa que cuando los vientos soplan del sureste y sur, la radiación en Punta Arenas es mayor que con otras direcciones de viento, mientras que en Puerto Williams es mínima. Sin embargo, en esta localidad la radiación es máxima cuando la dirección del viento es del cuadrante norte y noreste. Cuando los vientos provienen del cuadrante oeste, la radiación solar en ambas localidades es similar.

La figura 11 muestra la relación de las diversas variables registradas en función de la dirección del viento.

Si comparamos la presión atmosférica media entre ambas localidades como una función de la dirección de los vientos, se observa que el comportamiento es igual en ambas localidades, con la diferencia de unos 9 hPa menos en Puerto Williams que en Punta Arenas. Así también, se puede observar en este análisis que la presión atmosférica es mayor cuando los vientos vienen del sureste y del sur, seguido de los vientos del norte, noreste y este. Los menores promedios de presión vienen asociados a los vientos del cuadrante oeste, como lo muestra la figura 12.

## CONCLUSIONES

Las temperaturas de la región del canal Beagle son inferiores a las registradas en Punta Arenas, aunque por condiciones locales se pueden registrar temperaturas máximas instantáneas que superen a esta última localidad.

Existe una correlación alta en la temperatura media diaria entre todas las estaciones ubicadas en el canal Beagle y éstas a su vez, con la temperatura media diaria registrada en Punta Arenas.

Los antecedentes previos de Pía, Puerto Williams y Punta Arenas, recolectados en la temporada 2002-2003, ya indicaban una alta correlación en la temperatura media diaria, al igual que los

datos del Gran campo Nevado en los 53° S y Punta Arenas, presentados por la expedición alemana del año 2002.

Esto indica que, al menos, de la latitud 53° S, hasta más al sur de los 54° S de la Patagonia, la variación de temperaturas medias de Punta Arenas representa una referencia muy confiable para asumir las variaciones en las localidades ubicadas en esta parte de la región.

De esta manera, la tendencia térmica del último siglo en Punta Arenas, que es al enfriamiento, se puede aplicar, al menos, a toda la parte sur de la Patagonia. El análisis de otras estaciones, más al norte de la región, indicará si esta correlación con Punta Arenas es alta como las estaciones del sur.

La pluviosidad del canal Beagle es variable y presenta un claro gradiente en sentido oeste-este, en el cual los montos disminuyen rápidamente desde Cloué hasta Puerto Williams. Según los antecedentes históricos, esta precipitación sube nuevamente hacia el este, en la isla Nueva. Las estaciones con más precipitación presentan una menor variación en la temperatura, evidenciando su carácter más marítimo.

La radiación solar muestra ser muy estable de año en año y los antecedentes de Puerto Williams muestran un promedio inferior al de Punta Arenas, por diferencias de latitud principalmente y del promedio de nubosidad.

El viento en toda la Patagonia es alto y no se distingue claramente una estacionalidad en esta variable y aunque los valores son fácilmente afectados por condiciones locales, se aprecia que las velocidades máximas superan frecuentemente los 20 m/s.

Referente a la dirección del viento, tanto para Punta Arenas como para Williams, las mayores velocidades y frecuencias provienen del cuadrante oeste, siendo las diferencias más notables entre estas localidades los vientos de dirección norte y este.

La dirección de los vientos juega un papel importante en las demás variables atmosféricas. Así, la temperatura se comporta en forma particular en cada localidad, ocurriendo las mayores diferencias entre Punta Arenas y Puerto Williams, cuando los vientos provenientes de las direcciones sur y sureste, seguidos de los vientos del norte al este.

En el primero de estos casos, la temperatura de Punta Arenas es mayor a la de Puerto Williams,

mientras que en el segundo caso el promedio de Williams supera al de Punta Arenas. Las precipitaciones tienen comportamientos diferentes entre las localidades de Punta Arenas y Puerto Williams, según la dirección de los vientos. Mientras Punta Arenas recibe sus mayores montos cuando los vientos vienen del norte a sur, rotando en sentido este, Puerto Williams registra sus mayores montos con vientos de dirección sur a noroeste. La razón es la posición diferente que tiene la cordillera de Los Andes en cada localidad. Los menores montos de precipitación registrados en Punta Arenas evidencian el efecto que la cordillera de Los Andes provoca en las precipitaciones cuando el viento viene del cuadrante oeste.

La humedad relativa como una función de la dirección del viento tiene un comportamiento similar entre ambas localidades excepto cuando los vientos soplan desde las direcciones norte, noreste y este. Como producto de la mayor temperatura que alcanza Puerto Williams cuando los vientos soplan de este cuadrante, la humedad relativa promedio es menor que el alcanzado en Punta Arenas.

La radiación solar, si bien es menor en Puerto Williams por condiciones de latitud, se ve reducida además por nubosidad cuando el viento sopla de las direcciones sureste y sur, mientras que, cuando el viento viene del norte al noreste el promedio de radiación se incrementa, producto de la menor nubosidad, llegando a ser superior al de Punta Arenas.

Otros análisis muestran que la presión atmosférica en Puerto Williams se comporta igual que en Punta Arenas, pero con una diferencia de aproximadamente unos 9 hPa menor, siendo para ambas localidades los promedios mayores cuando el viento viene del sur, mientras que debido a la ubicación de esta localidad más cerca del centro del cinturón de bajas presiones subpolares en el paso Drake, el valor medio es menor cuando los vientos soplan del cuadrante oeste.

Finalmente, durante la campaña 2005 se espera recolectar información de Pía, de punta Eugenia, al oriente de isla Navarino y del sector del canal Brecknock, además de registros de dirección del viento en un número mayor de estaciones, que ayudarán a un análisis más detallado de las variables en las otras localidades consideradas aquí.

## LITERATURA CITADA

- Aceituno, P., H. Fuenzalida & B. Rosenblüth 1993. Climate along the extratropical west coast of South America. In H. A. Mooney, E. R. Fuentes, and B. I. Kronberg, eds., *Earth System Responses to Global change: Contrasts between North and South America*. San Diego, CA: Academic Press, 61-69.
- Capel, J. J. 1983. Reflexiones geográficas acerca del clima frío oceánico del hemisferio sur, Punta Arenas (Chile). *Revista de Geografía Norte Grande*. Vol. 10: 3-16.
- Carrasco, J., G. Casassa & A. Rivera 1998. Climatología actual del campo de hielo sur y posibles cambios por el incremento del efecto invernadero. *Anales Instituto Patagonia*, Serie Cs. Nat. (Chile), Vol. 26: 119-128.
- Carrasco, J., G. Casassa & A. Rivera 2000. Meteorological in situ observations in the southern ice cap, Patagonia. Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Santiago, Chile: American Meteorological Society, 300-301.
- Casassa, G. 1985. Clasificación del clima en la región austral de Chile. *Trapananda*. Vol. 5: 174-175.
- Casassa, G., A. Rivera & J. Carrasco 2000. Glacier variations in the southern Patagonia Icefield and relations with climate. Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Santiago, Chile: American Meteorological Society, 312-313.
- Cerveny, R. S. 1998. Present Climates of South America. In J.E. Hobbs, J. A. Lindesay, and H. A. Bridgman, eds., *Climates of the Southern Continents: Present Past and Future*. New York, NY: John Wiley, 107-135.
- Coronato, F. & A. Bisigato 1998. A temperature pattern classification in Patagonia. *International Journal of Climatology* 18: 765-773.
- Daly, J. 2000. Report to the Greening Earth Society "The Surface Record: 'Global Mean Temperature' and how it is determined at surface level" in [www.greeningearthsociety.org/Articles/2000/surface1.htm](http://www.greeningearthsociety.org/Articles/2000/surface1.htm)
- Endlicher, W. 1991. Zur Klimageographie und Klimaökologie von Südpatagonien. 100 Jahre klimatologische Messungen in Punta Arenas. *Freiburger Geographische Hefte*. University of Freiburg, Germany. 32: 161-211.
- Endlicher, W. & A. Santana 1988. El clima de la Patagonia y sus aspectos ecológicos. Un siglo de mediciones climatológicas en Punta Arenas. *Anales Instituto Patagonia*, Serie Cs. Nat. (Chile) 18: 57-86.
- Miller, A. 1976. The Climate of Chile. In Schwerdtfeger, (ed). *Climate of Central and South America*. World Survey of Climatology. Amsterdam. The Netherlands: Elsevier 113-146.
- Pisano, E. 1977. Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena. I.- Comunidades vegetales entre las latitudes 52° y 56° S. *Anales Instituto Patagonia* (Chile) 8: 121-250.
- Porter, C. & A. Santana 2003. Rapid 20th Century Retreat of Ventisquero Marinelli in the Cordillera Darwin Icefield. *Anales Instituto Patagonia* (Chile) 31: 17-26.
- Rosenblüth, B., G. Casassa & H. Fuenzalida 1985. Recent climatic changes in Western Patagonia. *Bulletin of Glacier Research*, 127-132.
- Rosenblüth, B., H. Fuenzalida & P. Aceituno 1997. Recent temperature variations in southern South America. *International Journal of Climatology*, 17: 67-85.
- Schneider C., M. Glaser, R. Kilian, A. Santana, N. Butorovic & G. Casassa 2003. Weather observations across the southern Andes at 53°S. *Physical Geography*, 24(2): 97-119.
- Tuhkanen, S. 1992. The Climate of Tierra del Fuego from a vegetation geographical point of view and its ecoclimatic counterparts elsewhere. *Acta Botanica Fennica*, Vol. 145: 5-107.
- Weischet, W. 1985. Climatic constraints for the development of the far south of Latin America. *Geo Journal*, 11: 79-87.
- Weischet, W. 1996. Regionale Klimatologie Teil 1, Die Neue Welt. Amerika, Neuseeland, Australien. Stuttgart, Germany: B. G. Teubner.
- Zamora, E. & A. Santana 1979a. Características climáticas de la costa Occidental de la Patagonia entre las latitudes 46°40' y 56°30' S. *Anales Instituto Patagonia* (Chile) 10: 109-146.
- Zamora, E. & A. Santana 1979b. Oscilaciones y tendencias térmicas en Punta Arenas entre 1888 y 1979. *Anales Instituto Patagonia* (Chile) 1979. 10: 147-154.