

# IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL FIR AUSTRAL-CHILE

Dirección Meteorológica de Chile  
Sección Climatología  
Oficina de Cambio Climático



# **IMPACTO DEL CAMBIO CLIMATICO EN EL FIR AUSTRAL-CHILE**

***ELABORADO POR CAROLINA VILCHES DELGADO***

***Carolina.vilches@dgac.gob.cl***

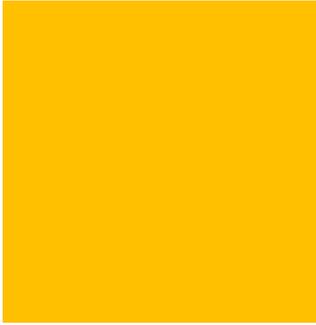
***DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE***

***SECCIÓN CLIMATOLOGÍA***

***OFICINA DE CAMBIO CLIMÁTICO***

***MAYO 2020***

# CONTENIDOS



## 4 INTRODUCCIÓN

## 5 DATOS Y METODOLOGÍA

## 8 CLIMA ZONA AUSTRAL

Temperatura  
Precipitación  
Viento

## 23 AEROPUERTO DE PUNTA ARENAS

Base de la Altura de la nubosidad  
Visibilidad  
Tiempo Presente

## 31 DENSIDAD DE ALTURA

## 33 CONCLUSIONES

## 34 REFERENCIAS

# INTRODUCCIÓN

Los eventos extremos como olas de calor e inundaciones también han afectado a la aviación, especialmente a aquellos aeropuertos que se construyeron cerca del mar, ya que, a medida que aumenta el nivel del mar en los océanos los pone en riesgo de inundación. Además, el aumento de las temperaturas impacta en el rendimiento de los aviones, por lo que necesitan menor peso para despegar o longitudes de pista más largas, lo cual implica modificaciones en los procesos aeronáuticos (Puempel y Williams, 2016).

En Chile los servicios de tránsito aéreo están divididos en seis Regiones de Información de Vuelo (FIR); FIR Antofagasta, FIR Santiago, FIR Puerto Montt, FIR Punta Arenas, FIR Isla de Pascua y FIR Antártica, los cuales cuentan con diversidad de climas, debido a la complejidad y extensión del territorio chileno. Es por este motivo, que la navegación aérea está expuesta a los fenómenos meteorológicos tanto en superficie como en los niveles altos, por lo cual, se hace imprescindible conocer los cambios que han sufrido las variables meteorológicas en el transcurso del tiempo para tomar las medidas necesarias y adaptarse al cambio de clima.

En base a esto, es que se genera la inquietud de evaluar el Impacto del Cambio Climático en el FIR Punta Arenas (Austral), mediante estaciones meteorológicas de superficie, considerando las variables de temperatura, viento y precipitación, además de las variables aeronáuticas del Aeropuerto Carlos Ibáñez del Campo en Punta Arenas, como una manera de contribuir al conocimiento de las variaciones climáticas, sirviendo de herramienta para actualización de procedimientos que aseguren la eficacia y la seguridad en la navegación aérea.



## DATOS Y METODOLOGÍA

### Delimitación Geográfica

El FIR Austral, abarca desde el límite norte 47°00' S hasta el límite sur en 60°00' S y desde el límite este la frontera chileno-argentina con el límite oeste los 90°00' oeste. Además, los límites verticales son tierra y/agua hasta el nivel de vuelo máximo operativo. Las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio corresponden al FIR Austral y pertenecen a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y a la Dirección General de Aguas (DGA), [Fig. 1] y [Tabla 1]. Cabe mencionar que en este estudio se utilizó las estaciones de Coyhaique y Balmaceda, que si bien no pertenecen al aérea de operaciones del FIR Austral, eran necesarias para complementar el proceso de homogenización, al contar con series más continuas de información por ubicarse en la zona austral.

### Datos y Metodología

Las variables meteorológicas utilizadas en este estudio son precipitación, viento y temperatura (media, máxima y mínima), desde el 01 de enero de 1990 hasta el 31 de diciembre 2017. La temperatura media utilizada corresponde a la temperatura media aritmética obtenida de la siguiente ecuación:

$$T_{med} = \frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}$$

Las estaciones de Puerto Natales, Puerto Williams y Lord Cochrane fueron rellenas de anuarios de la DMC en distintos años y en las variables de temperatura y precipitación. Luego, mediante el paquete estadístico

Climatol del software RStudio, se realizó la homogenización necesaria para evaluar la discontinuidad de las series, debido a datos faltantes o a factores externos; como el cambio en la ubicación de la estación, el cambio de instrumentos, o de metodología en la observación etc, usando el procedimiento SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) Alexandersson, 1986; Alexandersson and Moberg, 1997. Los resultados de la aplicación del test a las estaciones del estudio, se muestran en la Tabla 2, las cuales están corregidas desde el salto en la serie hacia atrás. Finalmente, Climatol entrega las series rellenas, por lo que se cuenta con todos los datos diarios durante el período de estudio.

En el caso de las rachas de viento, la homogenización se realizó mediante el paquete estadístico TREND, debido a discontinuidad en la serie, producto del cambio de instrumento que medía la intensidad del viento, lo cual fue contrastado con información proporcionada por el personal del aeródromo de Punta Arenas.

En cuanto a la información aeronáutica, la altura de la base de las nubes, la visibilidad, el tiempo presente y las rachas de viento, fueron obtenidas desde el reporte meteorológico METAR (Meteorological Aerodrome Report), que se emite de forma rutinaria en el aeropuerto de Punta Arenas.

La tendencia lineal analizada en todas las variables meteorológicas de este estudio, se obtuvo a través del método de mínimos

cuadrados con los valores anuales y estacionales, aplicándose el test estadístico Mann Kendall para determinar su significancia estadística al nivel del 5% de confianza en las variables de temperatura y precipitación. La

significancia del viento se determinó mediante el test estadístico T-Student evaluado al 5% de confianza.

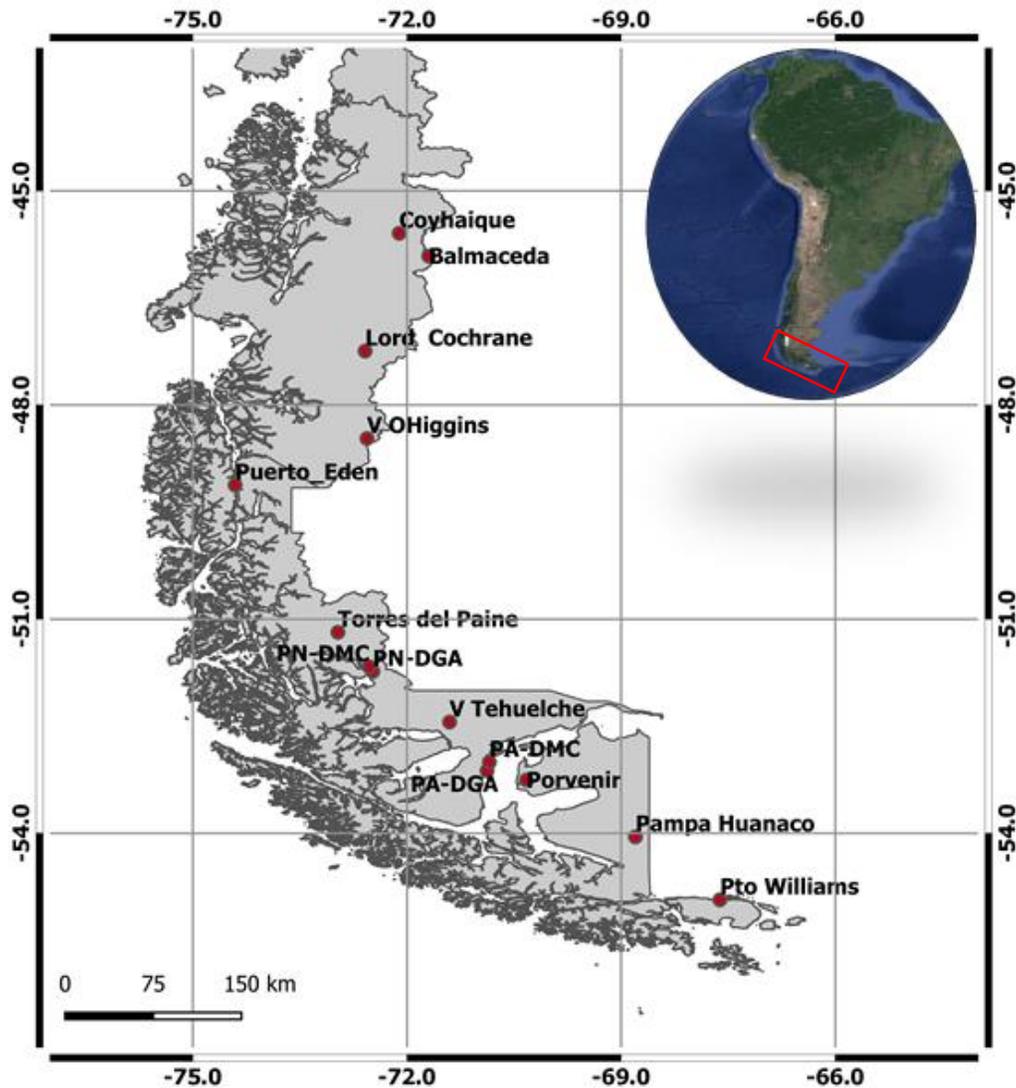


Fig. 1: Distribución espacial de las estaciones del FIR Austral.

Nombre	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Fuente
Coyhaique	45°35'37"	72°6'30"	299	DMC
Balmaceda	45°54'45"	71°41'38"		DMC
Lord Cochrane	47°14'37"	72°52'10"	204	DMC
Punta Arenas_DGA	53°7'23"	70°52'37"	5	DGA
Villa O'Higgins	48°28'9"	72°33'32"	270	DGA
Puerto Edén	49°7'21"	74°24'24"	10	DMC
Torres del Paine	51°11'2"	72°58'0"	25	DGA
Puerto Natales_DMC	51°40'1"	72°31'43"	69	DMC
Puerto Natales_DGA	51°44'0.9"	72°28'41"	45	DGA
Villa Tehuelche	52°26'28"	71°24'7"	190	DGA
Punta Arenas_DMC	53°0'11"	70°50'41"	1500	DMC
Porvenir	53°15'12"	70°19'33"	25	DMC
Pampa Huanaco	54°2'58"	68°47'58"	150	DMC
Puerto Williams	54°55'53"	67°36'56"	15	DMC

Tabla 1: Ubicación y fuente de las estaciones meteorológicas del estudio.

Variable meteorológica	Estación Meteorológica homogenizada
Temperatura Máxima	Pampa Huanaco Puerto Natales_DGA Villa Tehuelche
Temperatura Mínima	Punta Arenas_DGA Villa Tehuelche
Precipitación	Pampa Huanaco

Tabla 2: Estaciones meteorológicas homogenizadas en el estudio del FIR Austral.

## CLIMA ZONA AUSTRAL

La zona austral se caracteriza por un terreno desmembrado por la acción de hielos y mar, provocando que la Cordillera de los Andes se presente bastante fragmentada en esta parte del territorio, adquiriendo una posición más central dejando de ser el límite con Argentina como en el resto del país. Esta posición de la Cordillera de los Andes, provoca que la zona austral se divida en dos sectores con características distintas en cuanto al clima; el sector occidental y el sector oriental. Ambos sectores, difieren principalmente en la cantidad de precipitación registrada, debido a que las masas de aire provenientes del Océano Pacífico, al elevarse para cruzar la cordillera, se enfrían adiabáticamente condensando gran parte de su humedad retenida en forma de vapor en el lado de barlovento. Al cruzar la cordillera de Los Andes en dirección hacia el este, las masas de aire descienden y experimentan un aumento en su temperatura, debido a un calentamiento adiabático, lo que se traduce en una notable disminución de las precipitaciones en relación a las registradas en el lado occidental del cordón montañoso. De esta manera, los montos de precipitación a sotavento, alcanzan menos del 10% de los montos registrados a barlovento (Devynck 1971; Jerez & Arancibia 1972 citado por Santana & Butorovic, 2009). El viento del oeste, también juega un rol fundamental en la cantidad de precipitación al oeste de la Cordillera, ya que existe una fuerte correlación positiva, entre el aumento de los vientos del oeste y el aumento de la precipitación en el lado oeste de la cordillera de los Andes. (Garreaud, 2013). Esto se evidencia, en la

precipitación en Puerto Edén, que registra un total anual de 2900 (mm) ubicada en el sector occidental, mientras que, en Villa O'Higgins, ubicada al sector oriente de la Cordillera, se registran sólo 800 (mm) de precipitación al año. [Tabla 3].

Los eventos de precipitación, se concentran en distintos períodos del año los cuales varían latitudinalmente, es decir, en las estaciones del norte de la zona austral, (Coyhaique, Balmaceda y Lord Cochrane) se originan durante todo el año, sin embargo, durante los meses de invierno, aumenta la cantidad de precipitación registrada. En las estaciones del centro de la zona austral, como Puerto Natales y Villa Tehuelche, la cantidad de precipitación no es definida estacionalmente, ya que tiene un comportamiento similar durante todo el año. Sin embargo, en las estaciones del extremo sur como Puerto Williams y Pampa Huanaco, la mayor cantidad de precipitación se concentra durante el verano, disminuyendo hacia el invierno. [Fig.2]. Esta disminución de la precipitación al sur de los 48°S, durante el invierno, coincide con el debilitamiento estacional de los vientos del oeste en esta zona (Garreaud, 2013).

Con respecto a la temperatura media, su ciclo estacional es bastante definido y coincidente en todas las estaciones del FIR Austral, con mínimos de temperatura durante el invierno (junio, julio) y máximos durante el verano (diciembre, enero). [Fig.2]. Sin embargo, el valor de la temperatura media anual no coincide en todas las estaciones del FIR, ya que disminuye latitudinalmente, es decir, en

estaciones del norte de la zona austral como Lord Cochrane y Villa O'Higgins bordea los 8°C, disminuyendo hacia el centro, en Punta Arenas, con temperaturas cercanas a los 7°C y hacia el extremo sur, escasamente alcanza los 5°C de temperatura en Pampa Huanaco. [Tabla 3]. La temperatura media anual, al igual que la precipitación también se correlaciona con el viento del oeste predominante en la

zona austral, afectando su estacionalidad. Esto es, un flujo intenso del oeste durante todo el año, implica un invierno menos frío y un verano más fresco, reduciendo la amplitud anual de la temperatura media. Por el contrario, un flujo de viento del oeste más débil implica un invierno más frío y un verano más cálido, aumentando así, la amplitud térmica durante el año en la zona austral (Garreaud, 2013).

Estaciones	Temperatura Media [°C]	Precipitación [mm]
Coyhaique	8.8	858.8
Balmaceda	7.1	381.8
Lord Cochrane	8.3	540.6
Villa O'Higgins	7.6	817.4
Puerto Edén	7.4	2947
Torres del Paine	7.7	681.2
Puerto Natales-DMC	5.6	447.9
Puerto Natales-DGA	6.6	455.4
Villa Tehuelche	4.4	266.2
Punta Arenas-DMC	6.5	306.2
Punta Arenas-DGA	6.7	430.6
Porvenir	6.6	231.4
Pampa Huanaco	5.1	290.4
Puerto Williams	5.9	415.4

Tabla 3: Temperatura media anual y precipitación media anual entre 1990-2017 para las estaciones meteorológicas del estudio

# CLIMOGRAMAS ZONA AUSTRAL

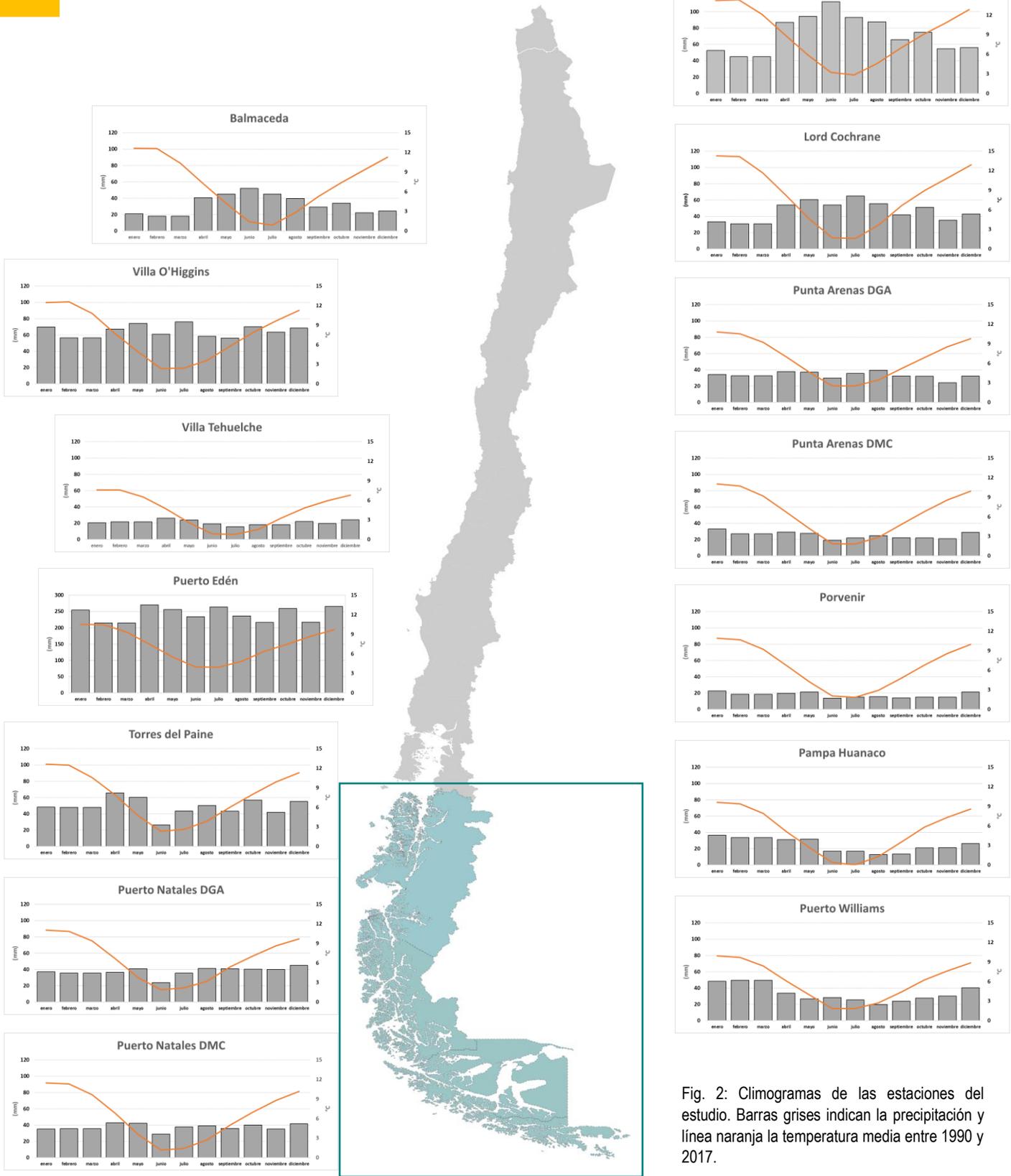


Fig. 2: Climogramas de las estaciones del estudio. Barras grises indican la precipitación y línea naranja la temperatura media entre 1990 y 2017.

## TEMPERATURA

### Temperatura mínima y máxima

Las temperaturas extremas en la zona austral presentan una modesta variación latitudinal en el promedio de temperatura del periodo climatológico comprendido entre 1990 y el 2017. En el caso de las temperaturas mínimas, en ninguna de las estaciones del FIR sobrepasan los 5°C, siendo Puerto Edén la más cercana con un promedio climatológico de 4.6°C, mientras que, Villa Tehuelche, es la estación con menor temperatura promedio con sólo 0.4°C. Con respecto a la temperatura máxima promedio, en Lord Cochrane, se obtiene la más alta del FIR, con 13.3°C, en tanto, en Villa Tehuelche se origina la más baja con 8.4°C, convirtiéndose en la estación con temperaturas extremas más bajas de la zona austral [Fig.3].

Por otro lado, al analizar el comportamiento de las temperaturas extremas desde 1990 hasta el 2017 en todas las estaciones del FIR Austral, se observa que hasta el año 2003, tanto la temperatura mínima como la temperatura máxima se presentaron más bajas que el promedio climatológico [Fig. 4], a excepción del año 1998, en que ambas temperaturas sobrepasaron el promedio en cerca de 0.8°C. Sin embargo, a partir del 2003 predominan las temperaturas más altas que el promedio, llegando incluso durante el 2016, a sobrepasar en 1.2°C al promedio de temperatura máxima, convirtiéndose en el año más cálido desde 1990.

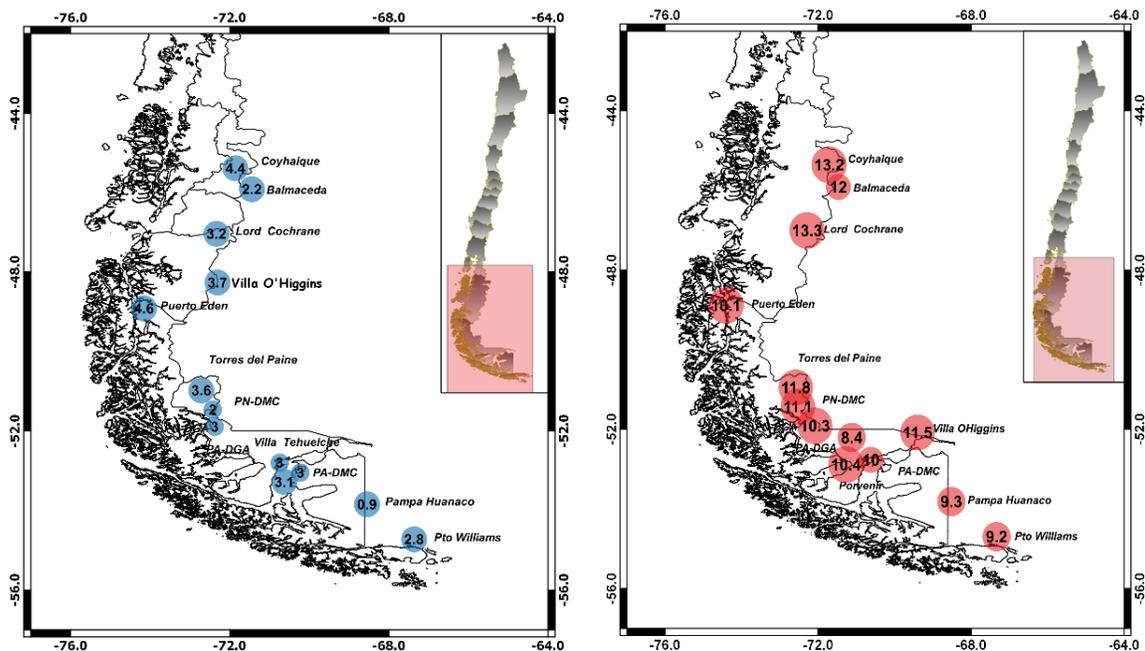


Fig 3: Panel izquierdo: Distribución espacial del promedio de temperatura mínima, Panel derecho: Distribución espacial del promedio de temperatura máxima entre 1990 y 2017 en todas las estaciones del FIR Austral.

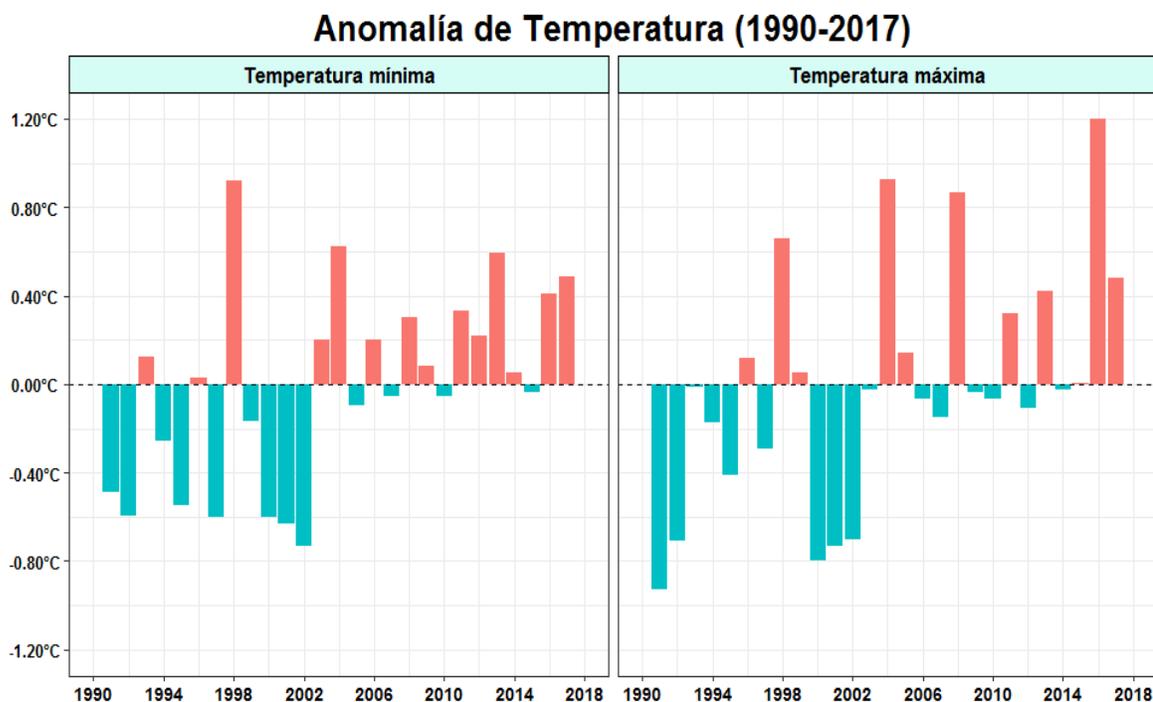


Fig 4: Panel izquierdo: Anomalía de la temperatura mínima (°C), Panel derecho: Anomalía de la temperatura máxima desde 1990 al 2017, calculada en base al período climatológico 1990-2010, en todas las estaciones del FIR Austral.

## Tendencias de Temperaturas Extremas

Las temperaturas extremas han aumentado desde 1990 hasta el 2017 según su promedio anual, a razón de  $0.3^{\circ}\text{C}$  la temperatura máxima y  $0.2^{\circ}\text{C}$  la temperatura mínima en 10 años, con un nivel de significancia al 5% según la evaluación del test estadístico Mann-Kendall. Este aumento también se refleja en las distintas estaciones del año, tanto la temperatura máxima como la temperatura mínima en el FIR Austral. Sin embargo, en invierno se observan las mayores tendencias, las cuales han aumentado en cerca de  $0.4^{\circ}\text{C}$  por década, en ambas temperaturas con significancia al 5%, mientras que, en primavera la temperatura mínima ha aumentado en sólo  $0.15^{\circ}\text{C}$  en 10 años sin significancia al 5%. [Fig. 5]

Al evaluar las tendencias de temperatura máxima y mínima por cada estación del FIR Austral, se demuestra que la temperatura máxima ha aumentado más en la parte norte de la zona austral (Coyhaique, Balmaceda y Lord Cochrane), con tendencias que bordean los  $0.5^{\circ}\text{C}$  por década, alcanzando incluso  $0.8^{\circ}\text{C}$  por década, durante el verano en Coyhaique, siendo además significativa al 5% según Mann-Kendall (\*). Las temperaturas mínimas, por su lado, han aumentado a una tasa más baja en la parte norte de la zona austral, incluso en estaciones del año, como la primavera, han disminuido a razón de  $-0.33^{\circ}\text{C}$  por década y  $-0.17^{\circ}\text{C}$  por década, en Coyhaique y Balmaceda.

Hacia el sur de la zona austral, las tendencias de temperatura máxima son más bajas que en la parte norte del FIR, incluso en verano, en las Torres del Paine y en Punta Arenas DGA son negativas a razón de  $-0.1^{\circ}\text{C}$  por década, aunque en ninguna de las dos estaciones tienen significancia al 5% (\*). La temperatura mínima por su parte, ha aumentado desde 1990 hasta el 2017 desde Lord Cochrane hacia el sur, con tendencias de hasta  $0.53^{\circ}\text{C}$  por década, en otoño, en Torres del Paine. Sin embargo, en la estación del extremo sur del FIR Austral, Puerto Williams, las temperaturas mínimas, han disminuido, en prácticamente todo el año, a excepción del invierno en que han aumentado a razón de  $0.12^{\circ}\text{C}$  por década. [Tabla 4].

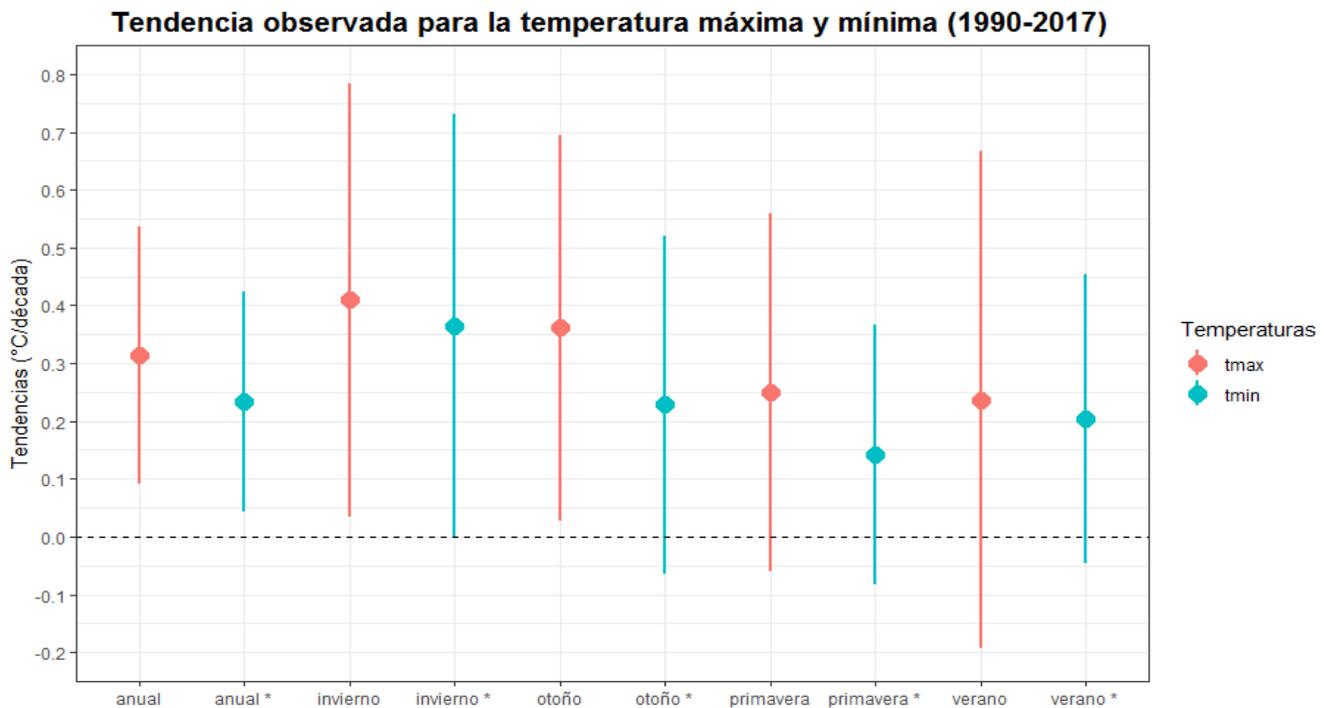


Fig. 5: Tendencias de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}/\text{década}$ ), máxima (roja) y mínima (calipso) anual, en invierno, otoño, primavera y verano en el período 1990-2017, en base a todas las estaciones del FIR AUSTRAL. Barras indican los intervalos de confianza al 95%.

	TEMPERATURA MÁXIMA (°C/DÉCADA)					TEMPERATURA MÍNIMA (°C/DÉCADA)				
	ANUAL	INVIERNO	OTOÑO	PRIMAVERA	VERANO	ANUAL	INVIERNO	OTOÑO	PRIMAVERA	VERANO
Coyhaique	0.52*	0.42*	0.41	0.43*	0.81*	-0.04	0.00	0.03	-0.33*	0.14
Balmaceda	0.54*	0.44*	0.46*	0.51*	0.74*	0.00	0.07	0.00	-0.17	0.12
Lord Cochrane	0.54*	0.44	0.53*	0.50*	0.69*	0.22*	0.05	0.23	0.12	0.49*
Villa O'Higgins	0.25	0.31	0.26	0.21	0.23	0.15	0.19	0.20	0.15	0.06
Puerto Edén	0.26*	0.39	0.23	0.24	0.19	0.12	0.07	0.09	0.15	0.18
Torres del Paine	0.19	0.55	0.22	0.13	-0.13	0.46*	0.36	0.49	0.53*	0.47*
Puerto Natales- DMC	0.35*	0.52*	0.50*	0.26	0.09	0.23*	0.24	0.23	0.30	0.14
Puerto Natales- DGA	0.32*	0.51*	0.55*	0.06	0.17	0.36*	0.27	0.52*	0.33	0.31
Villa Tehuelche	0.20*	0.25	0.22	0.11	0.22*	0.22	0.05	0.25	0.13	0.46
Punta Arenas- DMC	0.20	0.35	0.31	0.14	0.00	0.24*	0.18	0.32	0.26*	0.17
Punta Arenas- DGA	0.10	0.32	0.21	-0.03	-0.10	0.27*	0.09	0.41	0.21	0.37*
Porvenir	0.29*	0.37*	0.45*	0.26	0.08	0.14	0.12	0.23	0.14	0.08
Pampa Huanaco	0.26*	0.28	0.23	0.32*	0.20	0.20	0.26	0.22	0.24	0.06
Puerto Williams	0.33*	0.41	0.47*	0.34	0.10	-0.05	0.12	-0.03	-0.08	-0.21

Tabla 4: Tendencia anual y estacional de las temperaturas extremas en todas las estaciones del FIR Austral. (\*) Significancia estadística al 5%.

## Índices Climáticos Extremos de Temperatura

Los eventos meteorológicos extremos han alcanzado mayor notoriedad en la última década debido a las consecuencias que generan, como pérdidas humanas, daños en infraestructura y pérdidas económicas, es por ello, que es necesario evaluar la intensidad y frecuencia de los índices climáticos en el FIR Austral, a fin de conocer la evolución que han tenido en esta parte del territorio nacional.

Los índices climáticos que más se han incrementado en la última década, son los días cálidos (porcentaje de días en que la temperatura máxima supera el percentil 90 (TX90)), con un 3% por década en las estaciones del norte del FIR Austral [Fig. 6], mientras que, hacia el sur de las Torres del Paine, se han incrementado en un 2% por década. Las noches cálidas (porcentaje de días en que la temperatura mínima supera el percentil 90 (TN90)), también se han incrementado en todo el FIR Austral, llegando incluso a un aumento del 3% por década, en la ciudad de Puerto Natales. Contrario a lo anterior, los días fríos (porcentaje de días en que la temperatura máxima está bajo el percentil 10 (TX10)), han disminuido en 3% por década en las estaciones al norte del FIR Austral, mientras que, hacia el sur su decremento ha sido de 1% en estaciones como Punta Arenas. Por otra parte, las noches frías (porcentaje de días en que la temperatura mínima está bajo el percentil 10 (TN10)), han

aumentado en el norte del FIR Austral a razón de un 1% por década, sin embargo, hacia el sur, han disminuido llegando incluso a un decremento de un 3% en estaciones como Puerto Natales. Con respecto a los días con temperaturas bajo 0°C [Fig. 7], estos han disminuido en todas las estaciones del FIR austral en 2 días por década en promedio. Lo contrario, ocurre con los días de verano con temperaturas sobre 25°C, ya que han aumentado sólo en las estaciones de la parte norte del FIR con 4 días por década. Sin embargo, desde Villa O'Higgins hacia el sur, comúnmente no se dan temperaturas máximas sobre 25°C, por lo cual se muestra sin tendencia. Lo mismo ocurre con las temperaturas sobre 30°C, ya que inusualmente en este parte del territorio se registran temperaturas tan altas, sólo en Coyhaique, Balmaceda y Lord Cochrane en que la tendencia es de 1 día por década.

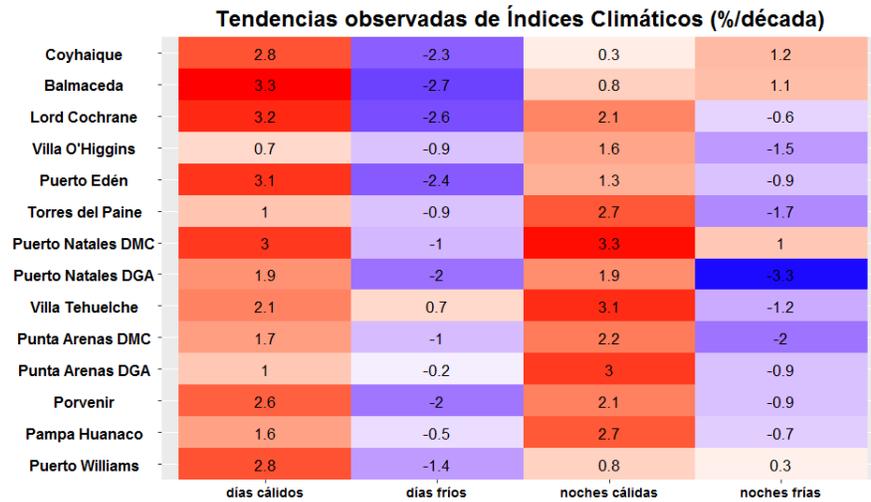


Fig 6: Tendencias de los índices climáticos; días cálidos, días fríos, noches cálidas y noches frías, entre 1990-2017, en las estaciones del FIR Austral. Tendencias negativas (azul) y positivas (rojo).

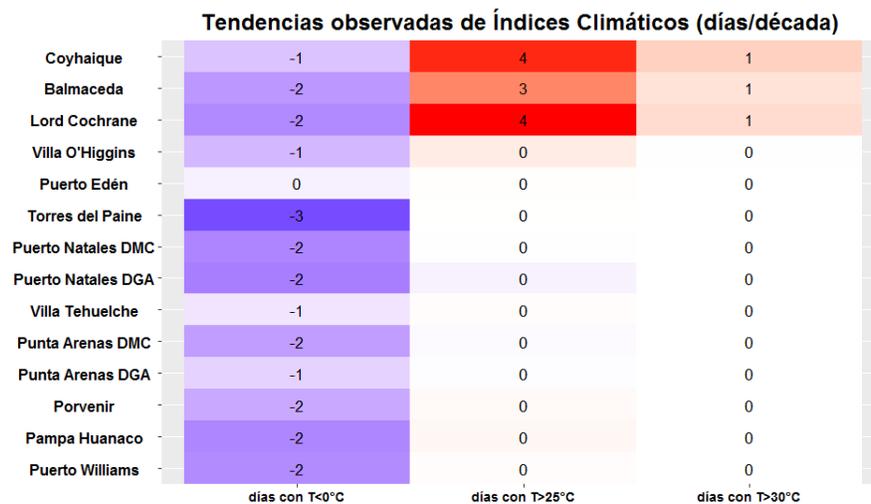


Fig 7: Tendencias de los índices climáticos; días con Tmin<0°C, días con Tmax>25°C, días con Tmax>30°C, entre 1990-2017, en las estaciones del FIR Austral. Tendencias negativas (azul) y positivas (rojo).

## PRECIPITACIÓN

La precipitación en la zona austral varía de una localidad a otra debido al efecto Foehn que provoca la Cordillera de los Andes al enfrentar la circulación del oeste. Esto se evidencia, en el promedio anual de precipitación en Puerto Edén, 2947 (mm), estación que se sitúa en la ladera oeste de la cordillera, mientras que la estación Villa O'Higgins ubicada en la ladera este de la cordillera, el promedio de precipitación es sólo de 817.4 (mm). [Fig. 8]. Esta condición se repite en las estaciones al sur de las Torres del Paine en que los promedios anuales bordean los 400 (mm), a excepción de Pampa Huanaco en que el promedio anual de precipitación es sólo 290 (mm). Por otro lado, según el promedio de todas las estaciones del FIR Austral [Fig. 9], durante gran parte del período entre 1990 y el 2017, la precipitación ha sido más baja que el promedio, llegando a un déficit de 140 (mm) durante el 2016, convirtiéndose en el año más seco desde 1990 en ciudades como Coyhaique, Balmaceda, Punta Arenas, Puerto Natales, Torres del Paine e incluso en Puerto Edén.

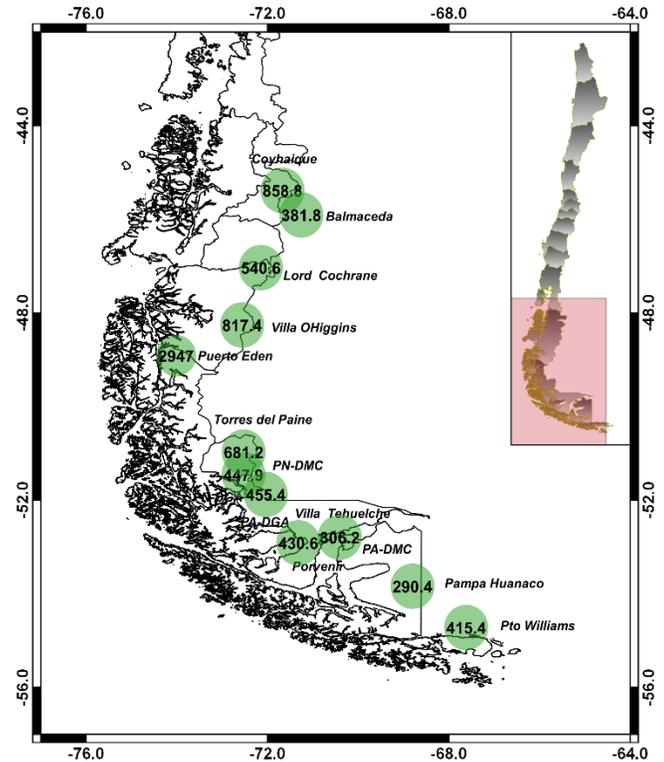


Fig.8: Distribución espacial del promedio anual de precipitación entre 1990-2017 en todas las estaciones del FIR Austral.

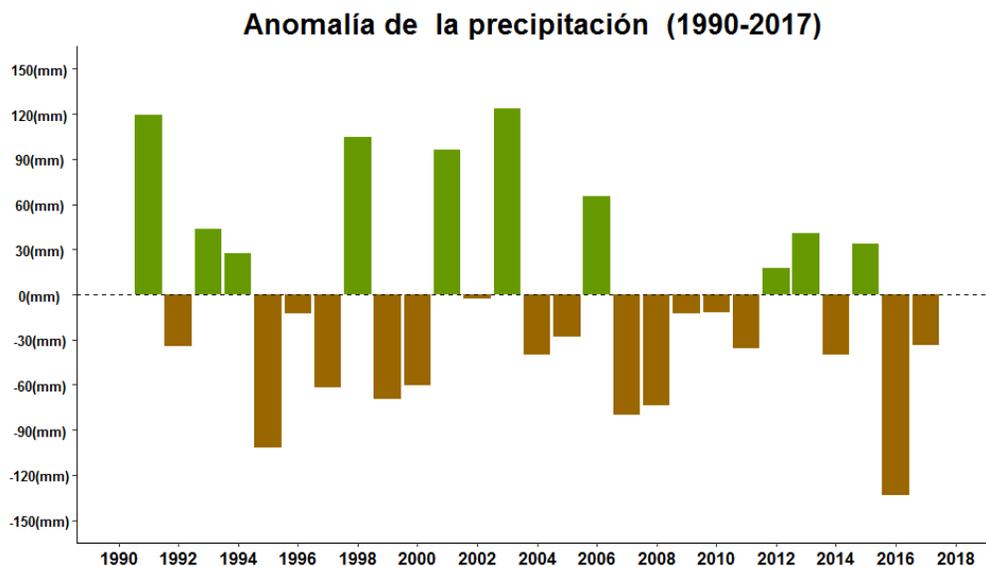


Fig. 9: Anomalía de precipitación (mm) en base al período 1990-2010, en todas las estaciones del FIR Austral.

## Tendencias estacionales de la precipitación

La disminución de la precipitación en la zona austral, ha sido mucho más modesta en comparación a lo que actualmente se está evidenciando en la zona central del país (CR2, 2015). Sin embargo, desde 1990 hasta el 2017, la precipitación según el promedio de todas las estaciones del FIR Austral, ha disminuido en un 4% por década en el total anual de precipitación [Fig. 10]. Esto también se refleja en la cantidad de precipitación caída por estación del año, en otoño (MAM), primavera (SON) y verano (DEF), la precipitación ha disminuido en un 5%, 10% y un 4% por década, respectivamente, sólo en invierno se ha visto un ligero aumento de un 4% por década, aunque ninguna de estas tendencias son significativas al 5% de confianza.

Si bien, la disminución de la precipitación es en todo el FIR Austral, en la parte norte en estaciones como Coyhaique, Balmaceda y Lord Cochrane, el decrecimiento ha sido más alto, bordeando el 11% por década en la precipitación anual desde 1990 hasta el 2017. Sin embargo, en la estación Punta Arenas DMC, también el decrecimiento ha sido alto con un 12% por década, siendo además significativa al 5% de confianza (\*). [Tabla 5]. En cuanto, a la disminución de precipitación estacional, durante la primavera la precipitación ha disminuido bastante en todo el Fir Austral, especialmente en Balmaceda, Puerto Natales, Villa Tehuelche y Punta Arenas, superando el 20% por década, en algunas de ellas. En caso contrario, en invierno, la precipitación ha aumentado en gran parte de las estaciones del FIR, excepto en Balmaceda, Lord Cochrane y Puerto Edén. Las estaciones del extremo sur del FIR Austral, Pampa Huanaco y Puerto Williams, concentran la mayor cantidad de precipitación durante el verano y el otoño, por lo cual, en ambas ciudades, la disminución de la precipitación se ha originado en estas estaciones del año, llegando al 9% por década menos de precipitación en Pampa Huanaco durante el verano.

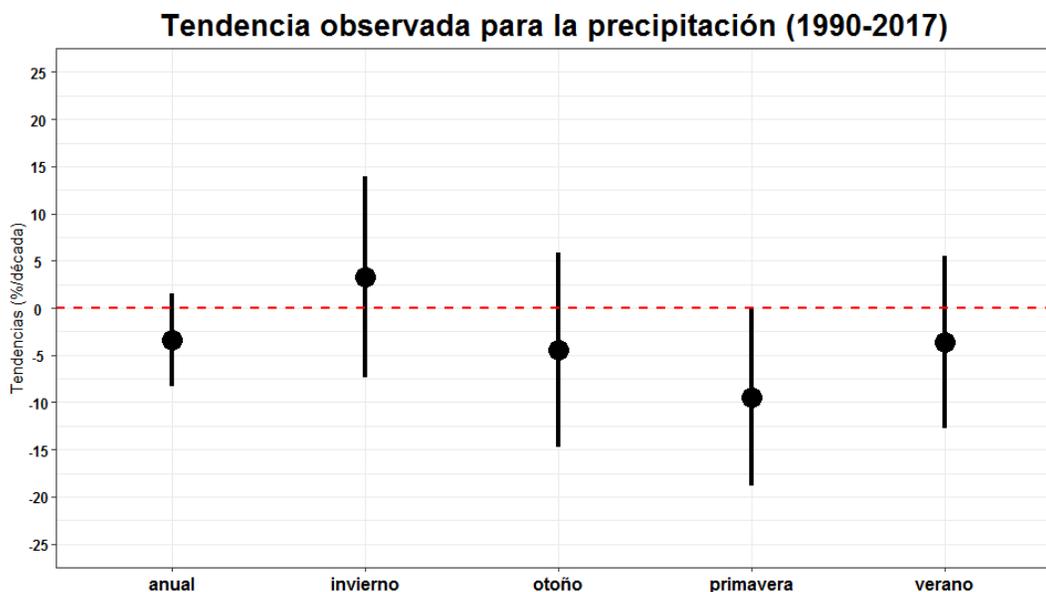


Fig 10: Tendencia observada de precipitación entre 1990 y 2017 para el FIR Austral

	PRECIPITACIÓN (%/DÉCADA)				
	ANUAL	INVIERNO	OTOÑO	PRIMAVERA	VERANO
Coyhaique	-4.76	0.55	-6.11	-12.12	-4.15
Balmaceda	-11.12*	-5.87	-12.19	-18.20	-11.53
Lord Cochrane	-11.40*	-9.72	-7.96	-16.34	-14.15
Villa O'Higgins	-1.84	10.22	-3.57	-11.53	-3.42
Puerto Edén	-2.16	-2.91	0.82	-7.06	-0.27
Torres del Paine	4.50	17.50*	0.23	-1.37	3.73
Puerto Natales-DMC	-8.06	3.78	-10.97	-17.17*	-7.81
Puerto Natales-DGA	-5.79	6.06	-8.68	-13.14	-5.95
Villa Tehuelche	-6.73	18.11	-11.56	-21.98*	-10.21
Punta Arenas-DMC	-12.21*	8.23	-17.79*	-20.83*	-17.66*
Punta Arenas-DGA	0.08	13.19	-2.75	-8.76	-3.44
Porvenir	4.07	22.98*	-3.71	-2.64	1.92
Pampa Huanaco	-3.63	13.90	-12.22	1.95	-8.47
Puerto Williams	1.08	14.81	-5.32	1.03	-2.09

Tabla 5: Tendencia anual y estacional de la precipitación en todas las estaciones del FIR Austral. (\*) Significancia estadística al 5%.

## Índices Climáticos Extremos de Precipitación

Si bien la cantidad de precipitación ha disminuido en gran parte del FIR Austral en los últimos años, los eventos extremos asociados a la precipitación no han quedado ajenos a esta parte del territorio chileno. En Puerto Edén, por ejemplo, el Índice climático suma anual en (mm) de días extremadamente lluviosos (P99), tiene una tendencia sobre 50 mm por década convirtiéndose en una de las pocas localidades del FIR, en que se ha incrementado este índice [Fig. 11]. Sin embargo, la disminución en (mm) de la suma anual de días extremadamente lluviosos en el resto de las estaciones del FIR, llega a los 11 milímetros por década en Villa O'Higgins. En cuanto al índice climático suma anual en (mm), de días lluviosos (P95), existen dos ciudades con tendencias altas de este índice; Puerto Edén que sobrepasa los 80 (mm) por década y Puerto Natales que bordea los 30 (mm) por

década, mientras que Villa O'Higgins, nuevamente se convierte en la estación con mayor disminución de este índice, llegando a 40 (mm) en 10 años. Por otro lado, los días con precipitación [Fig. 12], han disminuido en la mayoría de las estaciones del FIR Austral, llegando a 19 días por década de disminución en Puerto Natales seguido de 8 días en 10 años en Villa Tehuelche. También la longitud máxima de días lluviosos ha disminuido en todo el FIR, destacando Puerto Edén en que la tendencia es de -12 días por década. Finalmente, la longitud máxima de días secos, ha disminuido en 10 y 8 días por década en Pampa Huanaco y Torres de Paine respectivamente, transformándose en las estaciones con mayor disminución en la longitud de días secos.

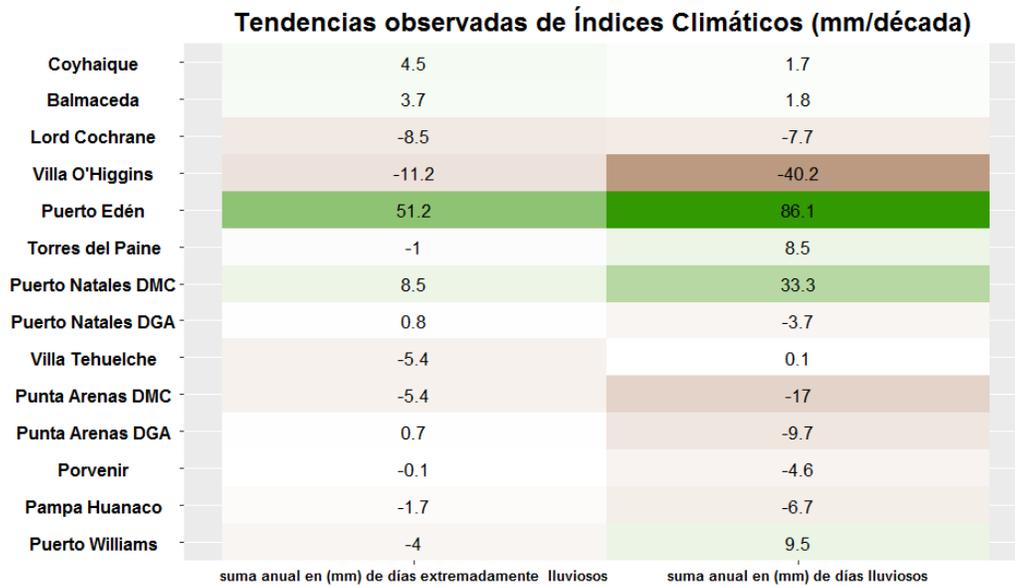


Fig 11: Tendencias de los índices climáticos; suma anual en (mm) de días extremadamente lluviosos (P99) y suma anual en (mm) de días lluviosos (P90), entre 1990-2017, en todas las estaciones del FIR Austral. Tendencias negativas (café) y positivas (verde).

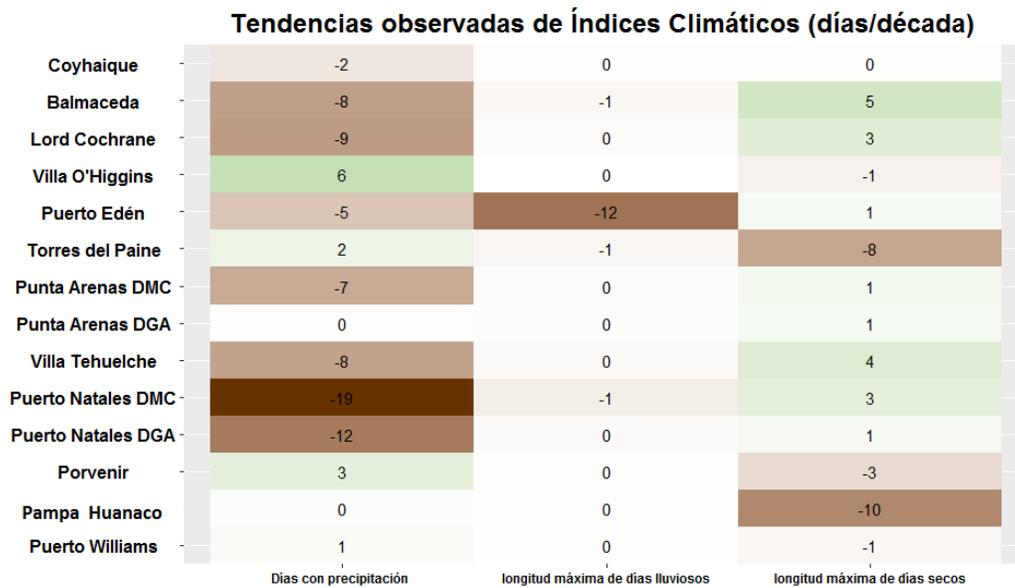


Fig 12: Tendencias de los índices climáticos; Días con precipitación, longitud máxima de días lluviosos y longitud máxima de días secos, entre 1990-2017, en todas las estaciones del FIR Austral. Tendencias negativas (café) y positivas (verde).

## VIENTO

La intensidad del viento, es una variable muy importante en la navegación aérea, ya que juega un rol importante al momento de aterrizar y despegar la aeronave en el aeródromo u aeropuerto. Específicamente, en Punta Arenas, el viento ha aumentado en intensidad desde 1990 hasta el 2017 [Fig. 13], ya que durante la primera década del estudio (1990-1999), la intensidad bordea los 16 nudos, mientras que, en la segunda década (2008-2017) alcanza los 21 nudos, en meses como noviembre, diciembre y enero, manteniendo el horario de mayor intensidad durante las tardes, entre las 16 y las 18 horas. En los meses de invierno, como julio y agosto también se evidencia un aumento en la intensidad del viento en la última década, aunque menos intenso que en el verano, llegando a 15 nudos alrededor de las 18 horas. Sin embargo, en junio, se aprecia con mayor claridad el aumento del viento en la última década, ya que, la diferencia entre ambas, es de cuatro nudos en todo horario, y significativa (S) según el Test de Student.

Por otro lado, Punta Arenas está continuamente afectada por vientos del oeste y sistemas frontales debido a que se encuentra próxima a la latitud 60°S, lugar donde confluyen masas de aire subtropicales y polares (DMC, 2008). Esto se evidencia en el predominio de los vientos del oeste en todos los meses del año [Fig. 14], variando solamente en intensidad, ya que durante el verano alcanza intensidades entre 30 y 40 nudos, mientras que, en invierno disminuye a 20 nudos, producto de las fluctuaciones del Anticiclón del Pacífico Sur, ya que, durante el verano, se desplaza hacia el sur provocando un aumento de los vientos en Punta Arenas, debido al apretamiento isobárico en el borde sur del Anticiclón y en el invierno se desplaza hacia los subtrópicos, produciendo una relajación del flujo .

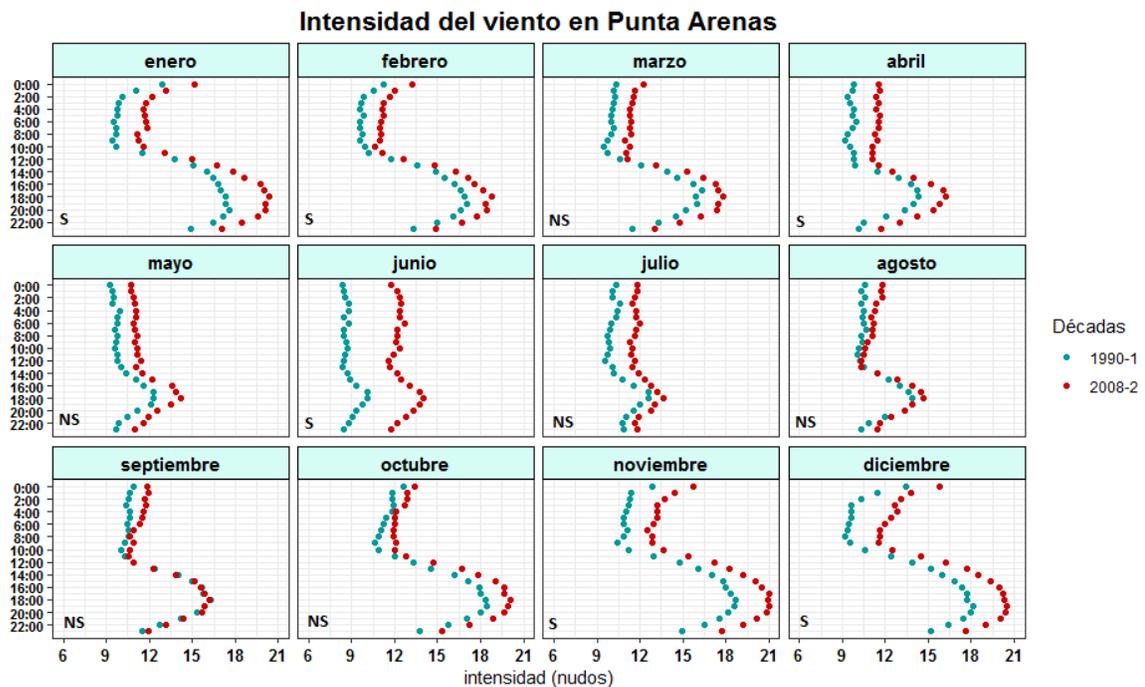


Fig 13: Intensidad horaria (UTC) del viento (nudos) en Punta Arenas. Década (1990-1999) línea calipso y Década (2008-2017) línea roja. No significativa al 5% (NS) y significativa (S) según test T-Student.

### Dirección e Intensidad del Viento en Punta Arenas

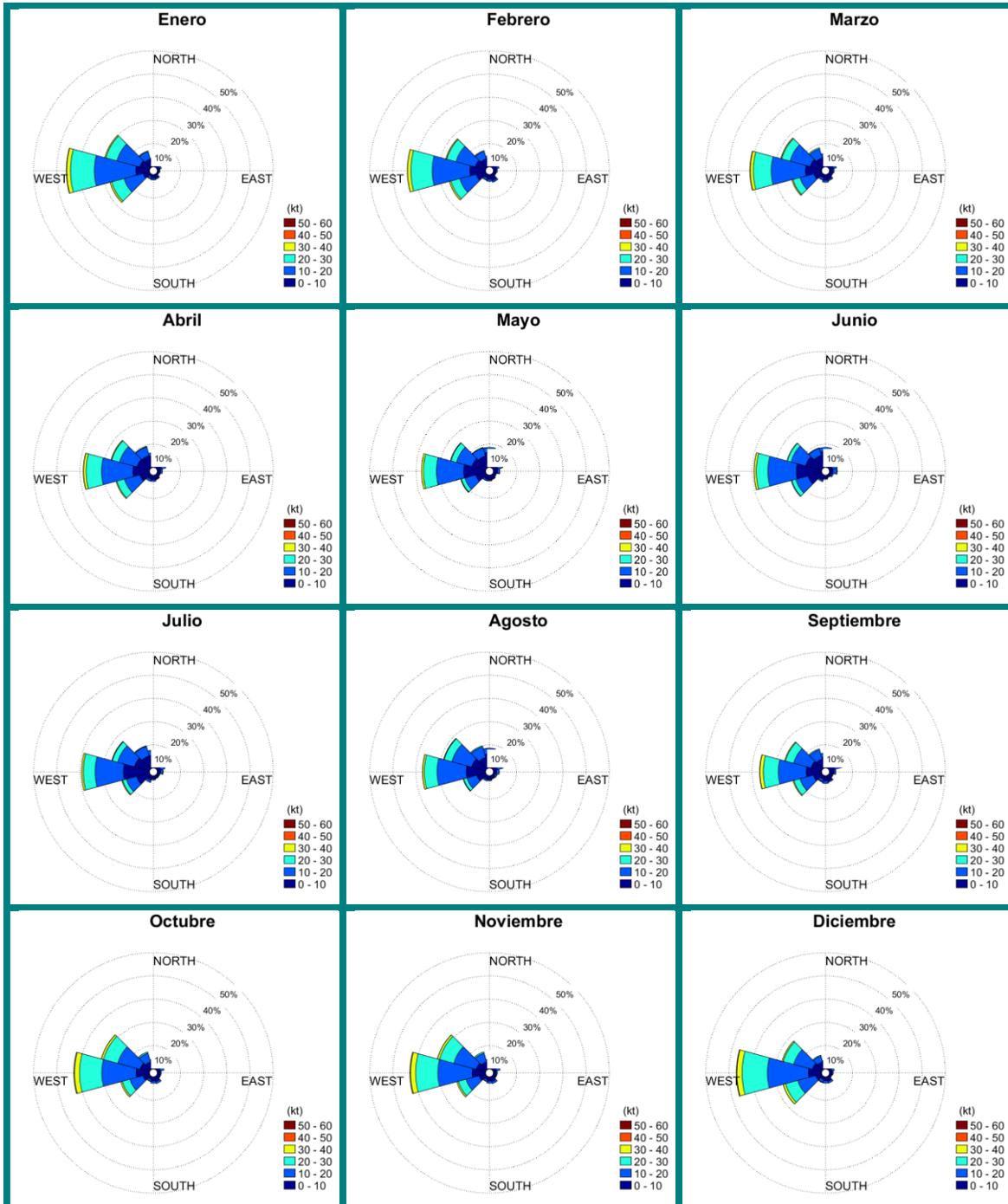


Fig. 14 Dirección e intensidad promedio del viento en Punta Arenas entre 1990-2017 en todos los meses del año.

## Rachas de viento

Las rachas de viento constituyen un peligro importante en la navegación aérea, ya que podrían provocar inestabilidad a la aeronave en un aterrizaje o despegue producto del cambio abrupto en la velocidad o dirección del viento. Se registran cuando la intensidad del viento es mayor o igual a 10 nudos con respecto a la rapidez media de la hora de observación, las cuales se pueden originar en cualquier momento del día.

En el aeropuerto de Punta Arenas, las rachas de viento oscilan entre 35 y 65 nudos en promedio, siendo más intensas durante la tarde entre las 15 y las 21 horas [Fig. 15]. Además, son menos intensas durante el invierno (junio, julio y agosto), ya que no sobrepasan los 55 nudos, e incluso no tienen marcadas variaciones durante el día, ya que su comportamiento es muy similar sin peak de intensidad muy notorios. Lo contrario, ocurre en los meses de verano (diciembre, enero y febrero), en que a partir de las 12 horas la intensidad de las rachas de viento aumenta, sobrepasando incluso los 60 nudos. Por otra parte, las rachas de viento en Punta Arenas, han disminuido en la última década (2008-2017) en prácticamente todos los meses del año y en todo horario, con algunas excepciones, como en enero y junio, en que, durante la madrugada, las rachas de viento durante la última década fueron más intensas que la década anterior (1991-2000).

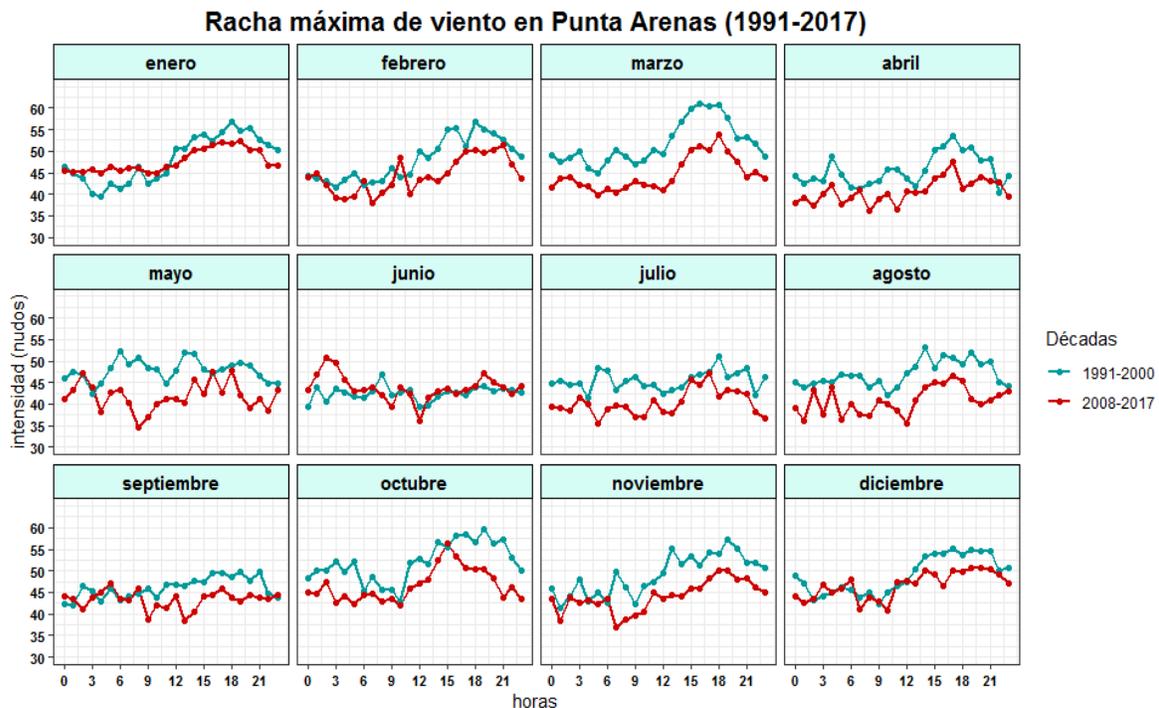


Fig. 15: Intensidad horaria (UTC) de las rachas de viento (nudos) en el aeropuerto de Punta Arenas. Década (1991-2000) línea azul. Década (2008-2017) línea roja.

## AEROPUERTO DE PUNTA ARENAS

La navegación aérea tiene una fuerte dependencia meteorológica, ya sea en sus operaciones en tierra como en aire, las cuales podrían verse afectadas por cambios en la temperatura, en el viento o por condiciones climáticas extremas.

Una de las herramientas para monitorear cambios meteorológicos en los aeropuertos específicamente, son los reportes meteorológicos (METAR) que se emiten en forma rutinaria en cada aeródromo u aeropuerto, con el fin de garantizar la seguridad en las operaciones aéreas. El METAR se actualiza cada una hora e incluye información específica de viento, temperatura, visibilidad, altura de la base de las nubes y fenómeno meteorológico en el instante de la observación.

En el FIR Austral, el aeropuerto Carlos Ibáñez del Campo en Punta Arenas, es categoría I clase B, según la Resolución Exenta N° 01783 de fecha 29 de diciembre de 1992 de la Dirección General de Aeronáutica Civil. Esto implica, que, según su reglamento, Operación de las aeronaves DAR 06, las restricciones de aproximación y aterrizaje de las aeronaves en este aeropuerto, deben limitarse a: “una altura de decisión no inferior a 60 metros (200 pies) y con una visibilidad no inferior a 800 metros, o

un alcance visual en la pista no inferior a 550 metros”.

En base a estas restricciones, se obtuvo la base de la altura de las nubes, la visibilidad y el tiempo presente proporcionada por los METAR de Punta Arenas desde 1990 hasta el 2017, con fin de evaluar el cambio que han sufrido estas variables producto del cambio climático en este aeropuerto.



### Base de la Altura de la Nubosidad

La base de la altura de las nubes se considera significativamente importante para las operaciones aéreas bajo los 5000 pies [Fig. 16], por lo cual, en Punta Arenas, se destaca la nubosidad estratocúmulo (SC) y cúmulo (CU), ya que son las más frecuentes durante todo el año. Sin embargo, durante los meses más cálidos (noviembre, diciembre, enero), existe un predominio de cúmulos, mientras que, hacia el invierno (junio, julio y agosto), predominan los estratocúmulos en el aeródromo, asociados a precipitación leve, tipo llovizna, la cual es más recurrente durante el invierno.

Por otro lado, según las restricciones de un aeropuerto categoría I como es el caso de Punta Arenas, la aproximación y aterrizaje de las aeronaves no debe ser inferior a una altura de nubes menor a 200 pies, por lo cual, durante los meses de mayo, junio y julio serían los que tienen mayor restricción de operatividad por este concepto, ya que, existe entre un 15% y un 20% de las observaciones, en que la altura de la nubosidad es bajo los 200 pies, [Fig. 17]. Lo contrario ocurre, en enero, febrero, noviembre y diciembre en que las observaciones con nubosidad menor a 200 pies no sobrepasan el 3%. A pesar de que estas observaciones se repiten con mayor frecuencia en mayo, junio y julio, son bastante irregulares durante estos meses entre 1990 y el 2017 [Fig. 18], puesto que en 1990 se reportaron cerca de 10 observaciones por este concepto, mientras que, durante el 2016 hubo cerca de 80 observaciones, estimándose un aumento de tendencia en 1 observación en 10 años de nubosidad menor a 200 pies en el aeropuerto de Punta Arenas.

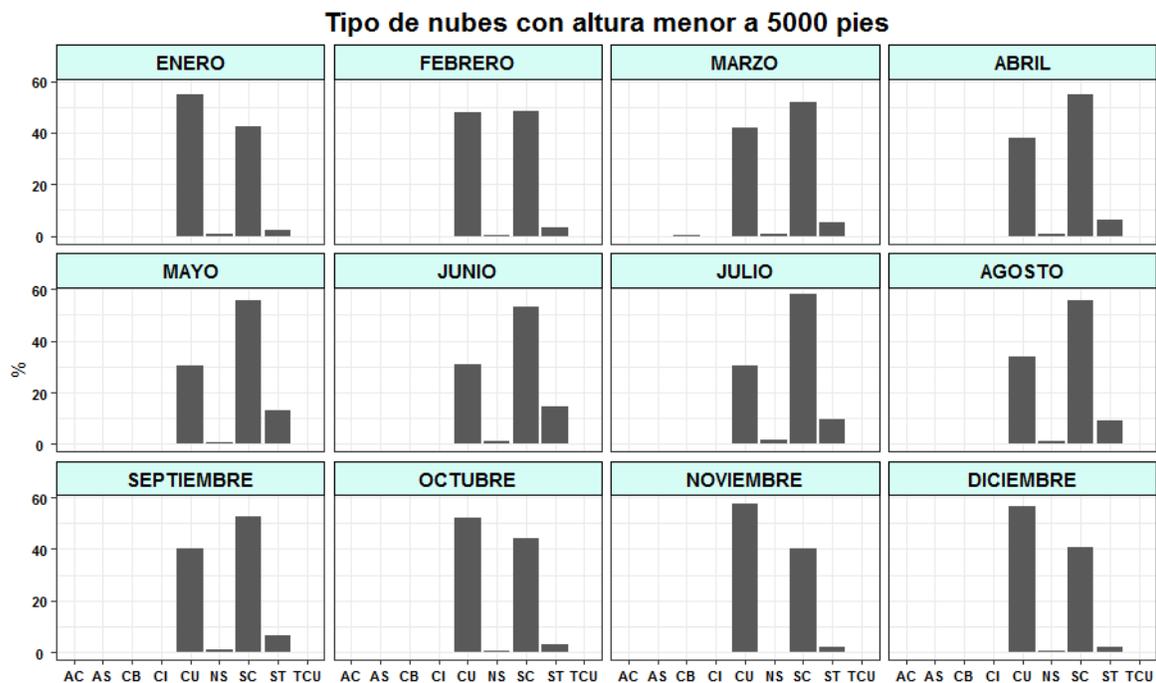


Fig. 16: Frecuencia de observaciones (%) con el tipo de nubes bajo los 5000 pies de Punta Arenas, en todos los meses del año. Altocúmulos (AC), Altoestratos (AS), Cumulonimbos (CB), Cirrus (CI), Cúmulos (CU), Nimbostratos (NS), Estratocúmulos (SC), Estratos (ST) y Torres de Cúmulos (TCU).

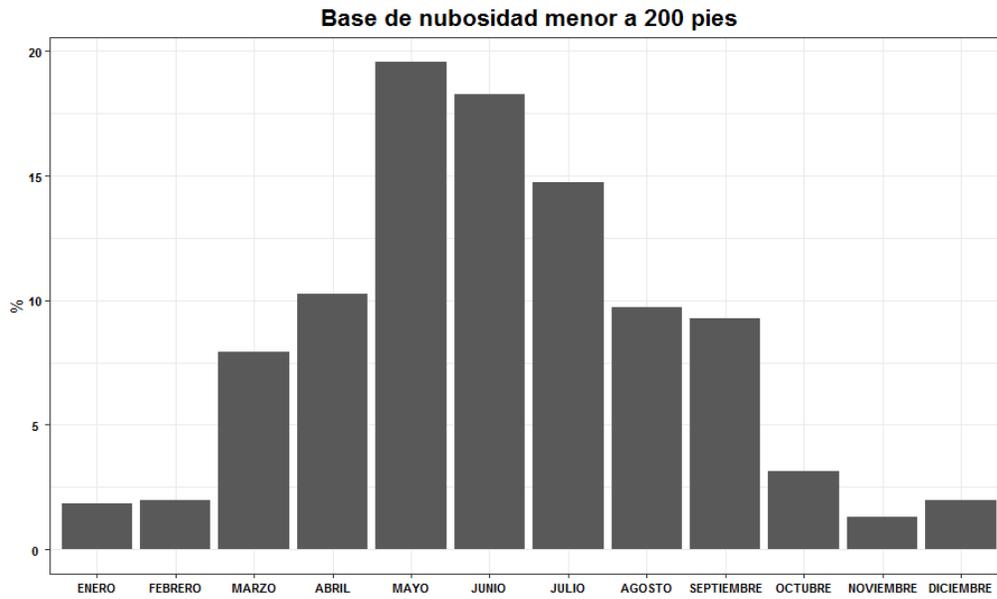


Fig. 17: Porcentaje de observaciones (%), con base de la nubosidad menor a 200 pies, en todos los meses del año entre 1990 y 2017.

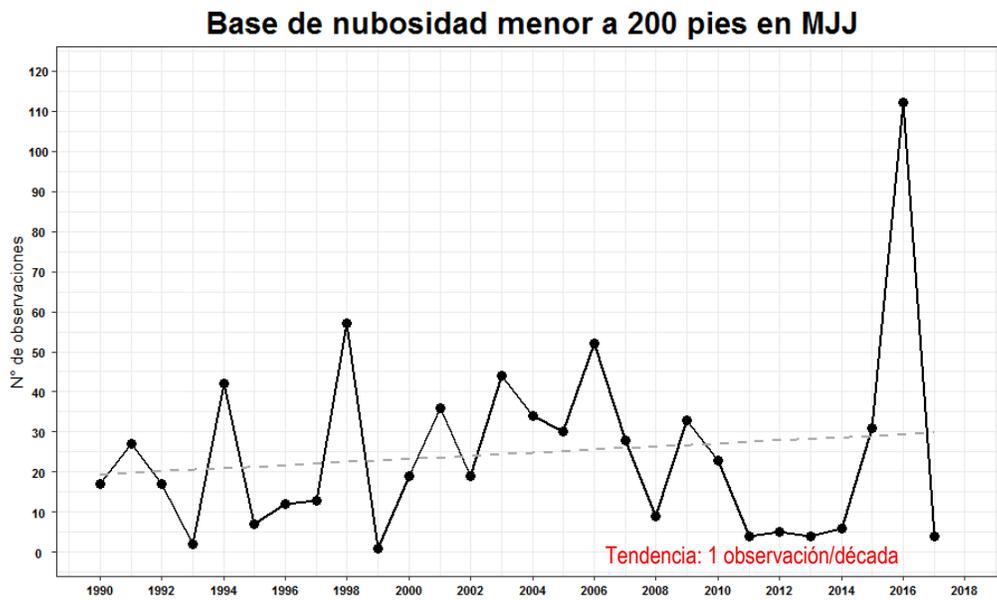


Fig.18: Número de observaciones, con base de la nubosidad menor a 200 pies, en mayo, junio y junio entre 1990 y 2017 (línea negra con puntos). Tendencia (obs/década) en línea punteada gris.

## Visibilidad

La visibilidad en aeronáutica se entiende por el valor más elevado entre:

- la distancia máxima a la que pueda verse y reconocerse un objeto de color negro, situado cerca del suelo, al ser observado ante un fondo brillante.
- La distancia máxima a la que puedan verse e identificarse las luces de aproximadamente 1000 candelas ante un fondo no iluminado.

Ambas distancias se evalúan mediante instrumentos que entregan el alcance óptico meteorológico (MOR) o mediante observación humana.

En base a la visibilidad reinante (máximo de visibilidad, al que se llega dentro de un círculo que cubre por lo menos la mitad del horizonte o la mitad de la superficie del aeródromo (DAP 03 06,2008)), analizada en Punta Arenas, se determinó que sobre el 75% de las observaciones de visibilidad se concentran en el rango de 9000 y 10000 metros en todos los meses del año [Fig. 19]. Sin embargo, durante el invierno (junio, julio y agosto), las observaciones en ese rango disminuyen al 60% aproximadamente, apareciendo rangos de visibilidad entre 2000 y 3000 metros que bordean el 10% del total de observaciones en junio. Por otro lado, para la aproximación y el aterrizaje seguro de las aeronaves la visibilidad no debería ser inferior a 800 metros en los aeropuertos, sin embargo, en Punta Arenas estas observaciones se originan durante todo el año, concentrándose principalmente en los meses de invierno (junio, julio y agosto) [Fig. 20], convirtiéndose en un problema para la operatividad del aeropuerto. A pesar de la alta concentración de observaciones con visibilidad menor a 800 metros durante estos meses, éstas han disminuido desde el 2005 hasta el 2017 dejando una tendencia negativa de 42 observaciones por década en el aeropuerto de Punta Arenas [Fig. 21].

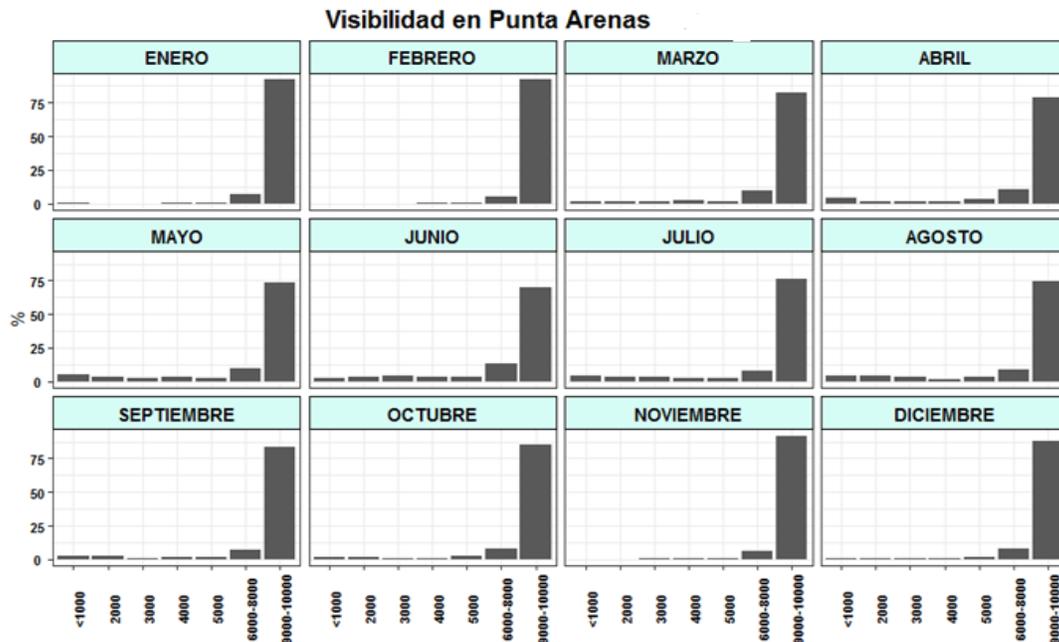


Fig 19: Porcentaje de observaciones (%), con visibilidad hasta 10000 metros en el aeródromo de Punta Arenas, en todos los meses del año desde 2005 al 2017.

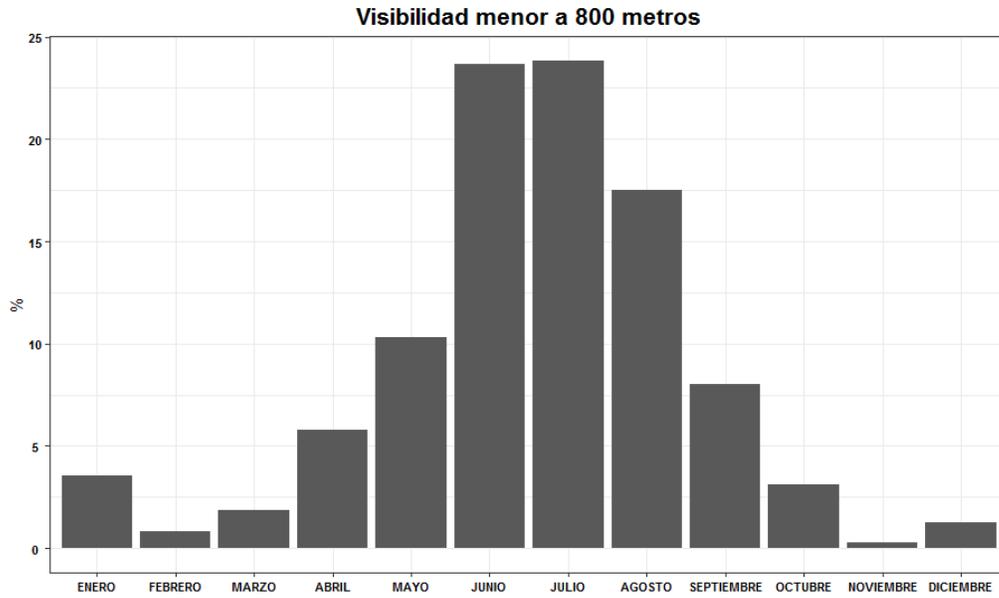


Fig. 20: Porcentaje de observaciones (%), con visibilidad menor a 800 metros en todos los meses del año desde el 2005 al 2017 en el aeropuerto de Punta Arenas.

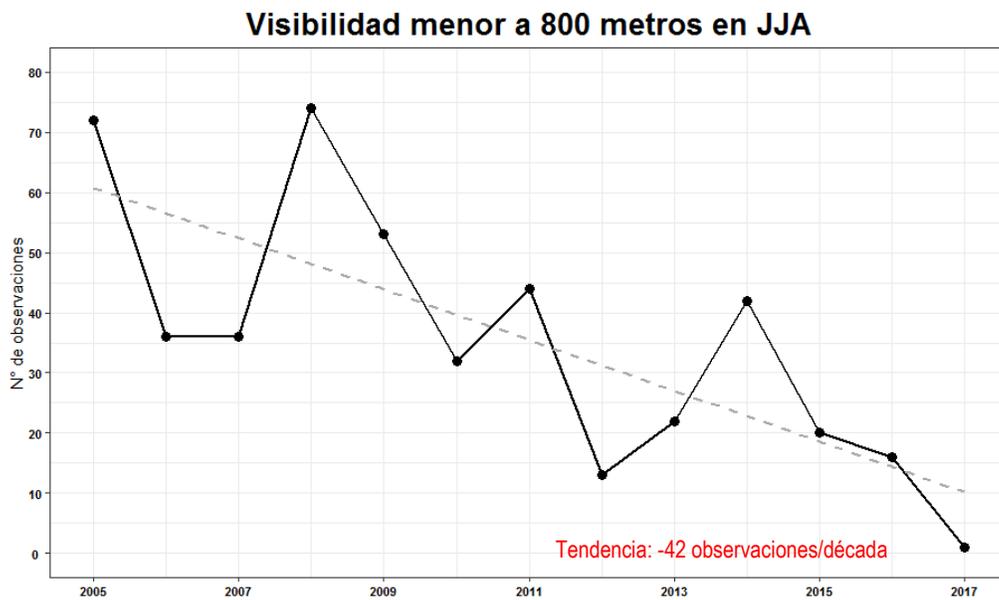


Fig. 21: Número de observaciones, con visibilidad menor a 800 metros en todos los meses del año desde el 2005 al 2017 en el aeropuerto de Punta Arenas.

## Tiempo Presente

El tiempo presente hace referencia a los fenómenos meteorológicos en el instante de la observación, ya sea en el aeropuerto o en las cercanías de él, expresándolos según su tipo, características e intensidad. En Punta Arenas, el fenómeno significativo con mayor recurrencia es la lluvia (RA) y los chubascos de lluvia (SHRA) en todos los meses del año [Fig. 22]. Sin embargo, entre abril y agosto los chubascos de nieve (SHSN) y la nieve (SN), también adquieren relevancia al tener casi un 20% de frecuencia durante junio. La bruma (BR) y la niebla (FG), también son fenómenos que se repiten durante estos meses de invierno, los cuales se asocian a la disminución de temperatura en el período invernal. Si bien, los registros de tiempo presente son muy recientes en el aeródromo de Punta Arenas, de igual forma se puede apreciar que las observaciones de chubascos de lluvia (SHRA) han aumentado desde el 2011 al 2017 [Fig. 23], al contrario de los de chubascos de nieve, que a pesar de contar con menos observaciones, se observó una disminución en este período principalmente durante el 2016. Finalmente, las observaciones de lluvia (RA) y nieve (SN), son bastantes irregulares entre el 2011 y el 2017, [Fig. 24], aunque cabe mencionar que la lluvia sigue siendo predominante como fenómeno significativo en Punta Arenas.

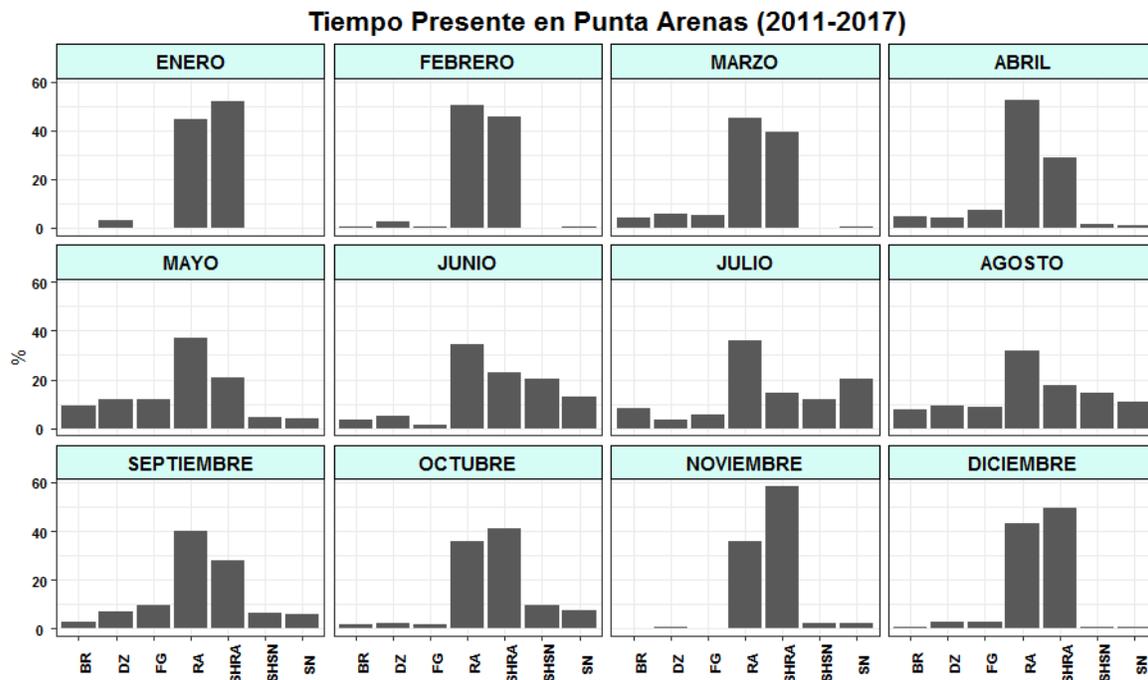


Fig. 22: Porcentaje de observaciones (%), con fenómenos significativos en el momento de la observación (Tiempo presente) durante todos los meses del año desde el 2011 al 2017. Bruma (BR), Ilovizna (DZ), Niebla (FG), Lluvia (RA), Chubascos de lluvia (SHRA), Chubascos de nieve (SHSN), Nieve (SN) en el aeropuerto de Punta Arenas.

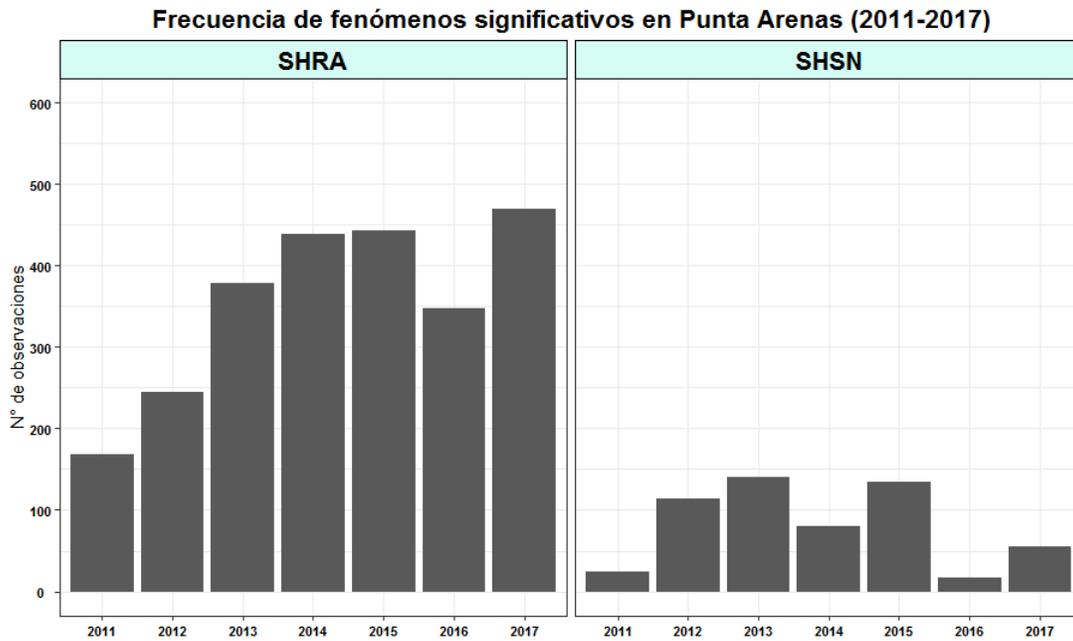


Fig. 23 Número de observaciones de tiempo significativo, Chubascos de lluvia SHRA (izquierda) y Chubascos de nieve SHSN (derecha) desde el 2011 hasta el 2017 en el aeropuerto de Punta Arenas.

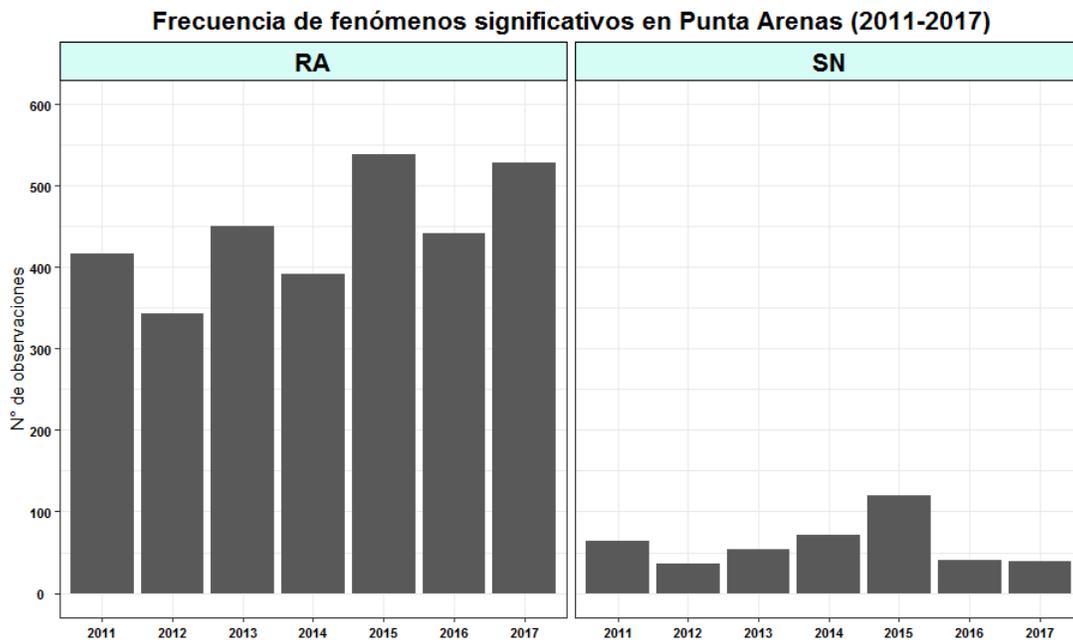


Fig. 24 Número de observaciones de tiempo significativo, Lluvia (RA) (izquierda) y Nieve (SN) (derecha) desde el 2011 hasta el 2017 en el aeropuerto de Punta Arenas.

### Operatividad en aeropuerto de Punta Arenas

La operatividad de un aeropuerto depende en gran parte de las condiciones meteorológicas para que la navegación aérea se realice con seguridad y eficiencia. Por lo cual, según el instructivo “Operación de las aeronaves DAR 06”, las restricciones de aproximación y aterrizaje de las aeronaves deben limitarse a una altura de decisión no inferior a 60 metros (200 pies) y con una visibilidad no inferior a 800 metros. Por lo tanto, al seleccionar los casos en que la altura de la base de la nube es inferior a 200 pies, junto con la visibilidad reinante menor a 800 metros en Punta Arenas entre el 2011 y el 2017, se obtiene que durante

septiembre las condiciones meteorológicas serían menos favorables en este aeropuerto con un 31% del total de casos en que se cumplen ambas condiciones, seguido de mayo y abril con 22% y 20%, respectivamente [Fig. 25]. Además, la reducción de visibilidad está asociada a un fenómeno significativo reportado como tiempo presente en el METAR, por lo cual, durante septiembre la niebla (FG), la lluvia (RA) y los chubascos de lluvia (SHRA), serían los principales responsables de que las condiciones meteorológicas sean desfavorables para el tránsito aéreo en el aeropuerto de Punta Arenas.

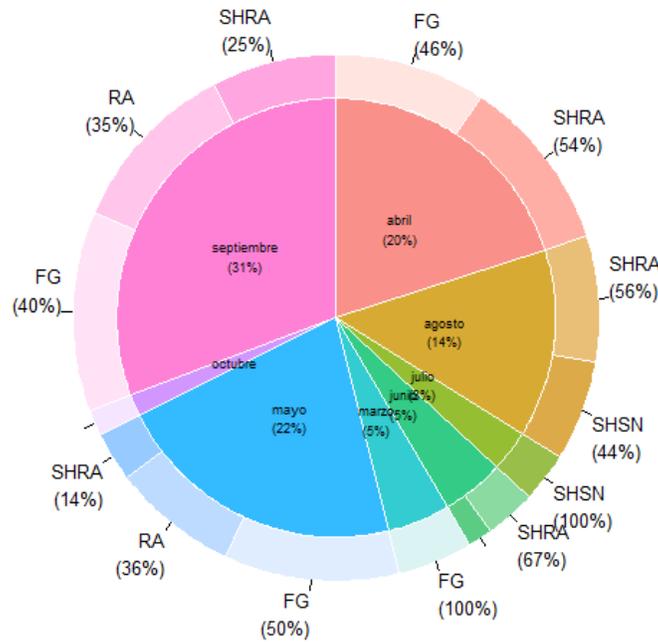


Fig. 25: Resumen mensual en porcentaje (%) de las variables aeronáuticas que tienen mayor frecuencia en el aeropuerto de Punta Arenas.

## DENSIDAD DE ALTURA

Según las proyecciones de cambio climático las temperaturas seguirán aumentando en los próximos años, provocando una mayor recurrencia de eventos de calor extremo, los cuales afectarán entre otras cosas a los aeropuertos (IPCC,2013). Esta afectación se reflejará en el rendimiento de los aviones, por lo cual, tendrán a aumentar las restricciones de peso, principalmente en aquellos aeropuertos que se encuentran a mayor altitud y los que cuentan con pistas de longitud corta para expandirse. Un factor crítico en el rendimiento de los aviones, es la Altitud de Densidad (DA), que corresponde a la distancia vertical sobre el nivel del mar en una atmosfera estándar. Es un indicador de la altitud en función de la densidad del aire en que opera la aeronave. [Federal Aviation Administration, (FAA), 2010]. Esto es, una baja densidad del aire resulta en aumento de Altitud de densidad, lo cual afecta la elevación del avión a una velocidad dada, requiriendo menor peso para mejorar su rendimiento. Como la DA, depende de variables meteorológicas como la temperatura del aire y la presión, las que a su vez varían en distintas escalas de tiempo ya sea horarias, estacionales o decadales, se ha estudiado la DA durante el verano en Punta Arenas, mediante una ecuación simplificada (1b) (Goodman, C., & Small Griswold, J., 2018), con el fin de evaluar su comportamiento en el período más cálido del año en la ciudad.

$$(1a) \quad PA = (P_o - P_{alt}) * 1000 + H_{aeropuerto}$$

$$(1b) \quad DA = PA + 120(T - T_s)$$

Donde PA es la altitud de presión,  $P_o$  es la presión estándar en pulgadas de Mercurio,  $P_{alt}$  es la presión del altímetro ajustado en pulgadas de Mercurio,  $H_{aeropuerto}$  es la elevación del aeropuerto en pies,  $T$  es la temperatura observada en °C  $T_s = T_o - 0.002 * H_{aeropuerto}$  y  $T_o = 15^\circ\text{C}$  (atmosfera estándar).

En Punta Arenas, el aeropuerto está ubicado a una altitud de 130 pies, sin embargo, al evaluar la altitud de densidad en verano utilizando la temperatura máxima, se estima que durante 1990 el avión funcionaría como si estuviese ubicado a 500 pies [Fig. 26], lo que demuestra que la temperatura y la presión pueden provocar cambios en el rendimiento de los aviones. Por otro lado, al evaluar la Altitud de densidad con la temperatura media, se estima que el avión funcionaría en verano de 1990 como si estuviese ubicado a 260 pies. Esta evaluación fue realizada para todos los veranos entre 1990 y el 2017, demostrando que la altitud de densidad a partir de la temperatura máxima ha aumentado a razón de 33 pies por década, mientras que la Altitud de densidad evaluada con la temperatura media, ha aumentado en 88 pies en 10 años en el aeródromo de Punta Arenas. Si bien, en cada mes de verano hay un aumento en la altitud de densidad (temperatura máxima); diciembre (38 pies por década), enero (5.8 pies por década) y febrero (46 pies por década), [Fig. 27], este aumento no es significativo al 5% de confianza según el test estadístico T-Student.

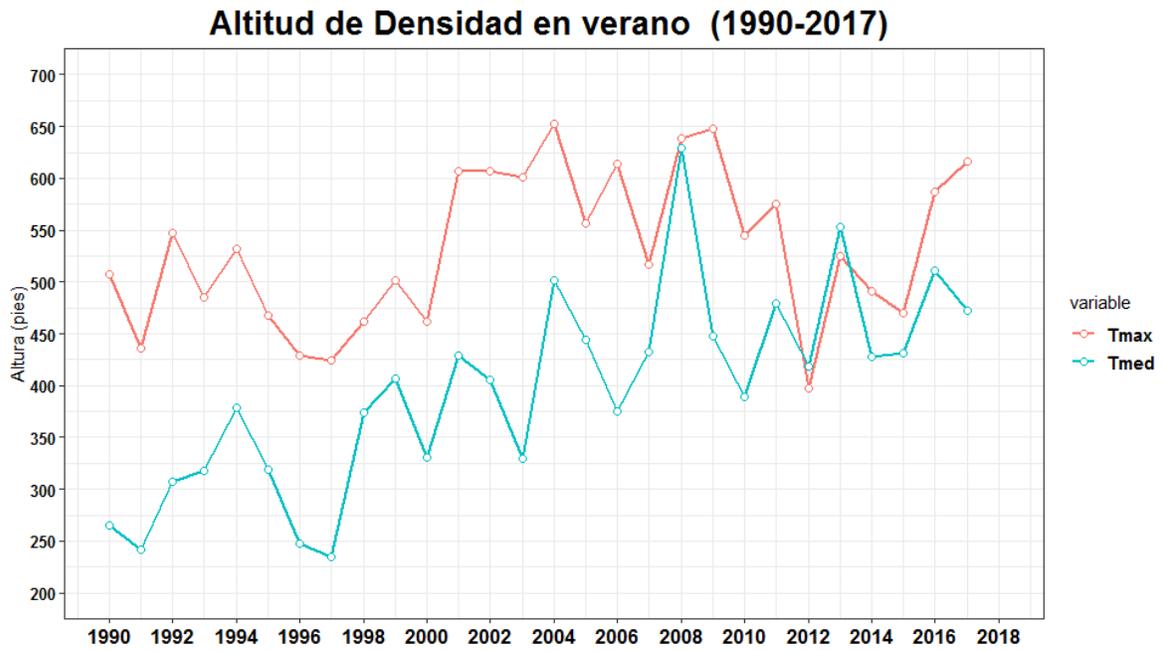


Fig. 26: Altitud de densidad (pies), obtenida a partir de la temperatura media (línea calipso), y de la temperatura máxima (línea roja), durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero) desde 1990 a 2017 en el aeropuerto de Punta Arenas.

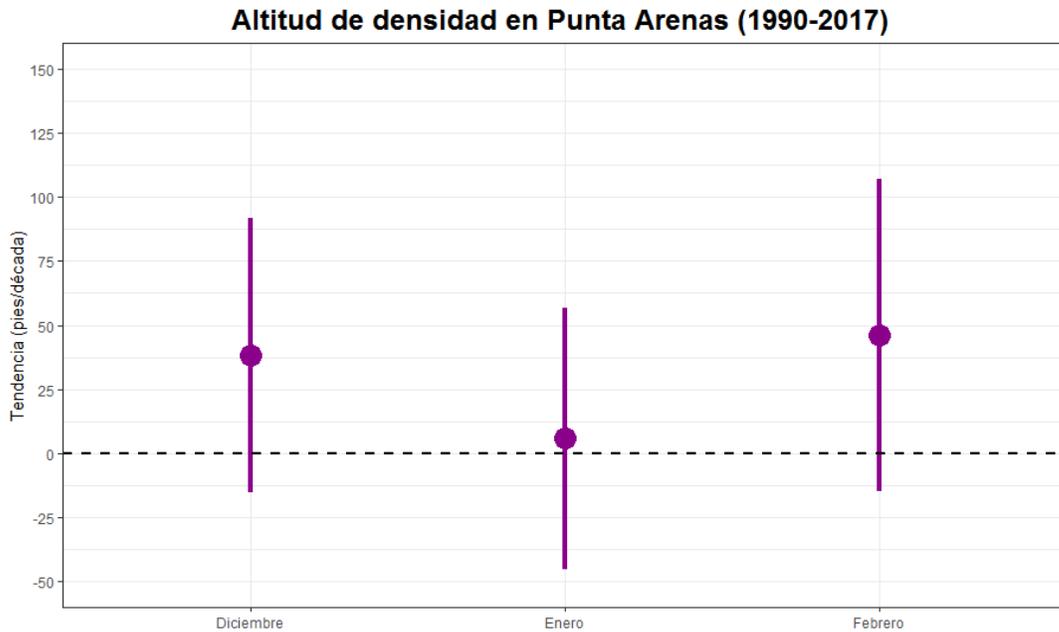


Fig.27: Tendencia de la Altitud de densidad (pies/década), obtenida a partir de la temperatura máxima para cada mes de verano (diciembre, enero y febrero) desde 1990 a 2017 en el aeropuerto de Punta Arenas.

## CONCLUSIONES

El efecto que produce la ubicación de la Cordillera de los Andes en la zona austral, es determinante para la cantidad de precipitación registrada en cada localidad de esta zona. Mientras en Puerto Edén ubicada en la ladera oeste de la Cordillera de Los Andes, se registra un total anual de 2900 (mm), en Villa O'Higgins ubicada muy cerca, pero en la ladera oriente se registra sólo 800 (mm) al año, dejando en evidencia el efecto Foehn que provoca la Cordillera en esta parte del territorio chileno. Por otro lado, las precipitaciones al igual que en el resto del país, han disminuido en el FIR Austral, llegando incluso a déficit de 150 (mm) durante el año 2016, convirtiéndolo en el año más seco desde 1990. Además, los eventos extremos de precipitación, también han disminuido en prácticamente todas las estaciones de la zona, a excepción de Puerto Edén, que ha aumentado la cantidad registrada de precipitación en días extremadamente lluviosos.

Las temperaturas extremas por su lado, en promedio varían entre los 0°C y los 13°C en el FIR Austral, las cuales han aumentado desde 1990 en todas las estaciones del año, especialmente en invierno, en que tanto la temperatura máxima como la mínima han aumentado a razón de 0.4°C por década. Además, al contrario de la precipitación, los eventos extremos como los días cálidos y las noches cálidas han aumentado en todas las estaciones del FIR Austral, e incluso, se ha visto

con mayor frecuencia los días con temperaturas sobre 25°C en estaciones como Balmaceda y Lord Cochrane.

La intensidad del viento en Punta Arenas, también ha aumentado en la última década, especialmente durante junio, en que se ha visto un aumento de 4 nudos en cualquier hora del día con respecto a la década anterior. Sin embargo, la intensidad de las rachas de viento, han disminuido o se han mantenido con respecto a la década anterior en el aeropuerto de Punta Arenas.

Con respecto a las operaciones aéreas por variables meteorológicas aeronáuticas, podrían limitarse durante septiembre específicamente, ya que, durante este mes, los registros en que la base de la nubosidad es de 200 pies y la visibilidad se reduce a 800 metros son más frecuentes, los cuales se asocian principalmente a la niebla y a los chubascos de lluvia.

Finalmente, si bien, la altitud de densidad no adquiere mayor altura en Punta Arenas durante el verano, la tendencia al aumento si es un punto a destacar en este estudio, sobre todo si según las proyecciones de cambio climático se espera que la temperatura siga aumentando, por lo cual, es importante plantearse la necesidad de revisar procedimientos y manuales para que las operaciones aéreas se adapten de la mejor manera posible a los cambios que se esperan a futuro.

## REFERENCIAS

Coffel, E., Horton, R., (2015) "Climate Change and the Impact of extreme temperatures on aviation". Departamento Earth and Environmental Sciences, Columbia University, New York, USA.

CR2 (2015) "Informe de la Megasecuía 2010-2015" Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Universidad de Chile.

Cruz C., J. Calderón (2008). "Guía Climática Práctica". Departamento de Climatología y Meteorología Aplicada, Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

DMC (2008). "Climatología sinóptica para el sur de Chile". Departamento de Climatología y Meteorología Aplicada, Dirección Meteorológica de Chile.

Federal Aviation Administration, (2010). "Performance and Accountability Report". (FAA).

Garreaud, R., Lopez, P., Minvielle M., Rojas M., (2013). Large Scale Control on the Patagonian Climate. Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Goodman, C., & Small Griswold, J., (2018). "Climate Impacts on Density Altitude and Aviation Operations". Atmospheric Sciences Department, University of Hawai'i at Mānoa, Honolulu, Hawaii

IPCC 2013. AR5-WGI, The Physical Science Basis: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Ministerio Medio Ambiente: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2017 - 2022. MMA (2017).

Procedimientos Aeronáuticos DAP, 2008. "Evaluación de la Visibilidad y Alcance Visual en la Pista (RVR). Dirección General de Aeronáutica Civil.

Puempel, H., and P. D. Williams, 2016: The impacts of climate change on aviation: Scientific challenges and adaptation pathways. ICAO Environmental Report 2016: On Board A Sustainable Future, 205–207.

Reglamentos Aeronáuticos DAR, (2017). "Operaciones de Aeronaves" DAR 08. Dirección General de Aeronáutica Civil.

Santana, A., C. Porter, N. Butorovic & C. Olave (2006). "Primeros antecedentes Climatológicos de Estaciones Automáticas (Aws) en el Canal Beagle, Magallanes, Chile". Anales Instituto Patagonia (Chile).



**DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE**

Av. Portales 3450, Estación Central-Santiago  
Teléfono +562-24364538 – Fax +562-24378212