



**FACULTAD DE CIENCIAS**

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**VARIABILIDAD DE LA CAPA ACTIVA EN LA REGIÓN ÁRTICA**

Autora: Claudia Pérez Ramos

Tutor: Miguel Ángel De Pablo Hernández

2020



*“C'est une triste chose de songer que la nature parle et que le genre humain  
n'écoute pas.”*

Es triste pensar que la naturaleza habla y que el género humano no escucha.

VICTOR HUGO

*“Wildness is the preservation of the World.”*

En la naturaleza está la preservación del mundo.

HENRY DAVID THOREAU



## **RESUMEN**

La preocupación social sobre el calentamiento global y la pérdida de permafrost ártico se refleja en un aumento en la publicación de noticias periodísticas en todos los medios de comunicación. Desde hace décadas, la red CALM monitorea la capa activa en todo el mundo al tratarse de un indicador del estado térmico del permafrost. Debido a la importancia ecológica, económica y social del permafrost, con este estudio se pretende conocer la variabilidad de la capa activa ártica entre 1994-2017 de 58 estaciones CALM y relacionarla con las variaciones en las temperaturas del aire así como con factores biogeográficos (tales como la altitud, vegetación o ambiente geomorfológico). Los resultados muestran variaciones interanuales de espesores de capa activa entre -3,4 y 3,6 cm, siendo la velocidad promedio de cambio de 1,71 cm/año. Existe una relación positiva entre las temperaturas medias anuales del aire y el espesor de la capa activa en el 63,8% de las estaciones, con  $p < 0,25$ . La variabilidad no ha sido igual en todas las regiones, destacando Eurasia como la zona con mayores variaciones en los espesores de capa activa. Las vegetaciones asociadas a mayores variaciones han sido de tipo tundra y arbusto de tundra y los ambientes geomorfológicos con mayores fluctuaciones de capa activa han sido el glacial y periglacial y el marino costero. Las diferencias regionales podrían deberse a factores climáticos relacionados con la circulación atmosférica y oceánica además de factores locales, como la cobertura nival, humedad del aire, exposición o los estudiados en el presente trabajo.

Palabras clave: cambio climático, permafrost, espesor capa activa, variabilidad, Ártico, CALM, temperatura media anual del aire, vegetación, ambiente geomorfológico, velocidad de cambio.



## **ABSTRACT**

Social concern about global warming and arctic permafrost loss is reflected in an increase in the publication of news in all media. For decades, the CALM network has been monitoring the active layer worldwide as it is an indicator of the thermal status of permafrost. Due to the ecological, economic and social importance of permafrost, this study aims to know the variability of the arctic active layer between 1994-2017 of 58 CALM stations and relate it to variations in air temperatures as well as biogeographical factors (such as altitude, vegetation or geomorphological environment). The results show year-on-year variations in active layer thicknesses between -3.4 and 3.6 cm, with the mean rate of change being 1.71 cm/year. There is a positive relationship between the mean annual air temperatures and the thickness of the active layer in 63.8% of the stations, with  $\rho < 0.25$ . Variability has not been equal in all regions, highlighting Eurasia as the area with the greatest variations in active layer thicknesses. The vegetations associated with greater variations have been tundra and tundra shrub types and the geomorphological environments with the greatest fluctuations of active layer have been glacial and periglacial and the marine-coastal types. Regional differences may be due to climate factors related to atmospheric and ocean circulation as well as local factors, such as nival coverage, air humidity, exposure or those studied in this work.

Keywords: climate change, permafrost, active layer thickness, variability, Arctic, CALM, mean air annual temperature, vegetation, geomorphological ambient, rate of change.





# Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. <i>Contexto actual: degradación del permafrost</i> .....	1
1.2. <i>Definición y características del permafrost</i> .....	2
1.3. <i>Funciones ecosistémicas del permafrost y relevancia</i> .....	5
1.4. <i>Objetivos</i> .....	6
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1. <i>Estaciones de muestreo CALM</i> .....	7
2.2. <i>Datos</i> .....	9
2.3. <i>Tratamiento de datos</i> .....	10
3. RESULTADOS.....	11
3.1. <i>Espesores de capa activa y temperaturas</i> .....	11
3.2. <i>Evolución por regiones</i> .....	13
3.4. <i>Relación de la capa activa con factores biogeográficos</i> .....	16
3.4.1. <i>Altitud</i> .....	16
3.4.2. <i>Relieve</i> .....	17
3.4.3. <i>Vegetación</i> .....	19
4. DISCUSIÓN.....	20
5. CONCLUSIONES.....	24
AGRADECIMIENTOS.....	26
REFERENCIAS.....	26
ANEXOS.....	39
Anexo I. <i>Detalle de la región de estudio</i> .....	41

<b>Anexo II. Tablas generales de estaciones CALM.....</b>	<b>45</b>
<b>Anexo III. Variaciones interanuales de capa activa.....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo IV. Velocidad de cambio de la capa activa .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo V. Gráficas de capa activa y temperaturas por estaciones .....</b>	<b>69</b>
<b>Anexo VI. Evolución de 12 estaciones con continuidad temporal.....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo VII. Coeficientes de Pearson .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo VIII. Evolución de la capa activa en función de la altitud.....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo IX. Evolución de la capa activa en función del relieve.....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo X. Variabilidad de la capa activa en función del ambiente geomorfológico .....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo XI. Evolución de la capa activa en función de la vegetación .....</b>	<b>95</b>
<b>Anexo XII. Variabilidad de la capa activa en función de la vegetación...</b>	<b>97</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. *Contexto actual: degradación del permafrost*

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), fundado en 1988, redacta el Primer informe de evaluación (FAR) en 1990, evidenciando la preocupación acerca del cambio climático y la necesidad de una coordinación y cooperación internacional en este ámbito. Más tarde, en 1992 se aprueba la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) con el propósito de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) a través del Protocolo de Kioto (IPCC, 2020; MITECO, 2020; UNCC, 2020). A raíz de estos sucesos, surgen numerosas iniciativas para la lucha contra el cambio climático y paliar sus efectos, pero aún con ello se siguen dando consecuencias irreversibles y devastadoras para el entorno del que forma parte el ser humano.

La preocupación sobre este problema ya no sólo alcanza la comunidad científica, sino que la creciente inquietud social se refleja en un aumento en la publicación de noticias periodísticas en todos los medios de comunicación, en los que se alerta a la ciudadanía sobre los efectos que está produciendo el calentamiento global sobre la criosfera y los ecosistemas asociados a esta: afección a los suministros del agua y elevación del nivel del mar (ABC 2001, 2007, 2018a; El País, 2019); aumento de GEIs por la liberación de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> y por la descomposición de biomasa que se encontraban atrapados en el hielo prehistórico (ABC 2015, 2017, 2018a, 2019c; ESA, 2020; National Geographic, 2019a); aumento de la temperatura del suelo provocando sequedad y propagación de incendios en regiones polares (ABC 2019b, 2019c, 2020c; National Geographic, 2019a); riesgos asociados a inestabilidades del terreno, deslizamientos y destrucción del litoral costero e infraestructuras (ABC 2007, 2017, 2018a, 2020a; El País, 2020a; National Geographic, 2019a); desaparición de especies sensibles y desplazamiento de especies subárticas a regiones árticas provocando cambios en los ciclos ecosistémicos (El País, 2020b; National Geographic, 2019a, 2019b); exposición y riesgo de degradación de restos arqueológicos y paleontológicos preservados en el suelo congelado (ABC 2018b, 2019a; National Geographic 2016, 2019c); aparición de virus y bacterias prehistóricos desconocidos, entre otros (ABC, 2020b). Estos problemas se

hacen eco al existir una mayor concienciación y por ser consecuencia última de una situación global crítica: se está acelerando el detrimento y desaparición de las masas de hielo y de lo que se conoce como permafrost.

## **1.2. Definición y características del permafrost**

El permafrost es suelo permanentemente congelado por un periodo de mínimo dos años, por lo que se refiere a un estado físico del suelo que puede presentar hielo (Dobinski, 2011). Se relaciona con el ambiente periglacial (regiones circumpolares y de alta montaña) y representa un 26% del área total del suelo mundial (NRC, 1981), estando mayormente distribuido en el norte de América y Asia.

La estructura de suelos con permafrost se rige por su perfil vertical térmico (Figura 1) siguiendo un gradiente geotérmico, donde se diferencian tres zonaciones: la base del permafrost (no criótica, es decir, con una temperatura superior a 0°C), el permafrost (criótico, donde se encuentra la *profundidad de amplitud anual cero (ZAA)*<sup>1</sup>) y la capa activa, donde se produce un *desfase térmico*<sup>2</sup> (Kimble, 2004).

La capa activa es la fracción de suelo que sufre heladas estacionales, se descongela en verano y se vuelve a congelar en invierno cada año. En caso de existir permafrost, se sitúa sobre éste, siendo la base de la capa activa el techo de permafrost por analogía con la capa freática. Los periodos de congelación-descongelación en la capa activa permiten la existencia de agua líquida intersticial, que promueve la traslocación de materiales y el acondicionamiento de ambientes hostiles para el desarrollo de vida (de Pablo et al., 2017). Es responsable de la transmisión de la temperatura del aire a la litosfera y juega un papel clave en la interacción del permafrost con la atmósfera ya que sus propiedades termo-mecánicas condicionan el intercambio de energía, gases y humedad, lo que afecta a las propiedades, temperatura y espesor del permafrost. El espesor de la capa activa, que varía de unos centímetros a más de un metro, es una variable importante del estado del permafrost, ya que un aumento del

---

<sup>1</sup> Profundidad a la que la diferencia entre la temperatura máxima anual y la mínima anual es 0 (Kimble, 2004).

<sup>2</sup> Diferencia entre la temperatura media anual de la superficie del suelo y la temperatura media anual del techo del permafrost (Kimble, 2004).

espesor de la capa activa afecta el transporte de carbono y ciclo de nutrientes del permafrost (van Huissteden, 2020). El espesor de la capa activa depende de factores tales como la temperatura de la superficie y las propiedades térmicas del suelo y su cubierta, el contenido de humedad y materia orgánica, la cobertura nival, etc. (Kimble, 2004).

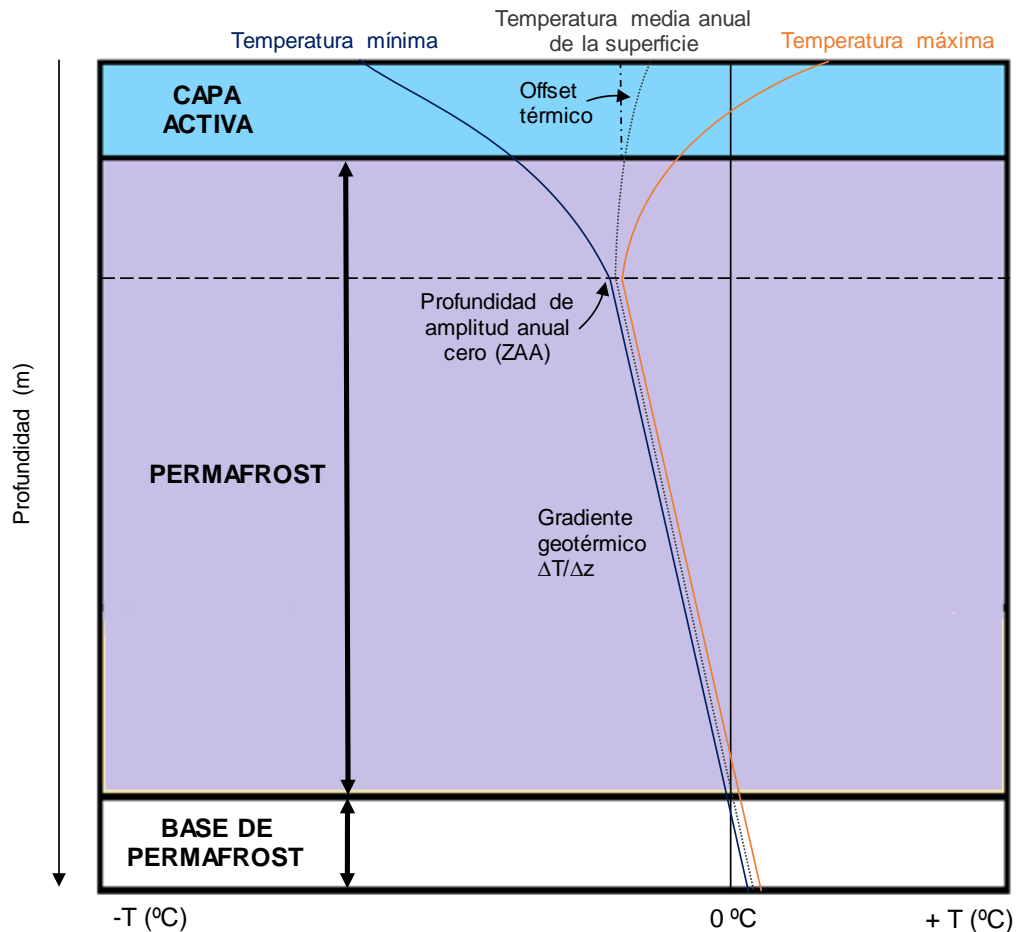


Figura 1. Esquema del perfil vertical de temperatura del terreno en una zona de permafrost. Modificado de Dobinski (2011) y van Huissteden (2020).

En función de la continuidad espacial, el permafrost se puede diferenciar en permafrost continuo (que representa el 46,9% del permafrost terrestre), discontinuo (19,2%), esporádico (17,1%) y aislado (16,8%). El permafrost continuo (donde el 90% de la superficie o más es permafrost) ocupa las latitudes más septentrionales y climas más fríos con una capa activa generalmente poco profunda. El permafrost discontinuo (50-90% del terreno es permafrost) es de

menor espesor con una capa activa más profunda y con presencia de *taliks*<sup>3</sup>. Las zonas de permafrost esporádico (10-50% del terreno es permafrost) y aislado (10% o menos es permafrost) contienen permafrost fragmentado, se encuentran en laderas orientadas al norte o en profundas depresiones y la capa activa puede tener varios metros de espesor y numerosos *taliks* (Jones et al., 2009).

Desde la década de 1990, el programa de monitorización circumpolar de la capa activa (Circumpolar Active Layer Monitoring, CALM) ha estudiado el estado de la capa activa en el Ártico, subártico, Antártida y regiones montañosas (Shiklomanov et al., 2008). Junto con el Programa del Estado Térmico del Permafrost de la Asociación Internacional del Permafrost (International Permafrost Association, IPA) forman la Red Terrestre Global para el Permafrost (Global Terrestrial Network for Permafrost, GTN-P). La red CALM es un sistema de estaciones en las que se recopilan datos sobre el espesor de la capa activa para observar y detectar la respuesta a largo plazo a los cambios en el clima. Dichas estaciones consisten en una malla de muestreo, con tubos dispuestos a equidistancias unos con otros, para medir el espesor de capa activa (Active Layer Thickness, ALT) a distintas profundidades (Figura 2), pudiendo estar acoplada a una instalación de monitoreo del Estado Térmico del Permafrost (Thermal State of Permafrost, TSP) (Streletskiy et al., 2017). Las mediciones de temperatura en profundidad y del espesor de la capa activa son indicadores del calentamiento del permafrost. Tal como se ha explicado, la capa activa juega un papel clave en la interacción del permafrost con la atmósfera debido a sus propiedades termomecánicas: si se produce un aumento en las temperaturas del aire en la superficie tendrán lugar procesos de descongelación y el espesor de capa activa aumentará, por lo que su medición es un método útil para conocer el estado del permafrost. Para determinar el espesor de la capa activa se emplean tres métodos: sondeos mecánicos manuales con varillas, medidas de temperatura y tubos de congelación-descongelación (Shiklomanov et al., 2008). Los sondeos mecánicos manuales de capa activa en mallas CALM se realizan cuando la profundidad es máxima o próxima a ésta (Shiklomanov et al., 2008), es decir, en los meses

---

<sup>3</sup> *Cuerpos descongelados dentro del permafrost que se desarrollan bajo cuerpos de agua debido a sus propiedades térmicas. A menudo, el desarrollo de taliks y su eventual recongelación se relaciona con cambios en los cursos de ríos o lagos (van Huissteden, 2020).*

estivales cuando se produce mayor descongelación.

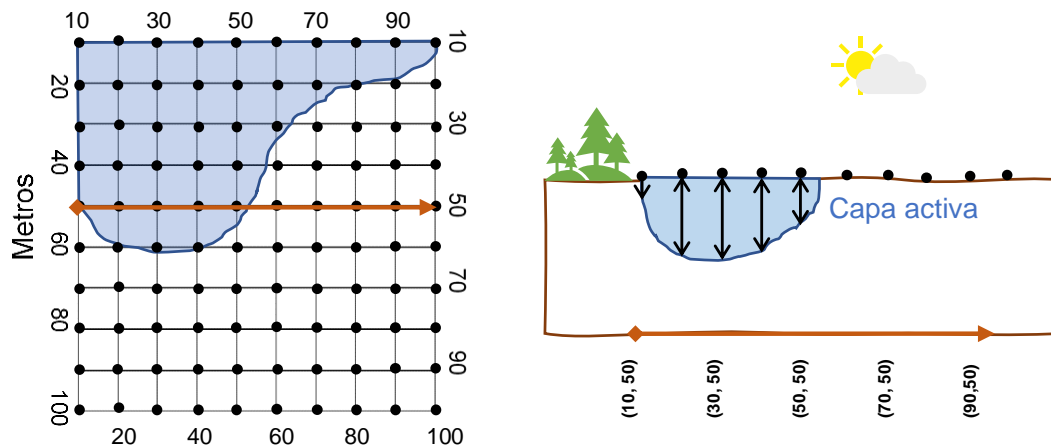


Figura 2. Esquema de ejemplo de una malla CALM de 100x100 m estándar para la medida de espesores de capa activa). Modificado de Ramos et al. (2017).

### 1.3. Funciones ecosistémicas del permafrost y relevancia

El permafrost cumple funciones de estabilización de temperaturas a través de la circulación oceánica y atmosférica, regulación de flujos de gases y nutrientes (como el metano o el nitrógeno inorgánico) y ciclos biogeoquímicos, consolidación de cuerpos de agua y del suelo e inmovilización de contaminantes (van Huissteden, 2020). Contribuye a la permanencia y conservación de recursos naturales prehistóricos, así como de formas de vida antiguas (Hebsgaard y Willerslev, 2009; Steven et al., 2009). Además, es un recurso de gran interés para la investigación de condiciones extremas de aplicabilidad en estudios de Marte (Gilichinsky, 2002; Demidov y Gilichinsky, 2009).

Las primeras señales de degradación del permafrost, desde la década de 1960 hasta la actualidad, han sido el incremento de formación de *termokarsts*<sup>4</sup> (Agafonov et al., 2004; Morgenstern et al., 2011) y terrenos poligonales por la erosión térmica (AMAP, 2017). Otro indicio ha sido el aumento de los procesos de ladera como deslizamientos, desprendimientos y vuelcos en zonas de montaña y de costa, aumentando los riesgos y la regresión de la línea de costa

<sup>4</sup> Hundimiento progresivo de la superficie del permafrost por degradación de las capas superiores debido a cambios que afectan a los procesos de descongelación-congelación (cambio climático, variación de la vegetación, alteración en el uso del suelo, etc.). La acumulación de humedad y nieve ralentiza el congelamiento y acelera el deshielo, pudiéndose formar lagos en su superficie o lagos termokársticos (Jones et al., 2009).

(Nelson et al., 2001; Romanovskii et al., 2004; Lantuit et al., 2012; Arenson y Jakob, 2015; Jermyn y Geertsema, 2015; Li et al., 2015; Schoeneich et al., 2015; Jones et al., 2018). Estas inestabilidades en el terreno ocasionan daños en edificios, vías, puentes y otras infraestructuras (NRC, 1981; Ma et al., 2011; Duvillard et al., 2015; Keuschnig et al., 2015; Shan et al., 2015), llegando a provocar en numerosos casos accidentes con severas repercusiones ambientales y socio-económicas, como el reciente vertido de diésel al río Ambárnaya acontecido el 29 de mayo en Norilsk (Rusia), un desastre de magnitud similar al derrame del buque cisterna "Exxon Valdez" en Alaska (1989) ([El Confidencial, 2020](#); [El País, 2020d](#)). Por otro lado, la descongelación de permafrost conlleva la alteración de los ciclos biogeoquímicos (Yang et al., 2010; Harms y Jones, 2012; Vonk et al., 2012; Schuur et al., 2013), la emisión de GEIs (González-Eugino y Neumann, 2016) y diversos problemas relacionados con la hidrodinámica de los flujos de agua, como cambios en la dinámica lacustre y fluvial, por ejemplo, en la descarga de ríos e inundaciones (Vonc et al., 2015; Zheng et al., 2019); traslocación de contaminantes como hidrocarburos, radioisótopos o agentes biológicos contenidos en el permafrost a otros estratos del suelo y reservorios de agua (Braddock y McCarthy, 1996; Barnes y Chuvilin, 2009; Bond y Carr, 2018; Emerson et al., 2018); alteraciones en los balances hidrológicos, entre otros. Todo ello conlleva un desequilibrio en los ciclos ecosistémicos que afecta a la fauna y flora en cuanto a su distribución, actividad y desarrollo (Yang et al., 2010).

Los efectos del cambio climático sobre la criosfera se han estudiado en diferentes regiones del mundo y numerosas fuentes muestran una situación alarmante: el ártico es la región que más rápido se calienta en el mundo (Hansen et al., 2010; IPCC, 2013; USGCRP, 2017). Responder a la incógnita de cómo ha sido la evolución del permafrost en el ártico es el foco del presente trabajo.

#### **1.4. Objetivos**

Debido al importante papel que juega el permafrost en el ecosistema y las consecuencias que conlleva su deterioro, la intención de este trabajo es conocer a gran escala su evolución en la región ártica en las últimas décadas. Como se ha explicado anteriormente, para el estudio del permafrost se utiliza la capa activa como indicador; por tanto, **el objetivo general es determinar cómo ha**



**variado la capa activa en la región ártica durante el periodo 1994-2017** y de qué manera han condicionado dicha variación los factores biogeográficos. Para ello, se desarrollan los siguientes objetivos parciales:

- Analizar las temperaturas del aire y espesores de capa activa ártica del periodo 1994-2017 en función de la región (latitud y longitud).
- Identificar las zonas de capa activa que han experimentado mayor velocidad de cambio en su espesor durante el periodo 1994-2017.
- Establecer la relación entre la variabilidad de las temperaturas del aire y la variabilidad del espesor de la capa.
- Relacionar la altitud, el relieve y la vegetación con la variabilidad del espesor de la capa activa.
- Analizar la dependencia o independencia de la variación de la capa activa con los factores biogeográficos.
- Definir la evolución de la capa activa en función de los distintos parámetros estudiados.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Estaciones de muestreo CALM**

Se han seleccionado 58 estaciones (Anexo I) desde la [base de datos del GTN-P](#) de las 253 estaciones mundiales registradas en la base de datos, siguiendo los siguientes criterios:

- *Altitud de la estación menor de 900 metros.* Atendiendo al gradiente térmico altitudinal, a cierta elevación las variaciones de temperaturas no afectan al régimen térmico del permafrost, por lo que hay que establecer un límite altitudinal para poder relacionar los cambios de temperatura con los cambios en la capa activa. Para distinguir el permafrost formado en regiones montañosas (permafrost alpino o montañoso) del formado en la región ártica (permafrost ártico o polar), se establece un borde altitudinal a 500 m.s.n.m. (Dobinski, 2011). Dentro del permafrost ártico o polar existe cierta complejidad para diferenciar el permafrost de clima de alta montaña con el de clima polar,

ya que estos pueden solaparse en el eje altitudinal. Por ello se han establecido 900 metros como límite altitudinal para incluir así permafrost ártico que se localice a más de 500 m.s.n.m. pero sin llegar a un clima de alta montaña (Figura 3).

- **Ubicación:** la región circumpolar norte se define como la región que rodea el Polo Norte por encima de una latitud de 50°N, encontrando el Círculo Polar Ártico en torno a los 66°33´N. Sin embargo, la distribución del permafrost en la región ártica no es homogénea ni sigue un patrón latitudinal uniforme. Por ello, para efectos prácticos de este trabajo y con apoyo cartográfico del Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region (Jones et al., 2009), se ha establecido el límite latitudinal a 55° N en la región euroasiática y 60° N en la región norteamericana.

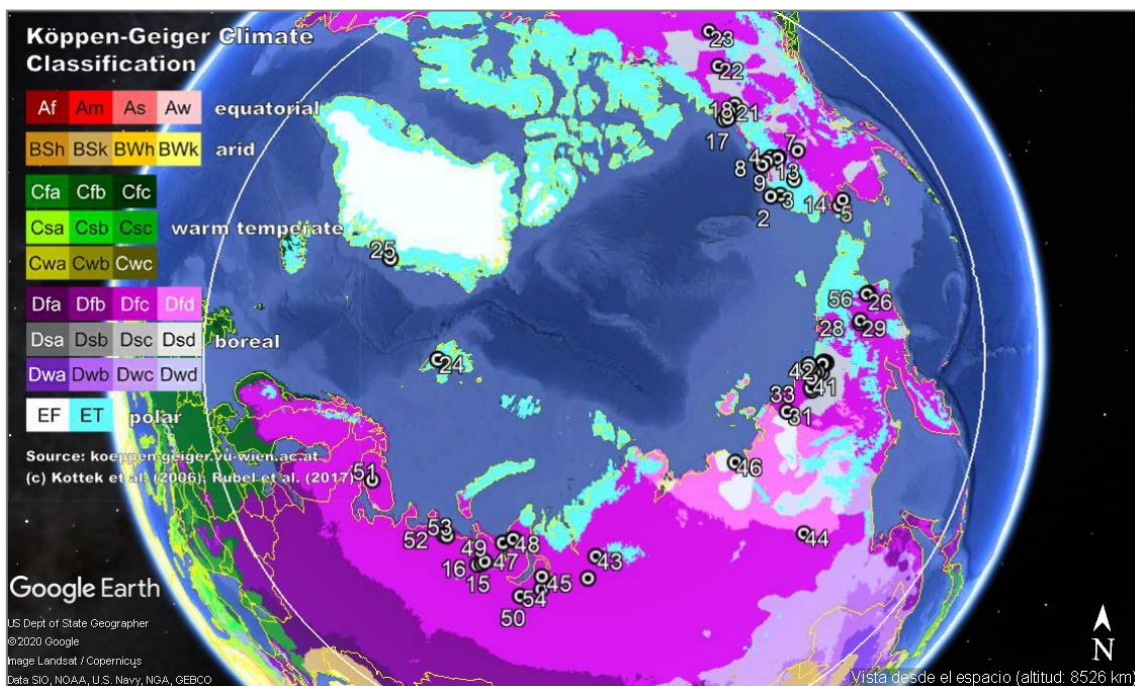


Figura 3. Mapa de la región ártica con las estaciones CALM numeradas y ubicadas sobre sectores coloreados según la clasificación climática Köppen-Geiger. Se distribuyen climas polares y subárticos, destacando EF (hielo permanente o glacial), ET (tundra polar), Dfc y Dfd (continental húmedo). Fuente del mapa base: Google Earth.

- **Tipo de malla:** se escogieron mallas de 50x50, 100x100 y 1000x1000 metros. Las mallas de 100x100 se definen como las estándar según los criterios para la instalación de estaciones CALM descritos en el [Protocolo de Capa Activa](#) (Nelson et al., 1996). También se han empleado mallas de 50x50 porque

generalmente comprenden unidades de paisaje más homogéneas y las de 1000x1000 porque, a pesar de poder englobar distintas unidades de paisaje, pueden describir el comportamiento de la capa activa en una región más amplia (Shiklomanov et al., 2008). El interés, por tanto, de seleccionar dichos tipos de mallas es tanto a nivel continuidad espacial para describir la tendencia de la capa activa, como a nivel biogeográfico para poder relacionar factores como la vegetación con la variación de la capa activa.

- *Continuidad temporal*: continuidad de los datos de la serie temporal 1994-2017 en un 90% o más para evitar desviaciones de la muestra y sesgos. Se seleccionaron estaciones con mínimo 5 años de datos con el fin de poder obtener una tendencia *grosso modo* de la capa activa.

## **2.2. Datos**

Se descargaron datos numéricos de profundidad de capa activa (cm), de temperaturas del aire (°C) e información en texto de las estaciones a estudiar. Los datos de capa activa, procedentes del GTN-P, se descargaron como archivos Excel asociados a metadatos en documentos de texto en formato ASCII con información sobre el nombre de la estación, región o país, coordenadas, altitud, dimensiones de cuadrícula CALM, zona de permafrost (continuo o discontinuo), tipo de vegetación predominante y forma relieve, entre otros (Anexo II. Tablas 1 y 2).

En cuanto a los datos de temperatura del aire, se ha empleado el [visor POWER](#) (aplicación GIS) de Langley Research Center de NASA para la descarga de archivos Excel con datos de temperatura máxima, mínima y media anual a 2 metros del suelo (Anexo II. Tablas 3, 4 y 5). Los datos de temperatura se obtuvieron mediante el modelo Modern Era Retro-analysis for Research and Applications – (MERRA-2) (Stackhouse et al., 2018), también de NASA. Tal como describe la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), las temperaturas máxima, mínima y media anuales (a partir de ahora  $TM_{\text{áxMA}}$ ,  $TM_{\text{ínMA}}$  y  $TMA$ ) se calculan mediante el promedio de las temperaturas máximas, mínimas y medias registradas en cada mes del año, respectivamente (AEMET, 2020).

### **2.3. Tratamiento de datos**

Se calculó el promedio de los valores más altos de espesor de capa activa, medida en los meses estivales (junio, julio, agosto), para determinar la profundidad máxima de capa activa anual. Con ello, se realizó una correlación de Pearson (Dagnino, 2014) (Anexo VII) con los datos de temperaturas para establecer si existe una dependencia lineal entre la temperatura del aire y el espesor de capa activa.

Las distintas clases de vegetación registradas en los metadatos de las 58 estaciones descargadas de la base de datos GTN-P se han simplificado en arbusto de tundra, pradera y musgo, tundra, bosque de tundra y bosque de conífera. De la misma forma, las formas de relieve se han clasificado según el Manual de campo para la descripción de suelos y muestras de la USDA (Schoeneberger et al., 2012) por ambientes geomorfológicos, quedando las clases de ladera, fluvial, glacial y periglacial, lacustre y marino/costero.

Partiendo de los datos de profundidad de capa activa, se ha calculado la variación interanual (diferencia de profundidad de un año al consecutivo) para todo el periodo de estudio. Con estas diferencias se ha calculado la variación interanual media de la capa activa para cada estación en el periodo 1994-2017, la desviación estándar para dichos valores y el promedio de todas las variaciones interanuales medias (Anexo III). Para poder analizar las variables biogeográficas (vegetación, ambiente geomorfológico) con la variación de los espesores de capa activa se han relacionado gráficamente los promedios de las variaciones interanuales y las desviaciones estándar de capa activa con cada clase biogeográfica (Anexo X; Anexo XII).

Por otro lado, se ha calculado la velocidad de cambio de la capa activa para cada estación, mediante el cociente de la diferencia del valor máximo y mínimo de profundidad de capa activa entre el número de años del periodo con datos para dicha estación (Anexo IV).

Con respecto a la altitud, con valores hasta algo más de 800 m.s.n.m., se han establecido tramos altitudinales para poder comparar la variación de la capa activa en el eje altitudinal y el tipo de vegetación, calculando el porcentaje de distribución vegetal de cada clase según el tramo altitudinal. Para ello se han

contabilizado el número de estaciones con cada tipo de vegetación en un tramo altitudinal concreto, dividido por el número total de estaciones en ese tramo y multiplicado por 100.

De manera específica, se ha estudiado la evolución de la capa activa en 12 estaciones (Anexo VI. Figura 1) seleccionadas por su continuidad temporal en los datos, prestando mayor atención en los años 1997, 2005, 2012 y 2017. Además, se calculó la velocidad de cambio media para el conjunto de las 12 estaciones (Anexo IV. Tabla 2).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. *Espesores de capa activa y temperaturas*

Los valores obtenidos para el periodo 1994-2017 de espesor de capa activa (Figura 4) van de 22,95 cm (estación de Yakutskoe Lake en Rusia, 1999) a 186,03 cm (estación de Nadym Grid en Rusia, 2016), siendo el valor medio del rango 66,91 cm (Anexo II. Tabla 2).

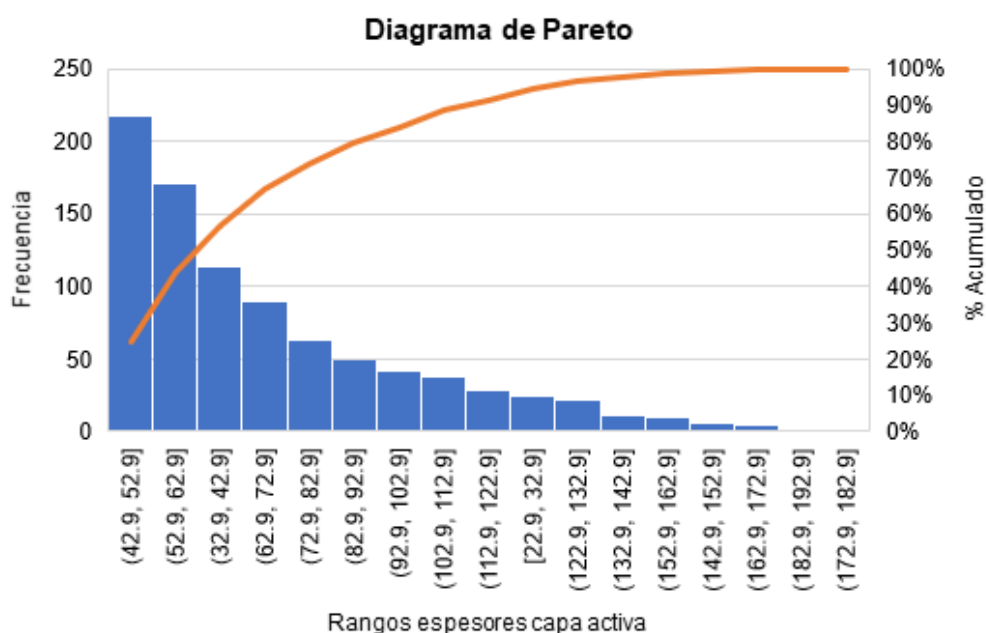


Figura 4. Rangos de espesores de capa activa obtenidos en las estaciones de estudio en el periodo 1994-2017 y la frecuencia acumulada (%).

Los promedios de las variaciones interanuales de profundidad o espesor de capa activa presentan valores comprendidos entre -3,6 a 3,4 cm, la máxima desviación estándar de las variaciones interanuales es de 22,8 cm y el promedio de las

variaciones interanuales totales es 0,5 cm (Anexo III). En cuanto a las temperaturas del aire, los valores de TMA van de  $-14,73^{\circ}\text{C}$  a  $0,12^{\circ}\text{C}$ , los de  $T_{\text{MínMA}}$  van de  $-18,12^{\circ}\text{C}$  a  $-2,80^{\circ}\text{C}$  y los de  $T_{\text{MáxMA}}$  oscilan entre  $-11,6^{\circ}\text{C}$  y  $2,7^{\circ}\text{C}$  (Anexo II. Tablas 3, 4 y 5). Se han obtenido velocidades de cambio del espesor máximo medio anual de capa activa que van desde los 0,4 cm/año hasta los 6,38 cm/año, con un promedio de 1,71 cm/año (Anexo IV. Tabla 1). Las estaciones que han registrado una velocidad de cambio mayor a 3 cm/año en el espesor de capa activa son Urengoy GAS FIELD GP15 (54), Taglu (Grid) (18), Urengoy GAS FIELD GP5 (55), Vaskiny Dachi 1 (47), Talnik (16), Nadym Grid (50), Vaskiny Dachi 3 (48) y Kashin Island (52), en su mayoría localizadas en Rusia. La tendencia general en las estaciones es el aumento progresivo del espesor de capa activa, coincidiendo los cambios de espesores con fluctuaciones en las temperaturas del aire (Figura 5).

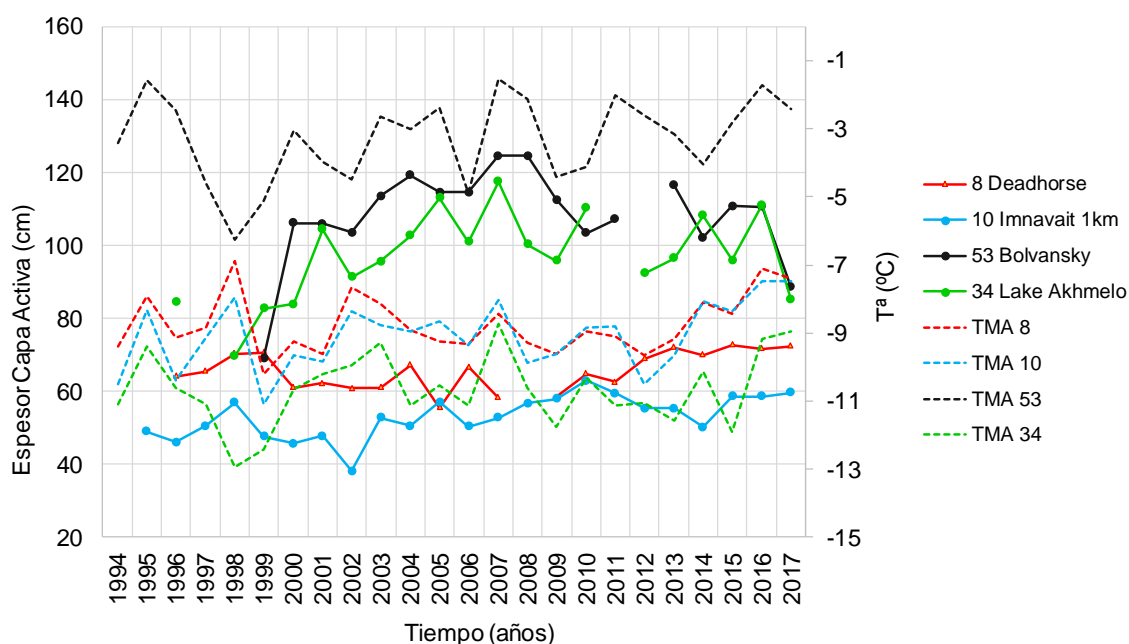


Figura 5. Ejemplos de evolución de los espesores de capa activa en estaciones con fluctuaciones en la TMA.

Hay estaciones en las que la tendencia del espesor de capa activa en el periodo de estudio ha sido aumentar, mostrando una pendiente mayor a 1,2 cm/año, como por ejemplo las estaciones de Ayach-Yakha, Talnik, Fort Simpson (Grid), Lorino o Lake Glukhoe (Anexo V. Figura 1; gráficos 15, 16, 23, 29 y 36). Otras estaciones han registrado tendencias estables en la profundidad de capa activa para el periodo de estudio, tales como Rengleng River (Grid) o Neleger (Anexo

V. Figura 1; gráficos 21 y 44). Algunas estaciones también registraron tendencias de disminución de capa activa, destacando Taglu (Grid) y Urengoy GAS FIELD GP5 (Anexo V. Figura 1; gráficos 18 y 55); sin embargo, solo representan el 15,5% de las 58 estaciones.

De manera específica, se observó la evolución de la capa activa en 12 estaciones (Figura 6) seleccionadas por su continuidad temporal en los datos.

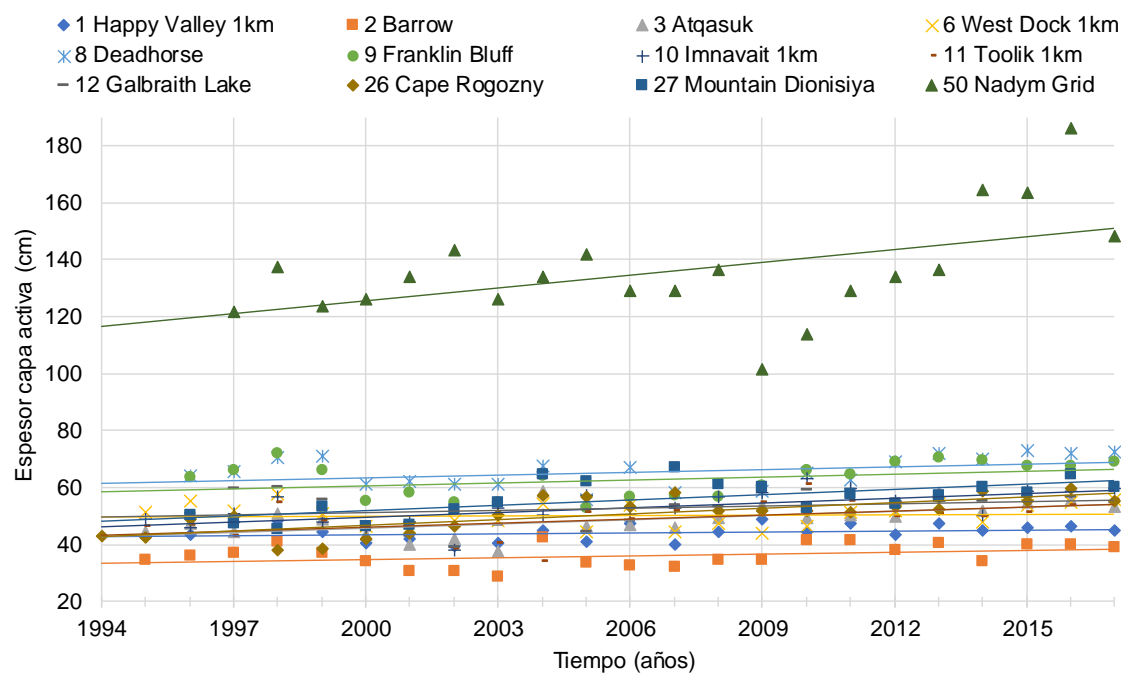


Figura 6. Evolución de la capa activa de 12 estaciones con misma continuidad temporal en el periodo 1994-2017.

La velocidad media de cambio en el espesor de capa activa registrado entre 1994 y 2017 en estas 12 estaciones es de 0,85 cm/año (Anexo IV. Tabla 2). En dicho periodo se produce un aumento del espesor de capa activa desde el año 1997 al 2005, con una leve disminución en el año 2012. En el año 2017 se registra una mayor profundidad de capa activa para las 12 estaciones (Anexo VI).

### 3.2. Evolución por regiones

Las estaciones que registran mayores variaciones medias interanuales de capa activa se sitúan a  $-60^{\circ}$  de longitud y  $60-70^{\circ}$  latitud Norte (Figura 7), llegando a aumentar o disminuir el espesor más de 3 centímetros de un año al siguiente. En función de la longitud, se observan dos manchas más compactas y otra más dispersa (Figura 7A). En función de la latitud, la dispersión de los puntos con

respecto al eje de abscisas es mayor en las estaciones de más baja latitud (Figura 7B).

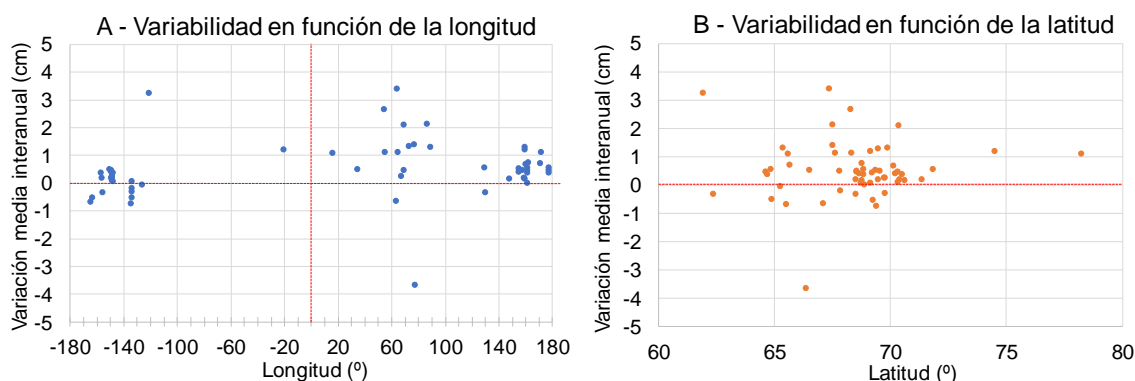


Figura 7. Variabilidad de la capa activa en función de la longitud (A) y en función de la latitud Norte (B) para el periodo 1994-2017.

La profundidad de la capa activa en la región euroasiática tiene mayor tendencia a aumentar que en la región norteamericana y es donde se encuentran los espesores más profundos (Figura 8).

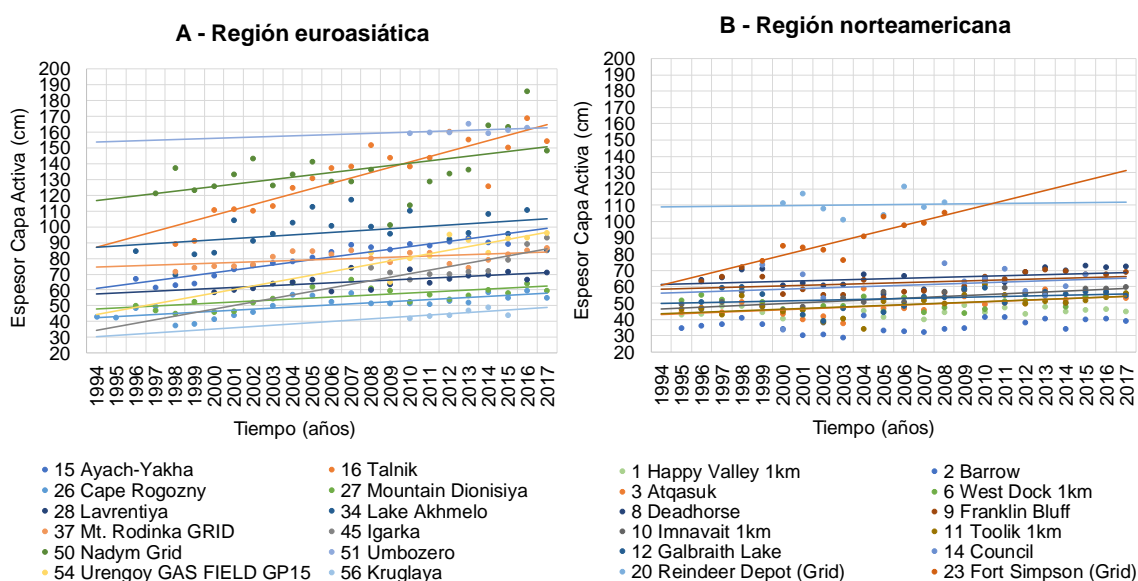


Figura 8. Evolución de la capa activa en 12 estaciones CALM de ejemplo de la región euroasiática (A) y norteamericana (B) en el periodo 1994-2017.

La región que mayor variación de capa activa ha sufrido en el periodo 1994-2017 ha sido el noroeste de Rusia al sur del Mar de Kara (promedio de 3,3 cm/año). En menor extensión la velocidad de cambio ha sido también alta en el delta y desembocadura del río Mackenzie al noroeste de Canadá (promedio de 2,7



cm/año); la península de Seward, en la costa occidental de Alaska (promedio de 2,2 cm/año); y algunos sectores cercanos a la cuenca del río Kolymá, al sur del Mar Siberiano del Este (promedio de 2 cm/año). Una zona que ha sufrido menor cambio en la capa activa es el norte de Alaska con un promedio de velocidad de 0,8 cm/año (Figura 9).



Figura 9. Estaciones CALM con las mayores y menores velocidades de cambio de espesor de capa activa durante el periodo 1994-2017.

En la última década del periodo de estudio la fluctuación del espesor de capa activa es mayor en gran parte de las estaciones (Anexo V. Figura 1; gráficos 16, 25, 28, 32, 36, 49, 50), mientras que en otras la fluctuación se da en la primera década del periodo de estudio (Anexo V. Figura 1; gráficos 3, 10, 11, 27, 34).

### 3.3. Correlación entre espesor de capa activa y temperaturas

Tras realizar una correlación de Pearson entre la  $TM_{\text{mínMA}}$ ,  $TM_{\text{máxMA}}$  y  $TMA$  del aire con la profundidad de capa activa (Tabla 2; Anexo VII) se observa que casi el 14% de las estaciones presenta una relación negativa entre la profundidad de la capa activa y las temperaturas medias del aire y aproximadamente el 5% un  $\rho$  cercano a 0, es decir, sin relación. Por otro lado, el 27,6% de las estaciones presenta una  $\rho < 0,25$  entre la profundidad de la capa activa y la  $TM_{\text{mínMA}}$  y un 63,8% presenta una  $\rho > 0,25$  entre la profundidad de capa activa y las  $TMA$  del aire (Tabla 2). Existe mayor correlación positiva entre los espesores de capa

activa y la  $T_{\text{MínMA}}$ , pues aproximadamente el 41% de las estaciones tiene mayor los valores máximos de  $\rho$  entre la profundidad de la capa y la  $T_{\text{MínMA}}$ , de las cuales un 42% tiene una  $\rho > 0,5$ .

Tabla 2. Resultados obtenidos de la Correlación de Pearson para todas las estaciones.

	Número de estaciones (n=58)			%
	TMA-CA	TMáxMA-CA	TMinMA-CA	
<b><math>\rho</math> negativo</b>	8	8	8	<b>13,8</b>
<b><math>(-0,1) &lt; \rho &lt; 0,1</math></b>	2	2	3	<b>5,2</b>
$\rho < 0,25$	13	15	16	<b>27,6</b>
$\rho > 0,25$	37	35	34	<b>63,8</b>
<b><math>\rho</math> máximo</b>	2	15	24	<b>41,4</b>
$\rho > 0,5$ ( $T_{\text{MínMA-CA}}$ )			10	<b>41,7</b>
$\rho > 0,5$ (total estaciones)		15		25,9

### 3.4. Relación de la capa activa con factores biogeográficos

#### 3.4.1. Altitud

La capa activa está presente en todo el rango altitudinal de los datos estudiados (algo más de 800 m.s.n.m.), pudiéndose diferenciar dos tramos en los que parecen darse dos comportamientos distintos. En el primer tramo altitudinal, de -10 m hasta aproximadamente 100 m.s.n.m., hay mayor rango de la profundidad de capa activa (Figura 10) y mayor variabilidad del espesor con respecto al segundo tramo altitudinal, a partir de 100 m de altitud (Figura 11).

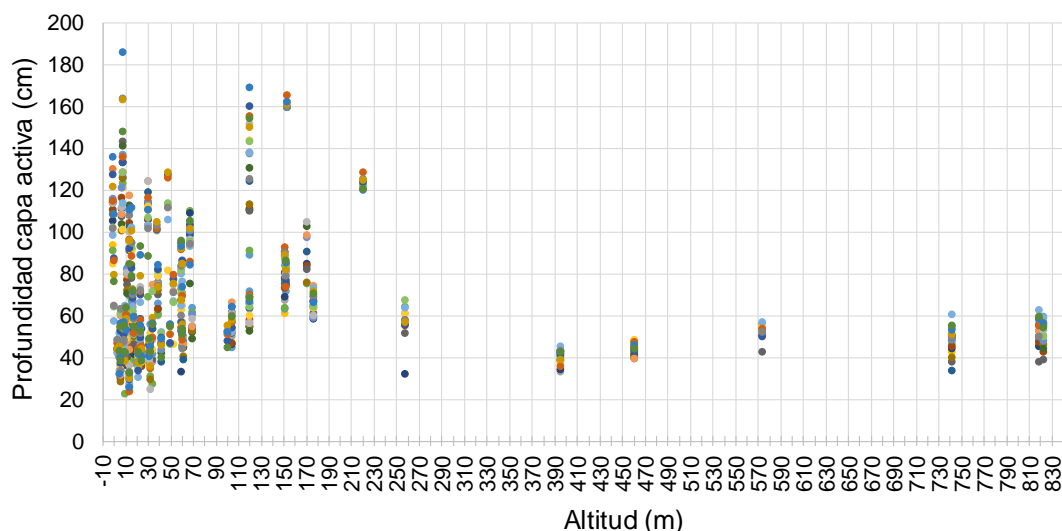


Figura 10. Distribución de profundidades de la capa activa en función de la altitud.

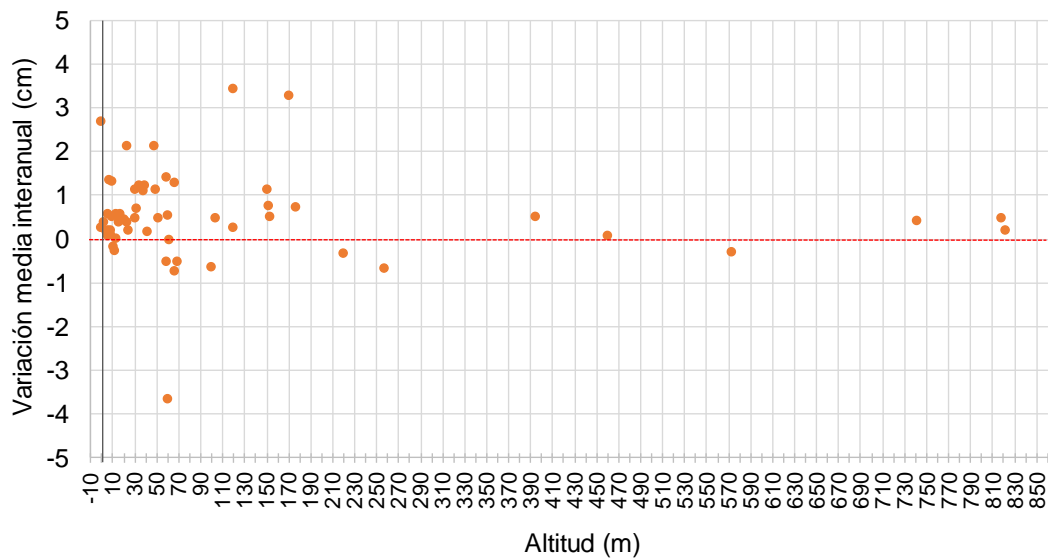


Figura 11. Variabilidad de la capa activa a lo largo del eje altitudinal en el periodo 1994-2017.

La capa activa presenta mayores variaciones interanuales en regiones de bajas elevaciones, por debajo de los 100 m.s.n.m., destacando una mayor variación a partir de los 60 cm de profundidad o espesor de capa activa (Anexo VIII. Figura 1A). La capa activa situada a altitudes mayores de 100 m presenta espesores de entre 40 y 100 cm y no presenta tanta variación interanual, es decir, es más estable en el periodo de estudio (Anexo VIII. Figura 1B). También puede observarse que la capa activa es menos variable cuanto menos profunda es, tanto en altitudes altas como bajas (Anexo VIII. Figura 1).

### 3.4.2. *Relieve*

Hay mayor distribución de espesores de capa activa en los ambientes glacial y periglacial, marino-costero y lacustre, llegando a superar los 120 cm de espesor (Figura 12). El ambiente geomorfológico que presenta la capa activa menos profunda de todos los ambientes estudiados es el de ladera con espesores por debajo de los 100 cm, y los ambientes más heterogéneos y variables en cuanto a espesores de capa activa son el glacial y periglacial y el marino-costero (Anexo IX).

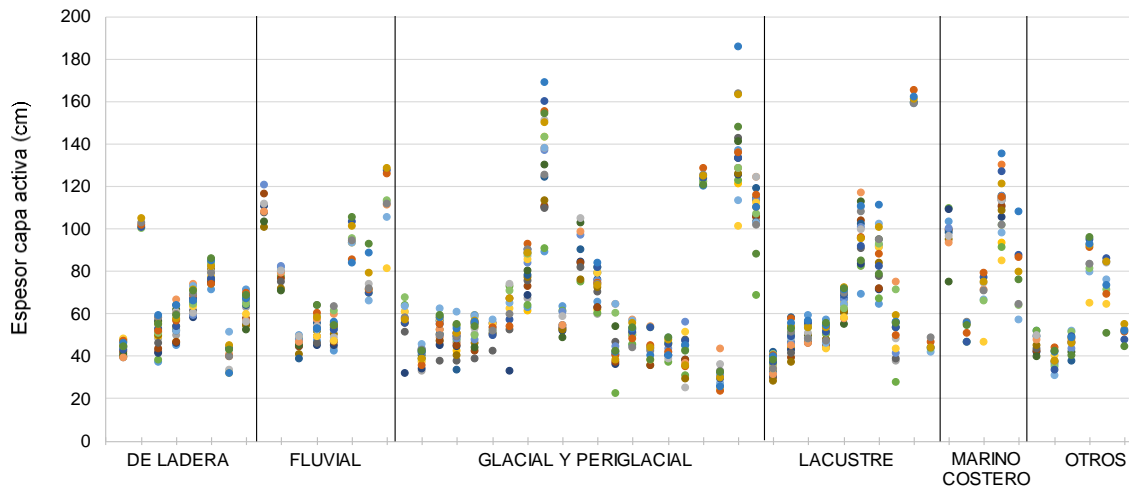


Figura 12. Distribución del espesor de la capa activa dependiendo del ambiente geomorfológico.

En cuanto a la variación interanual de la capa activa, los tipos de ambientes geomorfológicos asociados a rangos estrechos de variabilidad son el de ladera y el lacustre (Figura 13). Para el ambiente de ladera la variación interanual media de espesor de capa activa va de 0 a 1 cm con desviación estándar menor a 10 cm y para el ambiente lacustre la variación oscila entre 0 y menos de 1 cm con desviaciones en torno a 5 cm, en algún caso superando 10 cm (Anexo X. Figura 1; gráficos A y D). Los ambientes geomorfológicos con mayores variaciones interanuales medias de capa activa son el fluvial, glacial y periglacial y marino-costero, siendo el ambiente marino-costero el que más destaca por la alta heterogeneidad y variabilidad de espesores de capa activa (Figura 13).

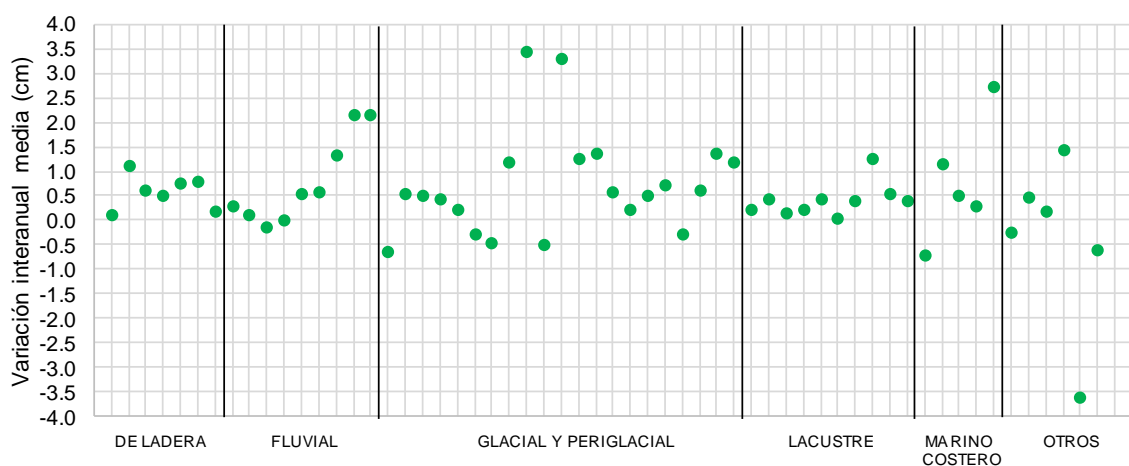


Figura 13. Variabilidad de la capa activa dependiendo del ambiente geomorfológico asociado.

Para el ambiente fluvial, la variación interanual media se sitúa entre -0,5 a 2 cm, con una desviación mayor a 10 cm; para el glacial y periglacial, entre -1 a más de 3 cm, con desviación hasta 20 cm; y para el marino-costero, entre -1 y 1 cm, con un valor atípico de 2,5 y desviación mayor de 20 (Anexo X. Figura 1; gráficos B, C y E).

### 3.4.3. Vegetación

Los mayores espesores de capa activa, por encima de los 100 cm, se asocian a vegetación de arbusto de tundra y de tundra (Figura 14), pero los espesores más bajos también se asocian con estas clases (además de la pradera y musgo). El arbusto de tundra y la tundra presentan dos patrones: el primero se desarrolla sobre zonas de capa activa menores de 40 cm y de baja variabilidad, el otro está asociado a zonas de capa activa mayores de 40 cm y con alta variabilidad (Anexo XI. Figura 1; gráficos A y E). Por otro lado, el bosque de conífera y el bosque de tundra presentan rangos heterogéneos de profundidad de capa activa (Figura 14) y, en general, cambiante en el tiempo (Anexo XI. Figura 1; gráficos C y D). El tipo de vegetación asociado a menores espesores de capa activa es el de pradera y musgo (Anexo XI. Figura 1; gráfico B).

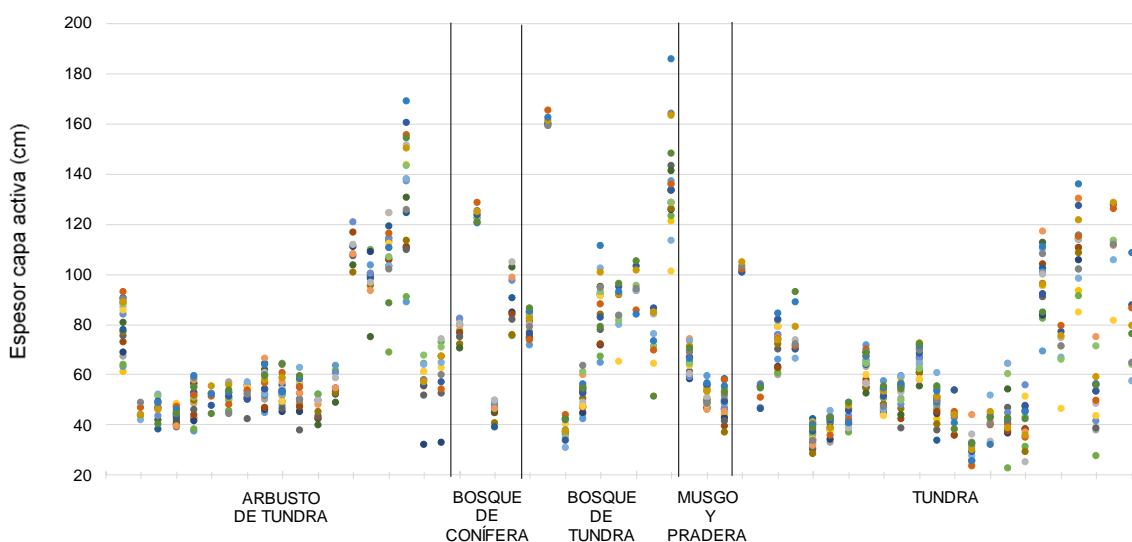


Figura 14. Espesor de la capa activa dependiendo del tipo de vegetación asociado).

En cuanto a la variación interanual de la capa activa, los tipos de vegetación con rangos estrechos de variabilidad son el de pradera y musgo, seguido del bosque de tundra. Aquellos relacionados con un amplio rango de variabilidad de espesor de capa activa son la tundra, arbusto de tundra y bosque de conífera (Figura 15).

Para el arbusto de tundra la variación interanual media del espesor de capa activa varía  $\pm 1$  cm, con algún valor atípico y con desviación estándar menor a 10 cm (Anexo XII. Figura 1; gráfico A). Para la vegetación de pradera y musgo la variación interanual media de espesor de capa activa varía de 0 a 1 cm, con una desviación estándar en torno a 5 cm (Anexo XII. Figura 1; gráfico B).

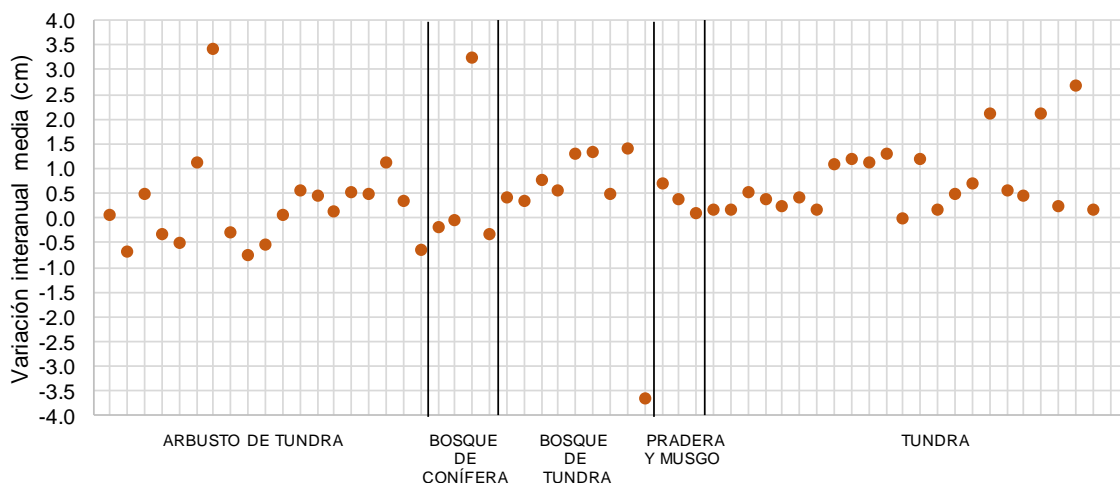


Figura 15. Variabilidad de la capa activa dependiendo del tipo de vegetación asociado.

En cuanto al bosque de conífera, se observa un valor atípico con una variación interanual media mayor a 3 cm, pero en general ésta varía de 0 a -1 cm con una desviación estándar menor a 5 cm (Anexo XII. Figura 1; gráfico C). Las zonas de capa activa con vegetación de tundra presentan variaciones interanuales medias entre 0-3 cm y presentan las mayores desviaciones estándar, superando los 15 cm (Anexo XII. Figura 1; gráfico D). Finalmente, para el bosque de tundra las variaciones interanuales medias superan 1 cm en algunos casos, con un valor atípico de -4 cm y desviación estándar en torno a 5 cm, llegando a más de 10 cm en escasos casos (Anexo XII. Figura 1; gráfico E).

#### 4. DISCUSIÓN

La capa activa ártica tiende a aumentar progresivamente una media de 1,71 cm/año en el ártico (Figura 8; Anexo IV. Tabla 1), sin embargo, el aumento de capa activa por dos o más años consecutivos es ocasional (Figuras 5, 6, 8; Anexo III. Tabla 1). Al analizar la evolución de la capa activa en periodos cortos, las variaciones interanuales pueden ser negativas, por lo que es importante

emplear una escala temporal amplia que muestre de forma más acertada la tendencia de la capa activa, pues es una variable dependiente del clima (Jorgenson et al., 2010; Taylor et al., 2017). En este estudio se ha comprobado que existe una relación positiva entre la variación de las temperaturas del aire y los espesores de capa activa, salvo en el casi 14% de los casos (Tabla 2). El aumento de la temperatura del permafrost (así como de la temperatura de la capa activa) y el aumento de espesor de la capa activa se han estudiado en distintas zonas y se han atribuido al aumento de las temperaturas medias del aire en la superficie (ej., Hansen et al., 2010; Vonk et al., 2015; AMAP, 2017; Rasmussen et al., 2018; Simpson et al., 2018; Wang, T. et al., 2019). Este incremento térmico se ha producido en toda región ártica, pero las diferencias regionales en las variaciones de la capa activa se pueden deber, por un lado, a diferentes fenómenos locales que condicionan las temperaturas en la superficie (como la cobertura de nieve, el albedo, la humedad del aire) debidos a los cambios en la dinámica térmica de la circulación atmosférica y a la influencia de las corrientes oceánicas cálidas en el clima (Lawrence et al., 2008; Romanovsky et al., 2010; Doscher et al., 2014; AMAP, 2017) (Figura 16).

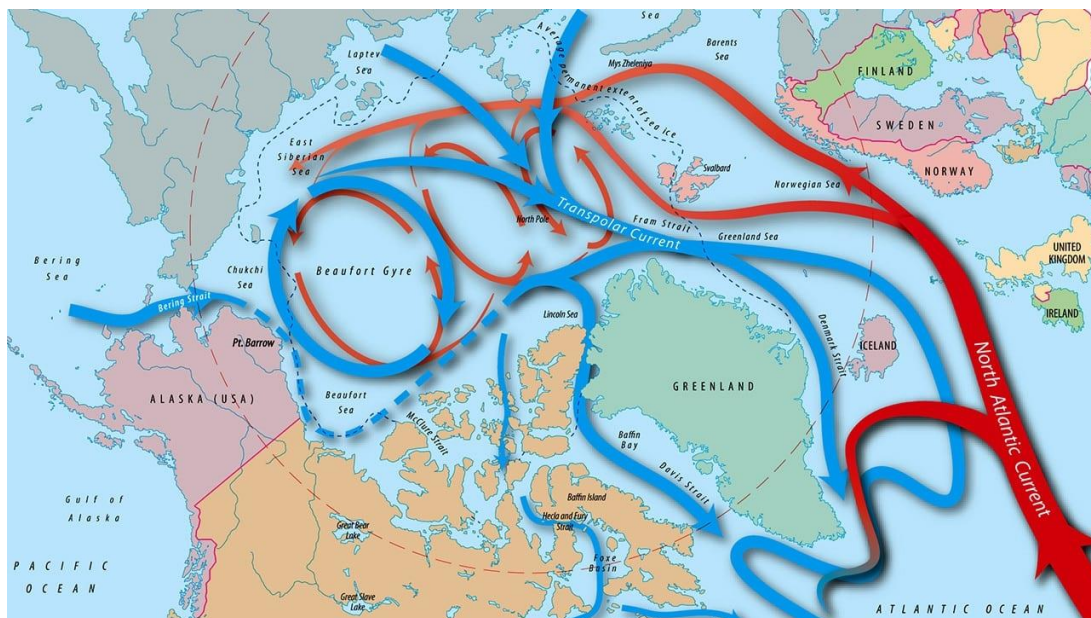


Figura 16. Circulación del Océano Ártico con dos corrientes principales: corriente del Atlántico Norte (cálida, color rojo) y corriente de Deriva Transpolar (fría, color azul). Fuente: WHOI.

En segundo lugar, también existen factores zonales biogeográficos que, al proporcionar distinta protección térmica a la superficie del suelo frente a cambios

en las temperaturas del aire, determinan las evoluciones dispares entre unas ubicaciones y otras (ej. Anexo V. Figura 1, gráficas 4, 16, 39 y 55). En concreto, en este estudio, además de la altitud y la situación geográfica, se ha estudiado la relación con el ambiente geomorfológico y la vegetación. Según los resultados, los ambientes geomorfológicos que podrían exponer en mayor grado el suelo frente a cambios de temperatura son el ambiente marino-costero, glacial y periglacial (Figura 13; Anexo IX. Figura 1; Anexo X. Figura 1). Dado que son ambientes asociados a procesos erosivos severos, el espesor de capa activa es más variable e inestable en el tiempo, posiblemente por la continua erosión que se da en estos ambientes (Lantuit y Pollard, 2008; Harris et al., 2009).

En cuanto a la vegetación, el arbusto de tundra y la tundra podrían ser las clases que ofrecen menor protección térmica (Figura 15; Anexo XI. Figura 1; Anexo XII. Figura 1). De un tramo altitudinal al siguiente se produce un aumento o expansión del arbusto de tundra y bosques de conífera, mientras que disminuye la extensión de tundra. El bosque de tundra y la pradera y musgo no presentan cambios destacables de un tramo al siguiente (Figura 17).

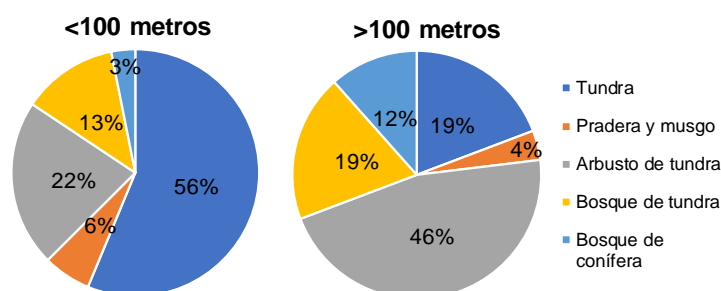


Figura 17. Distribuciones de la vegetación en los dos tramos altitudinales.

La disminución de la vegetación de tundra y el aumento del arbusto de tundra en altitud puede deberse a cambios en los regímenes térmicos e hídricos por el aumento de temperaturas y desequilibrios hidrológicos, lo que ha generado respuestas frente al cambio climático, con mayores cambios y desplazamientos de vegetación leñosa y, en menor grado, en la vegetación de tundra y herbáceas (Song et al., 2013; van Huissteden, 2020). La tundra en altitud ofrece mayor protección que el arbusto de tundra y lo mismo ocurre en el resto de vegetaciones pero sin diferencias tan notables (Figura 18). Esta disimilitud entre el arbusto de tundra y la tundra puede deberse a diferencias en el dosel o



canopia<sup>5</sup> además de diferencias en el albedo producido que afectan al balance térmico (Loranty et al., 2011; van Huissteden, 2020).

Para comprender con mayor detalle cómo la vegetación ha influido en la evolución de la capa activa sería necesario complementar la información con datos de humedad en el suelo, densidad y cobertura vegetal (Cheng et al., 2007; Wang et al., 2018). Además, la cobertura nival es un factor que amplifica el efecto de la vegetación (Wang et al., 2019), por lo que sería interesante su aplicación en este tipo de estudio.

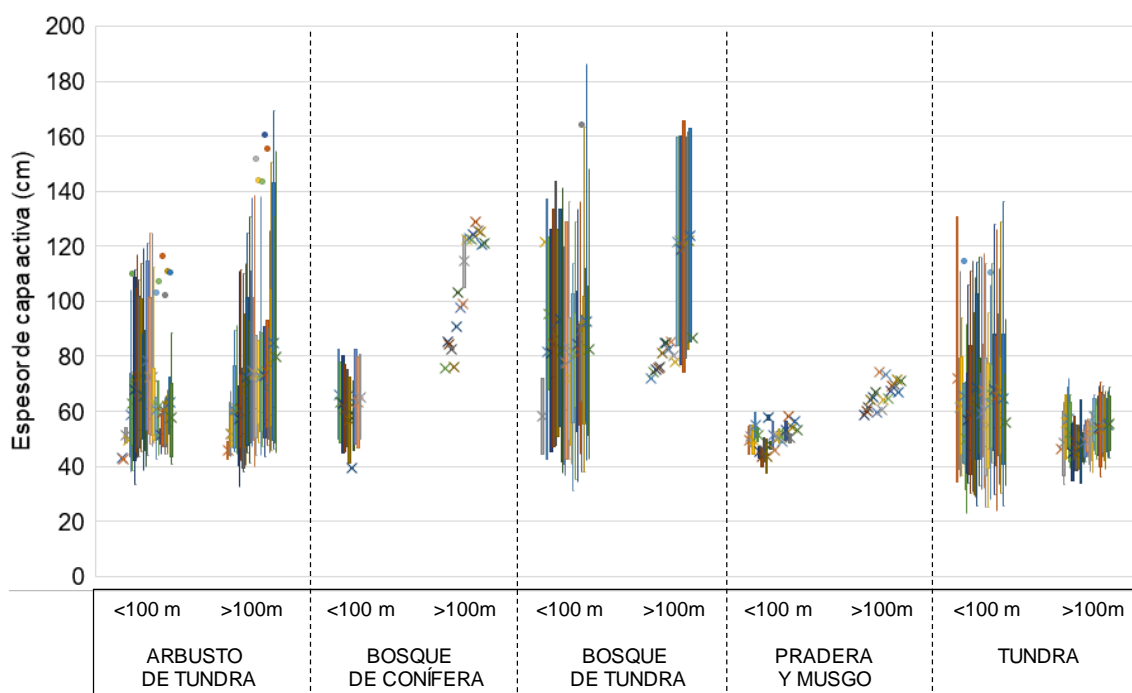


Figura 18. Espesores de capa activa en función del tipo de vegetación y del tramo altitudinal.

A pesar de estos resultados preliminares, no se puede afirmar que todas las regiones con las características mencionadas se comporten de igual manera, pues además influyen otros factores tales como la pendiente y orientación, cobertura nival, litología, conductividad, contenido de humedad y materia orgánica, usos del suelo, etc. (Jorgenson et al., 2010; Abramov et al., 2019).

La perspectiva futura es que la capa activa seguirá aumentando en las próximas décadas (Akerman y Johansson, 2008), así como las temperaturas de

<sup>5</sup> Techo o capa superior de las hojas de un individuo vegetal o del conjunto arbóreo en un bosque (Jennings et al., 1999).

permafrost (Boike et al., 2018; Biskaborn et al., 2019), los riesgos y procesos de erosión costera (Lantuit et al., 2012; Isaev et al., 2019) y la destrucción de infraestructuras (Anisimov y Reneva, 2006), entre otros, pues se espera que para el año 2050 la temperatura media oceánica y de la superficie en todo el Ártico sea de 0,9 – 2°C y la temperatura media del aire de 3,5 – 6 °C para 2080 (USGCRP, 2017; van Huissteden, 2020).

Según el último informe del IPCC sobre las regiones polares (Meredith et al., 2019), las principales consecuencias e impactos del calentamiento del permafrost ártico en las próximas décadas serán:

- una mayor emisión de GEIs y la perturbación del ciclo del carbono;
- mayor ocurrencia y magnitud de perturbaciones físicas abruptas, como incendios, y del hundimiento y erosión del suelo como resultado del deshielo del termokarst, provocando un deterioro del paisaje;
- cambios en los sistemas de agua dulce por la disminución de hielo de agua dulce y modificación de flujos en las escorrentías y aguas superficiales;
- cambios en la cobertura nival y vegetal que, unido a la variación de albedo, contribuirán a una retroalimentación del calentamiento atmosférico;
- afección a la biodiversidad y a la sucesión ecológica, con alteraciones en las migraciones y aumento de enfermedades y exposición a patógenos;
- amenaza a la seguridad alimentaria y al acceso a agua potable, por la disminución de fauna susceptible de ser capturada por poblaciones indígenas (como la inuit), contaminación química y biológica del agua;
- impactos económicos y socio-culturales a las poblaciones dependientes, por verse afectadas las infraestructuras, actividades locales y tradiciones en la recolección, caza y pesca, la salud y el bienestar social.

Luego es esencial la protección de la criosfera, por su valor ecológico, económico y cultural, e importante función en la preservación del medio ambiente terrestre.

## **5. CONCLUSIONES**

El análisis del espesor de la capa activa medido en 58 estaciones CALM de la región ártica, así como de las temperaturas del aire en sus proximidades ha

permitido establecer el comportamiento de esta en el periodo 1994-2017, alcanzándose las siguientes conclusiones:

- El espesor de la capa activa en la región ártica ha aumentado 0,5 cm progresivamente entre 1994-2017, pero no de manera uniforme en todo el territorio. Así mismo, las temperaturas anuales del aire han experimentado un aumento progresivo en el mismo periodo, correlacionándose con el 63,8% de las estaciones CALM estudiadas, con una  $\rho > 0,25$  entre la profundidad de capa activa y las TMA del aire.
- La mayor variabilidad entre 1994-2017 se ha producido a  $-60^\circ$  de longitud y  $60-70^\circ$  latitud Norte, en zonas altitudinales menores a 100 metros, con ambientes geomorfológicos de tipo marino-costero, glacial y periglacial y vegetación de tipo tundra y arbusto de tundra.
- El convenio de diferentes características biogeográficas hace del estudio de la capa activa una tarea compleja. Se ha comprobado que factores como la altitud, cobertura nival, vegetación, litología y usos del suelo (entre otros) están estrechamente relacionados y pueden tener el mismo grado de relevancia al condicionar de forma directa o indirecta el estado de la capa activa y del permafrost.
- La región que mayor variación de capa activa ha experimentado en el periodo 1994-2017 ha sido la euroasiática, en concreto, el noroeste de Rusia con una velocidad de cambio 3,3 cm/año y zonas del noreste con una velocidad de cambio de 2 cm/año. La velocidad de cambio ha sido también alta en algunas zonas de la región norteamericana, como en el noroeste de Canadá y en la costa occidental de Alaska, con velocidades de cambio de 2,7 cm/año y 2,2 cm/año, respectivamente.
- Este estudio de la capa activa ártica muestra una tendencia que, contrastada con otros trabajos e informes, revela un aumento progresivo en las próximas 5 décadas, lo que podrá generar numerosos impactos asociados a la descongelación de permafrost.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a toda la comunidad científica que, a través de numerosos proyectos e investigaciones, ha adquirido y compartido sus resultados sin ánimo de lucro a través de la base de datos de la Red Terrestre Global para el Permafrost (GTN-P). Gracias a todo el equipo de la GTN-P por haber establecido una plataforma de cooperación científica con acceso libre a dichos datos, permitiendo el intercambio libre y abierto de información científica para todo el público. También agradecer al Proyecto POWER del Centro de Investigación Langley de la NASA, financiado a través del Programa de Ciencias de la Tierra / Ciencias Aplicadas de la NASA, por permitir la obtención de datos con libre acceso.

En especial, agradecer al Dr. Miguel Ángel de Pablo sus detalladas revisiones, el valioso tiempo dedicado a transmitir sus conocimientos y el inestimable apoyo que ha hecho posible la ejecución del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- ABC (2001). *Los glaciares y las grandes masas heladas del Ártico muestran los primeros signos del cambio climático* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/sociedad/abci-glaciares-y-grandes-masas-heladas-artico-muestran-primeros-signos-cambio-climatico-200102240300-14394\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-glaciares-y-grandes-masas-heladas-artico-muestran-primeros-signos-cambio-climatico-200102240300-14394_noticia.html)> [26 agosto 2020]
- ABC (2007). *Primeros efectos del cambio* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/natural/abci-primeros-efectos-cambio-200704080300-1632414729181\\_noticia.html](https://www.abc.es/natural/abci-primeros-efectos-cambio-200704080300-1632414729181_noticia.html)> [26 agosto 2020]
- ABC (2015). *El deshielo del permafrost del Ártico provocará 43 billones de dólares en daños económicos* [online]. Disponible en <<https://www.abc.es/sociedad/20150921/abci-deshielo-artico-danos-201509211406.html>> [26 agosto 2020]
- ABC (2017). *Cada grado adicional descongela un área del tamaño de la India* [online]. Disponible en <<https://www.abc.es/natural/cambioclimatico/abci->

[cada-grado-adicional-descongela-area-tamano-india-201704171158\\_noticia.html](https://www.abc.es/natural/cambioclimatico/abci-erosion-costera-artico-intensifica-calentamiento-global-201809131120_noticia.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2018a). *La erosión costera en el Ártico intensifica el cambio climático* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/natural/cambioclimatico/abci-erosion-costera-artico-intensifica-calentamiento-global-201809131120\\_noticia.html](https://www.abc.es/natural/cambioclimatico/abci-erosion-costera-artico-intensifica-calentamiento-global-201809131120_noticia.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2018b). *Resucitan gusanos de hace 42.000 años a causa del deshielo en Siberia* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/ciencia/abci-resucitan-gusanos-hace-42000-anos-causa-deshielo-siberia-201808260218\\_noticia.html](https://www.abc.es/ciencia/abci-resucitan-gusanos-hace-42000-anos-causa-deshielo-siberia-201808260218_noticia.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2019a). *¿Lobo o perro? El misterio del cachorro congelado hace 18.000 años* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/ciencia/abci-lobo-o-perro-misterio-cachorro-congelado-hace-18000-anos-201912020100\\_noticia.html](https://www.abc.es/ciencia/abci-lobo-o-perro-misterio-cachorro-congelado-hace-18000-anos-201912020100_noticia.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2019b). *Las consecuencias del megaincendio que arrasa Siberia* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/sociedad/abci-consecuencias-megaincendio-arrasa-siberia-201908021250\\_video.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-consecuencias-megaincendio-arrasa-siberia-201908021250_video.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2019c). *Por primera vez, se revisa el estado del permafrost en el conjunto de la Tierra* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/natural/cambioclimatico/abci-primera-revisa-estado-permafrost-conjunto-tierra-201901211241\\_noticia.html](https://www.abc.es/natural/cambioclimatico/abci-primera-revisa-estado-permafrost-conjunto-tierra-201901211241_noticia.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2020a). *Advierten sobre la amenaza de un gran tsunami en Alaska por deslizamientos de tierra* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/sociedad/abci-advierten-sobre-amenaza-gran-tsunami-alaska-deslizamientos-tierra-202005191228\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-advierten-sobre-amenaza-gran-tsunami-alaska-deslizamientos-tierra-202005191228_noticia.html)> [26 agosto 2020]

ABC (2020b). *Permafrost, el gran cementerio helado de virus y bacterias se descongela* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/sociedad/abci-permafrost-gran-cementerio-helado-virus-y-bacterias-descongela-202006290149\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-permafrost-gran-cementerio-helado-virus-y-bacterias-descongela-202006290149_noticia.html)> [26 agosto 2020]

- ABC (2020c). *Siberia: uno de los lugares más fríos del mundo alcanza por primera vez los 38 grados* [online]. Disponible en <[https://www.abc.es/sociedad/abci-siberia-lugares-mas-frios-mundo-alcanza-primer-38-grad-202006230217\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-siberia-lugares-mas-frios-mundo-alcanza-primer-38-grad-202006230217_noticia.html)> [26 agosto 2020]
- Abramov, A., Davydov, S., Ivashchenko, A., Karelin, D., Kholodov, A., Kraev, G., ... & Shmelev, D. (2019). *Two decades of active layer thickness monitoring in northeastern Asia*. *Polar Geography*, 1-17.
- Agafonov, L., Strunk, H., & Nuber, T. (2004). *Thermokarst dynamics in Western Siberia: insights from dendrochronological research*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 209(1-4), 183-196.
- Agencia Española de Meteorología, AEMET (2020). *Interpretación: Valores climatológicos normales* [online]. Disponible en <[https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos/ayuda#enlaces\\_asociados](https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos/ayuda#enlaces_asociados)> [11 agosto 2020]
- Åkerman, H. J., & Johansson, M. (2008). *Thawing permafrost and thicker active layers in sub-arctic Sweden*. *Permafrost and periglacial processes*, 19(3), 279-292.
- AMAP (2017). *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 269 pp.
- Anisimov, O., & Reneva, S. (2006). *Permafrost and changing climate: the Russian perspective*. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(4), 169-175.
- Arenson, L. U., & Jakob, M. (2015). *Periglacial geohazard risks and ground temperature increases*. In *Engineering Geology for Society and Territory- Volume 1* (pp. 233-237). Springer, Cham.
- Barnes, D. L., & Chuvilin, E. (2009). *Migration of petroleum in permafrost-affected regions*. *Permafrost soils* (pp. 263-278). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Biskaborn, B. K., Smith, S. L., Noetzli, J., Matthes, H., Vieira, G., Streletskiy, D. A., ... & Allard, M. (2019). *Permafrost is warming at a global scale*. *Nature communications*, 10(1), 1-11.
- Boike, J., Juszak, I., Lange, S., Chadburn, S., Burke, E., Paul Overduin, P., ... & Gouttevin, I. (2018). *A 20-year record (1998–2017) of permafrost, active layer and meteorological conditions at a high Arctic permafrost research site (Bayelva, Spitsbergen)*. *Earth System Science Data*, 10(1), 355-390.
- Braddock, J. F., & McCarthy, K. A. (1996). *Hydrologic and microbiological factors affecting persistence and migration of petroleum hydrocarbons spilled in a continuous-permafrost region*. *Environmental science & technology*, 30(8), 2626-2633.
- Cheng, H., Wang, G., Hu, H., & Wang, Y. (2008). *The variation of soil temperature and water content of seasonal frozen soil with different vegetation coverage in the headwater region of the Yellow River, China*. *Environmental geology*, 54(8), 1755-1762.
- Dagnino, J. (2014). *Coeficiente de correlacion lineal de pearson*. *Chil Anest*, 43, 150-153.
- de Pablo Hernández, M. A., Molina, A., Recio, C., Ramos, M., Goyanes, G., & Roperó, M. A. (2017). *Análisis del estado de la capa activa en el emplazamiento de la base antártica española Gabriel de Castilla, Isla Decepción, Antártida*. *Boletín geológico y minero*, 128(1), 69-92.
- Demidov, N. E., & Gilichinsky, D. A. (2009). *Terrestrial permafrost models and analogues of Martian habitats and inhabitants*. *Permafrost Soils* (pp. 323-341). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dobinski, W. (2011). *Permafrost*. *Earth-Science Reviews*, 108(3-4), 158-169.
- Doscher, R., Vihma, T., & Maksimovich, E. (2014). *Recent advances in understanding the Arctic climate system state and change from a sea ice perspective: a review*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(24), 13571-13600.

- Duvillard, P. A., Ravanel, L., & Deline, P. (2015). *Risk assessment of infrastructure destabilization in context of permafrost in the French Alps*. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (pp. 297-300). Springer, Cham.
- El Confidencial (2020). *Emergencia federal en Rusia por el derrame de 21.000 toneladas de diésel en el Ártico* [online]. Disponible en [https://www.elconfidencial.com/mundo/europa/2020-06-04/emergencia-rusia-derrame-diesel-artico\\_2623991/](https://www.elconfidencial.com/mundo/europa/2020-06-04/emergencia-rusia-derrame-diesel-artico_2623991/) [26 agosto 2020]
- El País (2019). *Los científicos alertan de que el deshielo afectará al suministro de agua si la temperatura sube dos grados* [online]. Disponible en [https://elpais.com/sociedad/2019/12/11/actualidad/1576078344\\_392230.html](https://elpais.com/sociedad/2019/12/11/actualidad/1576078344_392230.html) [26 agosto 2020]
- El País (2020a). *El deshielo del permafrost del Ártico fuerza a Rusia a revisar infraestructuras clave* [online]. Disponible en <https://elpais.com/sociedad/2020-06-14/el-deshielo-del-permafrost-del-artico-fuerza-a-rusia-a-revisar-infraestructuras-clave.html> [26 agosto 2020]
- El País (2020b). *La vida del Ártico ya ha cambiado por el cambio climático* [online]. Disponible en [https://elpais.com/elpais/2020/02/24/ciencia/1582571627\\_702416.html](https://elpais.com/elpais/2020/02/24/ciencia/1582571627_702416.html) [26 agosto 2020]
- El País (2020c). *Emergencia en una ciudad del Ártico ruso tras un vertido de 20.000 toneladas de combustible a un río* [online]. Disponible en <https://elpais.com/sociedad/2020-06-02/emergencia-en-una-ciudad-del-artico-ruso-tras-un-vertido-de-20000-toneladas-de-combustible-a-un-rio.html> [26 agosto 2020]
- Emerson, J. B., Roux, S., Brum, J. R., Bolduc, B., Woodcroft, B. J., Jang, H. B., ... & Hodgkins, S. B. (2018). *Host-linked soil viral ecology along a permafrost thaw gradient*. *Nature microbiology*, 3(8), 870-880.



- ESA (2020). *Cartografiando el permafrost ártico* [online]. Disponible en <[https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Spain/Cartografiando\\_el\\_permafrost\\_artico](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Cartografiando_el_permafrost_artico)> [26 agosto 2020]
- Gilichinsky, D. A. (2002). *Permafrost model of extraterrestrial habitat*. *Astrobiology* (pp. 125-142). Springer, Berlin, Heidelberg.
- González-Eguino, M., & Neumann, M. B. (2016). *Significant implications of permafrost thawing for climate change control*. *Climatic Change*, 136(2), 381-388.
- Guglielmin, M., Dalle Fratte, M., & Cannone, N. (2014). *Permafrost warming and vegetation changes in continental Antarctica*. *Environmental Research Letters*, 9(4), 045001.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., & Lo, K. (2010). *Global surface temperature change*. *Reviews of Geophysics*, 48(4), RG4004.
- Harms, T. K., & Jones Jr, J. B. (2012). *Thaw depth determines reaction and transport of inorganic nitrogen in valley bottom permafrost soils: Nitrogen cycling in permafrost soils*. *Global Change Biology*, 18(9), 2958-2968.
- Harris, C., Arenson, L. U., Christiansen, H. H., Etzelmüller, B., Frauenfelder, R., Gruber, S., ... & Isaksen, K. (2009). *Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses*. *Earth-Science Reviews*, 92(3-4), 117-171.
- Hebsgaard, M. B., & Willerslev, E. (2009). *Very old DNA*. *Permafrost Soils* (pp. 47-57). Springer, Berlin, Heidelberg.
- IPCC (2013). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- IPCC (2020). *About the IPCC* [online]. Disponible en <https://www.ipcc.ch/about/> [26 agosto 2020]
- Isaev, V. S., Koshurnikov, A. V., Pogorelov, A., Amangurov, R. M., Podchasov, O., Sergeev, D. O., ... & Kioka, A. (2019). *Cliff retreat of permafrost coast in south-west Baydaratskaya Bay, Kara Sea, during 2005–2016*. *Permafrost and Periglacial Processes*, 30(1), 35-47.
- Jennings, S. B., Brown, N. D., & Sheil, D. (1999). *Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures*. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 72(1), 59-74.
- Jermyn, C., & Geertsema, M. (2015). *An Overview of Some Recent Large Landslide Types in Nahanni National Park, Northwest Territories, Canada*. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (pp. 315-320). Springer, Cham.
- Jones, A., V. Stolbovoy, C. Tarnocai, G. Broll, O. Spaargaren and L. Montanarella (eds.) (2009) *Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region*. European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 142 pp
- Jones, B. M., Farquharson, L. M., Baughman, C. A., Buzard, R. M., Arp, C. D., Grosse, G., ... & Kasper, J. L. (2018). *A decade of remotely sensed observations highlight complex processes linked to coastal permafrost bluff erosion in the Arctic*. *Environmental Research Letters*, 13(11), 115001.
- Jorgenson, M. T., Romanovsky, V., Harden, J., Shur, Y., O'Donnell, J., Schuur, E. A., ... & Marchenko, S. (2010). *Resilience and vulnerability of permafrost to climate change*. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(7), 1219-1236.
- Keuschnig, M., Hartmeyer, I., Höfer-Öllinger, G., Schober, A., Krautblatter, M., & Schrott, L. (2015). *Permafrost-related mass movements: Implications from a rock slide at the Kitzsteinhorn, Austria*. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (pp. 255-259). Springer, Cham.

- Kimble, J. (Ed.). (2004). *Cryosols: permafrost-affected soils*. Springer Science & Business Media, 391-408.
- Lantuit, H., & Pollard, W. H. (2008). *Fifty years of coastal erosion and retrogressive thaw slump activity on Herschel Island, southern Beaufort Sea, Yukon Territory, Canada*. *Geomorphology*, 95(1-2), 84-102.
- Lantuit, H., Overduin, P. P., Couture, N., Wetterich, S., Aré, F., Atkinson, D., ... & Graves-Gaylord, A. (2012). *The Arctic coastal dynamics database: a new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines*. *Estuaries and Coasts*, 35(2), 383-400.
- Lawrence, D. M., Slater, A. G., Tomas, R. A., Holland, M. M., & Deser, C. (2008). *Accelerated Arctic land warming and permafrost degradation during rapid sea ice loss*. *Geophysical Research Letters*, 35(11).
- Li, T., Xing, X., & Li, P. (2015). *The landslides induced by the released inclusion water of the frozen soil in the side of the Heifangtai loess platform, Gansu Province, China*. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (pp. 217-221). Springer, Cham.
- Lorant, M. M., Goetz, S. J., & Beck, P. S. (2011). *Tundra vegetation effects on pan-Arctic albedo*. *Environmental Research Letters*, 6(2), 024014.
- Ma, W., Mu, Y., Wu, Q., Sun, Z., & Liu, Y. (2011). *Characteristics and mechanisms of embankment deformation along the Qinghai–Tibet Railway in permafrost regions*. *Cold Regions Science and Technology*, 67(3), 178-186.
- Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M.M.C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, and E.A.G. Schuur (2019). *Polar Regions*. En: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, MITECO (2020). *Protocolo de Kioto* [online]. Disponible en <<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.aspx>> [11 agosto 2020]
- Morgenstern, A., Grosse, G., Günther, F., Fedorova, I., & Schirrmeyer, L. (2011). *Spatial analyses of thermokarst lakes and basins in Yedoma landscapes of the Lena Delta*. *The Cryosphere Discussions*, 5, 1495-1545.
- NASA (2020). *POWER Data Access Viewer* [online]. Disponible en <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>> [11 agosto 2020]
- National Geographic (2016). *La asombrosa conservación de 2 cachorros de león de las cavernas* [online]. Disponible en <[https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/asombrosa-conservacion-cachorros-leon-las-cavernas\\_10831](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/asombrosa-conservacion-cachorros-leon-las-cavernas_10831)> [26 agosto 2020]
- National Geographic (2017). *El Ártico se está calentando más rápido que cualquier otra región de la Tierra* [online]. Disponible en <[https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/actualidad/artico-esta-calentando-mas-rapido-que-cualquier-otra-region-tierra\\_11456](https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/actualidad/artico-esta-calentando-mas-rapido-que-cualquier-otra-region-tierra_11456)> [26 agosto 2020]
- National Geographic (2019a). *El rápido derretimiento del permafrost del Ártico nos afecta a todos* [online]. Disponible en <<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2019/08/rapido-derretimiento-permafrost-artico-nos-afecta-todos>> [26 agosto 2020]
- National Geographic (2019b). *Un virus mortal se propaga entre los mamíferos marinos ante el derretimiento del hielo ártico* [online]. Disponible en <<https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2019/11/virus-mortal-propaga-en-mamiferos-marinos-deshielo-artico>> [26 agosto 2020]
- National Geographic (2019c). *Descubren la cabeza de un lobo gigante de hace 40.000 años con el cerebro intacto* [online]. Disponible en

[https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/descubren-cabeza-lobo-gigante-hace-40000-anos-cerebro-intacto\\_14378](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/descubren-cabeza-lobo-gigante-hace-40000-anos-cerebro-intacto_14378)> [26 agosto 2020]

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. DIVISION OF BUILDING RESEARCH (1981). *Permafrost; Record identifier / Identificateur de l'enregistrement: 95ebc631-0f6a-4bcd-8503-c73f0b30dcc6*.

Nelson, F. E., Anisimov, O. A., & Shiklomanov, N. I. (2001). *Subsidence risk from thawing permafrost*. *Nature*, 410(6831), 889-890.

Nelson, F., Brown, J., Lewkowicz, T., & Taylor, A. (1996). *Active layer protocol*. ITEX manual, 14-16.

Ramos, M., Vieira, G., De Pablo, M. A., Molina, A., Abramov, A., & Goyanes, G. (2017). *Recent shallowing of the thaw depth at Crater Lake, Deception Island, Antarctica (2006–2014)*. *Catena*, 149, 519-528.

Rasmussen, L. H., Zhang, W., Hollesen, J., Cable, S., Christiansen, H. H., Jansson, P. E., & Elberling, B. (2018). *Modelling present and future permafrost thermal regimes in Northeast Greenland*. *Cold Regions Science and Technology*, 146, 199-213.

Romanovskii, N. N., Hubberten, H. W., Gavrillov, A. V., Tumskoy, V. E., & Kholodov, A. L. (2004). *Permafrost of the east Siberian Arctic shelf and coastal lowlands*. *Quaternary Science Reviews*, 23(11-13), 1359-1369.

Romanovsky, V. E., Smith, S. L., & Christiansen, H. H. (2010). *Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis*. *Permafrost and Periglacial processes*, 21(2), 106-116.

Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, and Soil Survey Staff. (2012). *Field book for describing and sampling soils, Version 3.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE

Schoeneich, P., Bodin, X., Echelard, T., Kaufmann, V., Kellerer-Pirklbauer, A., Krysiecki, J. M., & Lieb, G. K. (2015). *Velocity changes of rock glaciers and*

*induced hazards*. In *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 1* (pp. 223-227). Springer, Cham.

Schuur, E. A. G., Abbott, B. W., Bowden, W. B., Brovkin, V., Camill, P., Canadell, J. G., ... & Crosby, B. T. (2013). *Expert assessment of vulnerability of permafrost carbon to climate change*. *Climatic Change*, 119(2), 359-374

Shan, W., Hu, Z., Guo, Y., Zhang, C., Wang, C., Jiang, H., ... & Xiao, J. (2015). *The impact of climate change on landslides in southeastern of high-latitude permafrost regions of China*. *Frontiers in Earth Science*, 3, 7.

Shiklomanov, N. I., Nelson, F. E., Streletskiy, D. A., Hinkel, K. M., & Brown, J. (2008). *The circumpolar active layer monitoring (CALM) program: data collection, management, and dissemination strategies*. In *Proceedings of the ninth international conference on permafrost* (Vol. 29, pp. 1647-1652). Fairbanks, Alaska: Institute of Northern Engineering.

Simpson, I. R., Deser, C., McKinnon, K. A., & Barnes, E. A. (2018). *Modeled and observed multidecadal variability in the North Atlantic jet stream and its connection to sea surface temperatures*. *Journal of Climate*, 31(20), 8313-8338.

Song, Y., Zhou, D., Zhang, H., Li, G., Jin, Y., & Li, Q. (2013). *Effects of vegetation height and density on soil temperature variations*. *Chinese Science Bulletin*, 58(8), 907-912.

Stackhouse, P. W. Jr., Zhang, T., Westberg, D., Barnett, A. J., Bristow, T., Macpherson, B., Hoell, J. M. (2012) *POWER Release 8.0.1 (with GIS Applications) Methodology (Data Parameters, Sources, & Validation)*. Documentation Date December 12, 2018 (Data Version 8.0.1; Web Site Version 1.1.0) NASA Langley Research Center; 2SSAI/NASA Langley Research Center; 3 Booz Allen Hamilton, Norfolk, VA

Steven, B., Niederberger, T. D., & Whyte, L. G. (2009). *Bacterial and archaeal diversity in permafrost*. *Permafrost soils* (pp. 59-72). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Streletskiy D., Biskaborn B., Smith S., Noetzli J, Viera G., Schoeneich P. (2017). *Strategy and Implementation Plan 2016-2020 for the Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P)*. The George Washington University, Washington D.C., 42 pp.
- U.S. Global Change Research Program (USGCRP) (2017). *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I* [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 470 pp.
- UNCC (2020). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto?* [online]. Disponible en <[https://unfccc.int/es/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/es/kyoto_protocol)> [26 agosto 2020]
- van Huissteden, J. (2020). *Thawing Permafrost*. Springer International Publishing.
- Vonk, J. E., Sánchez-García, L., Van Dongen, B. E., Alling, V., Kosmach, D., Charkin, A., ... & Eglinton, T. I. (2012). *Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia*. *Nature*, 489(7414), 137-140.
- Vonk, J. E., Tank, S. E., Bowden, W. B., Laurion, I., Vincent, W. F., Alekseychik, P., ... & Deshpande, B. N. (2015). *Reviews and syntheses: Effects of permafrost thaw on Arctic aquatic ecosystems*. *Biogeosciences*, 12(23), 7129-7167.
- Wang, G., Li, Y., Hu, H., & Wang, Y. (2008). *Synergistic effect of vegetation and air temperature changes on soil water content in alpine frost meadow soil in the permafrost region of Qinghai-Tibet*. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(17), 3310-3320.
- Wang, T., Wu, T., Wang, P., Li, R., Xie, C., & Zou, D. (2019). *Spatial distribution and changes of permafrost on the Qinghai-Tibet Plateau revealed by statistical models during the period of 1980 to 2010*. *Science of the Total Environment*, 650, 661-670.

- Wang, Z., Kim, Y., Seo, H., Um, M. J., & Mao, J. (2019). *Permafrost response to vegetation greenness variation in the Arctic tundra through positive feedback in surface air temperature and snow cover*. *Environmental Research Letters*, 14(4), 044024.
- WHOI (2020). *Arctic Ocean Circulation* [online]. Disponible en < <https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/polar-research/arctic-ocean-circulation/> > [06 septembre 2020]
- Yang, Z. P., Ou, Y. H., Xu, X. L., Zhao, L., Song, M. H., & Zhou, C. P. (2010). *Effects of permafrost degradation on ecosystems*. *Acta Ecologica Sinica*, 30(1), 33-39.
- Zheng, L., Overeem, I., Wang, K., & Clow, G. D. (2019). *Changing arctic river dynamics cause localized permafrost thaw*. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(9), 2324-2344.
- Cita Victor Hugo: *La Nature dans tous ses états: les 50 plus belles histoires*, Guersendre Nagy. Timée-Éditions, 2005. ISBN 2915586284. p. 134.
- Cita Henry David Thoreau: Thoreau, H. D. (1979). *Walking*. Lulu. com.



## **ANEXOS**



## Anexo I. Detalle de la región de estudio

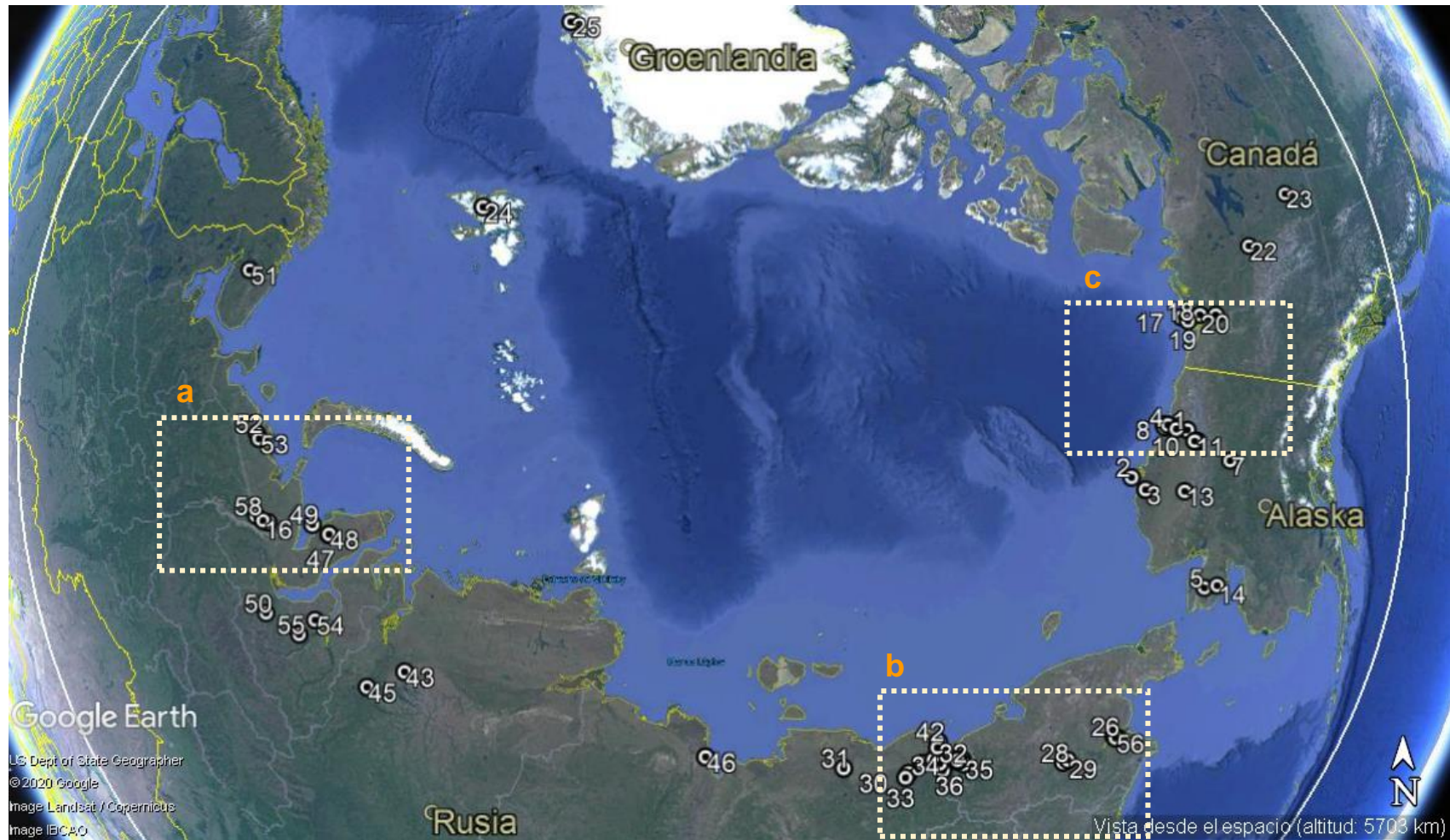


Figura 1. Imagen satélite de la región de estudio con 3 zonas marcadas (a, b y c) para aumentos detallados (Fuente: Google Earth).

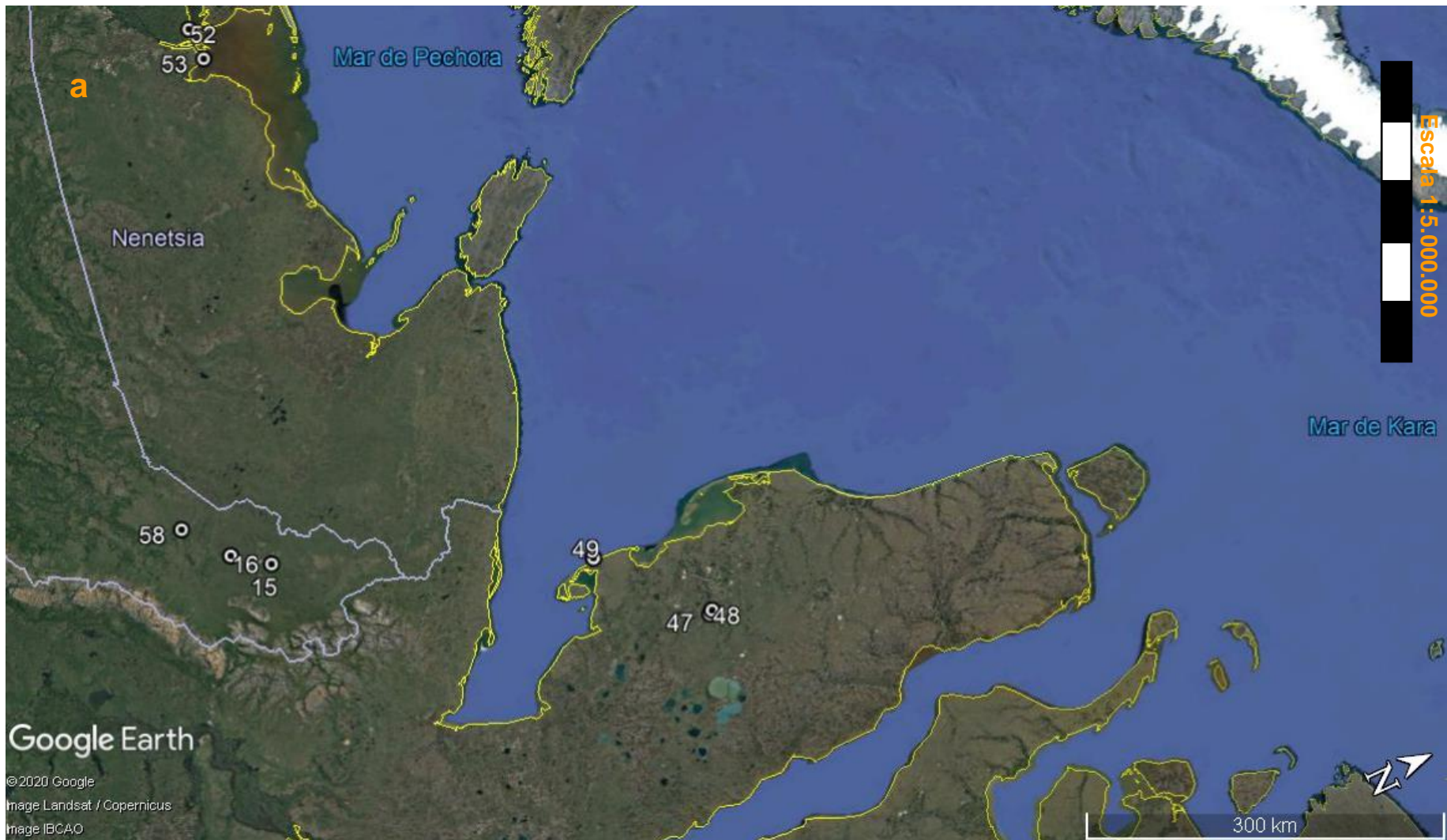


Figura 2. Aumento detallado de zona a (Fuente: Google Earth).



Figura 3. Aumento detallado de zona b (Fuente: Google Earth).



Figura 4. Aumento detallado de zona c (Fuente: Google Earth).

## Anexo II. Tablas generales de estaciones CALM

Tabla 1. Información de las 58 estaciones CALM utilizadas en el presente estudio (fuente de datos: GTN-P).

N.º	Nombre	Región/País	Coordenadas			Dimensiones cuadrícula (m)	Zona permafrost	Tipo vegetación	Forma relieve	Ambiente geomorfológico
			Latitud	Longitud	Altitud (m)					
1	Happy Valley 1km	Estados Unidos	69,100	-148,498	460,38	1000x1000	Continuo	Arbusto de tundra	Pie de monte no glaciar	De ladera
2	Barrow	Estados Unidos	71,317	-156,604	5,97	1000x1000	Continuo	Tundra	Llanura costera exterior (cuena lacustre drenada)	Lacustre
3	Atqasuk	Estados Unidos	70,451	-157,405	22,98	1000x1000	Continuo	Pradera	Llanura costera interior (cuena lacustre drenada)	Lacustre
4	Betty Pingo	Estados Unidos	70,285	-148,867	8,00	1000x1000	Continuo	Pradera	Llanura costera exterior (cuena lacustre drenada)	Lacustre
5	Kougarok	Estados Unidos	65,456	-164,627	257,15	1000x1000	Discontinuo	Arbusto de tundra	Pie de monte glaciar	Glacial y periglacial
6	West Dock 1km	Estados Unidos	70,368	-148,565	8,00	1000x1000	Continuo	Tundra	Llanura costera exterior (cuena lacustre drenada)	Lacustre
7	Old Man	Estados Unidos	66,450	-150,617	394,94	100x100	Discontinuo	Tundra	Valle subártico	Glacial y periglacial
8	Deadhorse	Estados Unidos	70,167	-148,467	16,41	100x100	Continuo	Tundra	Llanura costera exterior (cuena lacustre drenada)	Lacustre
9	Franklin Bluff	Estados Unidos	69,683	-148,717	120,00	100x100	Continuo	Tundra	Llanura costera interior (terrazas fluviales)	Fluvial
10	Imnavait 1km	Estados Unidos	68,500	-149,500	818,70	1000x1000	Continuo	Arbusto de tundra	Pie de monte glaciar	Glacial y periglacial
11	Toolik 1km	Estados Unidos	68,617	-149,600	741,64	1000x1000	Continuo	Tundra	Pie de monte glaciar	Glacial y periglacial
12	Galbraith Lake	Estados Unidos	68,483	-149,500	822,11	100x100	Continuo	Tundra	Valle de montaña glaciar	Glacial y periglacial
13	Ivotuk	Estados Unidos	68,480	-155,735	573,45	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Pie de monte glaciar	Glacial y periglacial
14	Council	Estados Unidos	64,839	-163,714	58,89	1000x1000	Discontinuo	Arbusto de tundra	Pie de monte glaciar	Glacial y periglacial
15	Ayach-Yakha	Rusia	67,583	64,183	150,88	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Depósito marino glaciar (lecho de roca seccionado por arroyos)	Glacial y periglacial
16	Talnik	Rusia	67,330	63,733	120,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Depósito marino glaciar (lecho de roca seccionado por arroyos)	Glacial y periglacial

Tabla 1. Información de las 58 estaciones CALM utilizadas en el presente estudio (fuente de datos: GTN-P). Continuación.

N.º	Nombre	Región/País	Coordenadas			Dimensiones cuadrícula (m)	Zona permafrost	Tipo vegetación	Forma relieve	Ambiente geomorfológico
			Latitud	Longitud	Altitud (m)					
17	North Head (Grid)	Canadá	69,720	-134,462	11,72	100x100	Continuo	Arbusto de tundra		Otro
18	Taglu (Grid)	Canadá	69,369	-134,949	66,53	100x100	Discontinuo	Arbusto de tundra	Llanura costera deltaica	Marino/costero
19	Lousy Point (Grid)	Canadá	69,219	-134,291	69,22	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Cresta glaciofluvial	Glacial y periglacial
20	Reindeer Depot (Grid)	Canadá	68,685	-134,146	6,00	100x100	Discontinuo	Arbusto de tundra	Delta dominado por canales	Fluvial
21	Rengleng River (Grid)	Canadá	67,795	-134,126	11,00	100x100	Discontinuo	Bosque de conífera	Llanura aluvial en ápice deltaico	Fluvial
22	Norman Wells (Grid)	Canadá	65,193	-126,469	61,00	100x100	Discontinuo	Bosque de conífera	Terraza fluvial	Fluvial
23	Fort Simpson (Grid)	Canadá	61,888	-121,602	170,55	100x100	Discontinuo	Bosque de conífera	Llanura glaciar lacustre	Glacial y periglacial
24	UNISCALM	Noruega	78,200	15,750	38,11	100x100	Continuo	Tundra	Terraza plana	De ladera
25	Zackenber ZEROCALM 1	Groenlandia	74,467	-20,500	38,90	100x100	Continuo	Tundra	Llanura abrasiva marina de grano fino	Glacial y periglacial
26	Cape Rogozny	Rusia	64,783	176,967	17,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Llanura montañosa	De ladera
27	Mountain Dionisiya	Rusia	64,567	177,200	104,01	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Pie de montaña proluvial-deluvial	De ladera
28	Lavrentiya	Rusia	65,600	171,050	176,61	100x100	Continuo	Musgo	Ladera suave de montaña	De ladera
29	Lorino	Rusia	65,540	171,630	49,32	100x100	Continuo	Tundra	Llanura costera	Marino/costero
30	Andryushkino	Rusia	69,167	154,433	21,00	100x100	Continuo	Bosque de tundra		Otro
31	Allaiha	Rusia	70,565	147,432	42,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra		Otro
32	Yakutskoe Lake	Rusia	69,854	159,489	9,00	100x100	Continuo	Tundra	Planicie glaciar con colinas y alas (yedoma)	Glacial y periglacial
33	Alazeya River	Rusia	69,316	154,974	60,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Planicie glaciar con colinas y alas (yedoma)	Glacial y periglacial
34	Lake Akhmelo	Rusia	68,832	161,025	13,00	100x100	Continuo	Tundra	Llanura arenosa con lagos	Lacustre



Tabla 1. Información de las 58 estaciones CALM utilizadas en el presente estudio (fuente de datos: GTN-P). Continuación.

N.º	Nombre	Región/País	Coordenadas			Dimensiones cuadrícula (m)	Zona permafrost	Tipo vegetación	Forma relieve	Ambiente geomorfológico
			Latitud	Longitud	Altitud (m)					
35	Malchikovskaya Channel	Rusia	68,520	161,431	10,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Llanura de inundación	Fluvial
36	Lake Glukhoe	Rusia	68,803	160,957	15,00	100x100	Continuo	Bosque de tundra	Llanura arenosa con lagos	Lacustre
37	Mt, Rodinka GRID	Rusia	68,742	161,504	152,00	100x100	Continuo	Bosque de tundra	Pendiente suave	De ladera
38	Akhmelo Channel	Rusia	68,814	160,992	5,48	100x100	Continuo	Bosque de tundra	Llanura de inundación	Fluvial
39	Segodnya Pingo	Rusia	69,088	158,897	33,78	100x100	Continuo	Tundra	Llanura arenosa con lagos	Lacustre
40	Konkovaya River R15b	Rusia	69,413	158,448	24,52	100x100	Continuo	Tundra	Planicie glaciar con colinas (yedoma)	Glacial y periglacial
41	Chukochya River	Rusia	69,486	156,991	31,00	100x100	Continuo	Tundra	Planicie glaciar con colinas y alas (yedoma)	Glacial y periglacial
42	Cape Chukochii R13a	Rusia	70,083	159,920	32,00	100x100	Continuo	Tundra	Planicie glaciar con colinas y alas (yedoma)	Glacial y periglacial
43	Talnakh	Rusia	69,433	88,466	67,00	100x100	Continuo	Bosque de tundra	Terraza fluvial	Fluvial
44	Neleger	Rusia	62,316	129,500	220,33	100x100	Continuo	Bosque de conífera	Llanura de agradación	Glacial y periglacial
45	Igarka	Rusia	67,482	86,435	23,03	100x100	Continuo	Tundra	Terraza fluvial	Fluvial
46	Bykovsky Cape Alas	Rusia	71,784	129,401	13,54	100x100	Continuo	Tundra	Alas	Glacial y periglacial
47	Vaskiny Dachi 1	Rusia	70,276	68,892	51,96	50x50	Continuo	Tundra	Llanura costera-marina (cima plana de colina)	Marino/costero
48	Vaskiny Dachi 3	Rusia	70,301	68,841	47,86	50x50	Continuo	Tundra	Terraza fluvial	Fluvial
49	Marre Sale	Rusia	69,717	66,750	-1,11	1000x1000	Continuo	Tundra	Llanura marina disecada	Marino/costero
50	Nadym Grid	Rusia	65,330	72,917	7,00	1000x1000	Discontinuo	Bosque de tundra	Llanura aluvial lacustre disecada	Glacial y periglacial
51	Umbozero	Rusia	67,772	34,182	152,56	100x100	Continuo	Bosque de tundra	Llanura en segunda terraza lacustre	Lacustre
52	Kashin Island	Rusia	68,230	53,850	0,00	100x100	Continuo	Tundra	Llanura marina disecada	Marino/costero

Tabla 1. Información de las 58 estaciones CALM utilizadas en el presente estudio (fuente de datos: GTN-P). Continuación.

N.º	Nombre	Región/País	Coordenadas			Dimensiones cuadrícula (m)	Zona permafrost	Tipo vegetación	Forma relieve	Ambiente geomorfológico
			Latitud	Longitud	Altitud (m)					
53	Bolvansky	Rusia	68,289	54,508	30,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Llanura marina glacial disecada	Glacial y periglacial
54	Urengoy GAS FIELD GP15	Rusia	67,478	76,695	59,00	100x100	Discontinuo	Bosque de tundra		Otro
55	Urengoy GAS FIELD GP5	Rusia	66,315	76,908	60,00	100x100	Discontinuo	Bosque de tundra		Otro
56	Kruglaya	Rusia	64,633	176,967	2,50	100x100	Continuo	Arbusto de tundra	Cuenca lacustre (pantano)	Lacustre
57	Omolon	Rusia	68,722	158,903	5,00	100x100	Continuo	Tundra	Colina	De ladera
58	Seida	Rusia	67,066	62,925	100,00	100x100	Continuo	Arbusto de tundra		Otro

Tabla 2. Espesores de capa activa para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (calculados a partir de los datos tomados de: GTN-P).

	Máximo Espesor Medio Anual de Capa Activa (cm)																							
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1		42,64	43,42	48,00	48,24	44,37	40,42	42,11	39,56	40,26	44,99	41,12	47,13	39,85	44,15	48,75	44,15	47,21	43,48	47,44	44,74	45,65	46,35	44,71
2		34,46	35,95	36,82	41,02	37,04	33,99	30,37	30,64	28,61	42,45	33,27	32,39	31,87	34,27	34,33	41,19	41,43	37,71	40,51	34,19	39,79	40,11	38,87
3		44,43	47,19	44,42	50,54	48,87	43,24	39,87	41,63	37,38	58,73	46,45	46,76	45,60	49,39	53,71	49,08	50,03	49,67	58,10	51,83	54,48	55,80	53,15
4		54,68	54,97	54,85	59,73	53,84	47,30	46,71	50,32	50,07	56,69	49,18	56,24	46,27	51,34	48,38	48,60	53,60	56,20		48,74	53,86	56,98	
5						64,63	32,55	55,79	51,90						61,43	61,33	64,08	67,81	56,19	58,09	58,36	57,33		
6		51,39	54,94	51,82	57,70	50,68	46,25	45,64	48,15	48,29	54,15	44,55	53,44	44,23	47,27	43,94	46,36	51,21	51,57	54,39	47,57	53,85	54,81	55,82
7			33,39		43,64	39,24	34,66			38,94	43,31	40,82	41,79	43,29	38,02	37,68	45,80	42,50	42,10	36,23	43,42	39,02	42,93	42,92
8			64,14	65,48	70,30	70,68	60,96	62,19	60,84	61,02	67,31	55,50	66,75	58,27		58,37	64,78	62,60	68,95	72,09	70,06	72,81	71,74	72,32
9			63,33	66,10	71,85	65,96	55,29	58,23	54,79	54,85	64,17	52,82	56,81	57,12	56,58	60,40	65,93	64,69	69,06	70,39	69,33	67,53	67,39	68,95
10		48,95	45,99	50,53	56,84	47,69	45,65	47,74	38,15	52,83	50,46	57,07	50,38	52,75	56,66	57,87	62,89	59,49	55,34	55,33	50,15	58,64	58,64	59,73
11		46,40	46,88	42,68	54,44	48,11	44,70	45,70	38,27	40,56	33,89	51,07	48,73	51,48	49,79	54,77	60,99	55,05	49,73	50,78	49,86	51,43	53,48	55,68
12			50,73	59,40	59,87	55,48		42,81	39,02	46,69		44,31	48,21	53,71	53,41	58,67	59,28	50,18	55,83	56,68	55,26	56,82	56,72	54,58
13							55,95	50,70	42,78			51,03	53,79	55,64	50,32	55,35	57,38	52,92	50,21	53,97	52,34			
14						73,19	33,40	67,56	53,03						74,50	63,05	65,27	71,04	57,28	54,52	60,11	67,69		
15			67,43	61,56	63,37	64,10	69,33	73,36	75,82	77,32	78,35	80,83	84,39	88,87	87,36	85,79	89,11	88,33	90,70	93,14	90,53	89,23		
16					89,38	91,33	110,78	111,27	110,10	113,58	124,72	130,69	137,48	138,36	151,79	143,92	138,16	143,69	160,60	155,69	125,85	150,27	169,14	154,48
17					52,48	52,40	42,56	42,85	43,71	45,36	49,80	40,06		48,18	49,99									
18					104,00	110,12	109,30	100,24	99,59	95,59	98,51	75,36	100,62	93,81	96,81									
19					64,04	61,89	52,28	53,16	53,79	52,98	55,08	49,19	61,00	55,07	58,91									
20							111,25	116,84	107,77	100,89		103,91	121,19	108,59	111,90									

Tabla 2. Espesores de capa activa para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (calculados a partir de los datos tomados de: GTN-P). Continuación.

Máximo Espesor Medio Anual de Capa Activa (cm)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
21					82,33	77,87	80,19	77,02	75,19	72,29		70,99	82,72	79,67	80,80									
22					50,05	48,61	45,04	45,16	47,12	41,02	39,35	45,64	48,28	46,77	49,81									
23						75,65	85,06	84,20	82,32	76,26	90,88	103,16	97,66	98,91	105,12									
24																		100,85	101,24	102,13	103,30	105,26		
25			60,10	62,12	66,14	60,88	63,55	63,26	70,52	72,55	76,29	79,36	75,95	74,81	79,36	79,39	82,03	82,03	82,39	74,69	74,28	74,00	84,52	
26	43,05	42,47	48,56	49,69	37,79	38,59	41,92	44,07	46,45	50,11	57,07	56,53	52,98	58,33	51,91	51,69	51,87	51,40	53,27	52,13	58,82	55,30	59,60	55,30
27			50,31	47,21	45,26	52,96	46,44	46,95	52,15	54,54	64,55	62,08		66,83	61,14	59,90	52,51	57,39	54,37	56,92	60,07	58,29	64,31	59,87
28							58,66	60,01	61,49	64,22	65,16	66,98	59,41	74,32	60,47	63,96	73,51	64,73	67,27	69,07	69,76	71,66	66,71	71,02
29																	47,16	46,79	46,92	51,39	56,34	55,33	55,86	55,03
30												37,51	36,53	42,82	42,62	40,76	31,04	35,44	34,12	44,25	38,01	37,87	42,11	42,79
31											38,36	42,27	43,88	48,39	47,11	48,64	52,49	51,81	49,74	46,98	46,66	46,34	49,33	40,53
32						22,95	36,78	37,73	47,16			54,62	45,07	64,77	42,78	42,09	64,82	60,58	41,18	40,50		38,77	42,42	42,86
33					45,66	46,08			50,32		51,24	52,71		57,38	53,33	50,92	56,86	50,01	51,59	48,51	44,55	56,14	53,13	53,99
34			84,67		69,66	82,81	83,87	104,37	91,34	95,69	102,64	113,02	101,01	117,48	100,27	95,77	110,32		92,31	96,45	108,23	95,95	111,07	85,17
35			54,07		47,75	52,09	45,58	49,55	46,60	52,44	56,08	53,37	53,92	57,29	54,57	49,51	52,62	59,07	53,52	60,85	64,54	58,80	53,27	64,11
36			72,03		64,90	67,66	71,85	72,42	78,10	84,30	91,95	95,25	92,55		91,70	91,45	102,65	93,21	82,94	88,55	95,10	101,09	111,75	79,25
37					71,88	74,47	75,06	75,48	76,20	81,36	84,95	84,63	82,57	85,50	80,32	77,89	83,81	84,01	77,02	74,13	79,49	82,55	85,33	86,67
38			44,32		42,62		45,26	47,10	47,69	50,80	54,67	53,60	52,98	60,35	49,27	47,47	55,77	61,56	52,81	55,08	63,73	55,22	56,50	55,08
39			37,95			27,91			39,15			53,83	41,93	75,19	48,80	43,90	56,13	71,82	53,82	49,94	56,53	59,51	56,57	56,20

Tabla 2. Espesores de capa activa para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (calculados a partir de los datos tomados de: GTN-P). Continuación.

Máximo Espesor Medio Anual de Capa Activa (cm)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
40						36,04		36,22					43,73	54,19	44,11	38,40	44,78	53,98	53,98	45,67	42,94	44,35	40,94	38,59
41			42,33		40,70	37,51	40,98					46,62	43,69		38,99	46,12	49,32	46,65	45,83	42,40		48,11	40,96	49,30
42						31,48	38,74	38,45	48,14	29,57		45,72	56,31	37,30	25,29	51,63	45,48	43,50	47,46	35,25		36,22	45,66	42,82
43															93,86	93,74	93,64	95,63	103,69	86,03	94,60	101,80	84,32	105,62
44															123,83	122,44	122,83	122,56	124,11	128,94	125,58	125,22	120,58	121,00
45															74,13	71,49	66,67	70,33	70,29	71,79	72,50	79,41	89,27	93,39
46											25,84	32,83	31,53	44,13	36,69	25,23	27,79		29,61	23,90	33,26	30,31	25,84	32,83
47														71,80	74,85	46,85	67,16	66,51	77,49	79,75	71,44	75,62		
48														111,71	113,21	81,84	105,95	113,78	127,85	126,29	111,98	128,76		
49		130,55	110,77	93,89	114,78	91,64	105,84	110,98	114,58	108,81	113,97	115,82	115,93	114,35	113,96	85,29	98,53	102,30	127,49	115,21	102,18	121,81	136,03	
50				121,40	137,26	123,34	125,96	133,64	143,39	126,17	133,60	141,47	128,84	128,84	136,17	101,45	113,91	128,97	133,68	136,26	164,26	163,42	186,03	148,26
51																	159,64	160,09	160,09	165,47	159,64	161,47	162,73	
52																	57,60	64,47	87,88	86,88	65,08	79,89	108,67	76,40
53						69,19	106,17	105,96	103,63	113,50	119,31	114,62	114,51	124,54	124,59	112,50	103,39	107,27		116,43	102,12	110,76	110,65	88,67
54															83,64	65,42	80,37	81,83	95,29	91,86	83,92	92,57	93,33	96,37
55															84,22	64,88	76,64	71,59	86,63	69,82	85,08	85,08	73,79	51,44
56																	42,42	43,93	44,31	47,21	48,98	44,32		
57														41,44	33,79	32,35	51,87	44,53	43,64	40,10	40,40	45,68	32,47	43,21
58																			47,98	51,57	52,90	55,63	52,47	44,81

*Tabla 3. Temperaturas Máximas Medias Anuales (TMáxMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA).*

	Temperatura Máxima Media Anual del aire (°C)																							
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	-6,28	-4,22	-6,33	-5,20	-3,82	-7,00	-5,52	-5,79	-4,26	-4,86	-5,14	-4,76	-5,37	-3,80	-5,51	-5,46	-4,95	-4,33	-6,35	-5,50	-4,23	-4,38	-3,57	-3,14
2	-8,63	-7,05	-7,29	-7,46	-6,04	-8,86	-8,42	-8,57	-6,56	-7,06	-7,38	-6,96	-7,48	-6,12	-7,54	-7,62	-7,04	-6,71	-7,78	-7,39	-6,75	-6,84	-5,54	-5,01
3	-8,01	-5,75	-6,55	-6,23	-5,00	-7,48	-7,14	-7,61	-5,34	-5,97	-6,17	-6,04	-6,48	-4,80	-6,31	-6,49	-5,64	-5,02	-7,00	-6,17	-5,56	-6,01	-4,14	-3,83
4	-7,13	-5,76	-6,80	-6,70	-4,72	-8,04	-7,00	-7,52	-5,37	-5,99	-6,71	-6,98	-7,00	-6,19	-6,91	-7,24	-6,73	-6,67	-7,49	-6,93	-6,00	-6,20	-5,09	-5,17
5	-3,52	-1,77	-2,59	-1,57	-2,53	-4,88	-1,48	-2,99	-0,64	-1,26	-0,62	-1,38	-2,71	-1,09	-3,46	-2,45	-2,38	-1,55	-3,96	-2,13	-0,13	-1,13	0,84	0,21
6	-7,13	-5,76	-6,80	-6,70	-4,72	-8,04	-7,00	-7,52	-5,37	-5,99	-6,71	-6,98	-7,00	-6,19	-6,91	-7,24	-6,73	-6,67	-7,49	-6,93	-6,00	-6,20	-5,09	-5,17
7	-3,95	-2,56	-4,49	-2,65	-2,30	-4,60	-3,25	-3,23	-1,77	-2,52	-2,88	-2,35	-3,32	-2,21	-4,17	-3,08	-2,68	-2,51	-3,98	-2,96	-1,97	-1,94	-1,34	-1,51
8	-7,17	-5,83	-6,92	-6,79	-4,76	-8,12	-7,09	-7,55	-5,44	-6,07	-6,81	-6,96	-6,96	-6,16	-6,91	-7,18	-6,72	-6,63	-7,43	-6,93	-5,93	-6,15	-5,06	-5,13
9	-6,62	-4,74	-6,23	-5,75	-3,90	-7,35	-5,94	-6,54	-4,46	-5,20	-5,70	-5,67	-5,92	-4,74	-5,84	-6,09	-5,73	-5,15	-6,75	-5,87	-4,87	-5,07	-4,00	-3,79
10	-7,34	-5,21	-7,25	-5,93	-4,93	-7,84	-6,37	-6,58	-5,11	-5,66	-5,68	-5,49	-6,15	-4,72	-6,72	-6,22	-5,58	-5,28	-7,44	-6,42	-5,03	-5,17	-4,41	-4,20
11	-7,27	-5,06	-6,99	-5,77	-4,79	-7,71	-6,20	-6,50	-4,91	-5,45	-5,54	-5,41	-5,99	-4,52	-6,56	-6,06	-5,49	-5,12	-7,33	-6,23	-4,88	-5,03	-4,21	-4,00
12	-7,94	-6,08	-8,22	-6,71	-5,88	-8,33	-7,25	-6,99	-6,02	-6,58	-6,36	-5,92	-6,98	-5,74	-7,65	-7,08	-6,09	-6,39	-8,22	-7,30	-5,89	-6,05	-5,43	-5,39
13	-7,99	-5,57	-7,13	-5,91	-5,58	-8,01	-6,30	-6,98	-5,10	-5,64	-5,67	-5,44	-6,25	-4,76	-6,87	-6,08	-5,57	-5,40	-7,73	-6,49	-5,17	-5,31	-4,06	-4,21
14	-2,25	-0,72	-1,67	-0,55	-1,28	-4,00	-0,26	-1,76	0,41	-0,06	0,11	-0,20	-1,75	-0,07	-2,44	-1,55	-1,55	-0,92	-2,99	-1,22	0,66	-0,13	1,63	0,84
15	-4,25	-1,82	-2,82	-4,88	-6,47	-5,25	-3,63	-4,36	-4,83	-3,27	-3,88	-2,09	-5,11	-2,07	-2,96	-5,43	-5,25	-2,88	-2,83	-4,15	-5,14	-3,65	-2,08	-3,00
16	-3,94	-1,49	-2,67	-4,57	-6,20	-5,04	-3,17	-4,01	-4,52	-2,80	-3,56	-1,68	-4,92	-1,78	-2,60	-5,18	-4,98	-2,54	-2,53	-3,84	-4,87	-3,39	-1,82	-2,72
17	-6,05	-5,21	-6,60	-6,18	-3,63	-6,50	-7,14	-6,14	-5,67	-6,42	-7,56	-6,64	-6,15	-7,42	-6,76	-7,32	-6,04	-6,73	-5,20	-7,05	-5,61	-5,43	-5,13	-4,74
18	-5,02	-4,54	-5,78	-5,17	-2,73	-5,76	-6,08	-5,15	-4,53	-5,61	-6,80	-5,78	-5,15	-6,37	-6,03	-6,36	-5,32	-5,50	-4,48	-5,97	-4,78	-4,63	-4,46	-3,54
19	-4,92	-4,49	-5,76	-5,14	-2,73	-5,68	-6,04	-5,08	-4,53	-5,66	-6,88	-5,77	-5,15	-6,49	-6,15	-6,44	-5,36	-5,54	-4,47	-6,00	-4,91	-4,67	-4,56	-3,56

Tabla 3. Temperaturas Máximas Medias Anuales (TMáxMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA). Continuación.

	Temperatura Máxima Media Anual del aire (°C)																							
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
20	-4,54	-4,36	-5,55	-4,71	-2,38	-5,53	-5,71	-4,59	-3,97	-5,28	-6,77	-4,96	-4,38	-5,52	-5,60	-5,53	-4,52	-4,59	-3,92	-5,12	-4,18	-3,99	-3,76	-2,46
21	-3,61	-3,34	-4,59	-3,58	-1,72	-4,85	-4,54	-3,31	-2,60	-3,75	-5,33	-3,76	-3,46	-4,45	-4,72	-4,29	-3,30	-3,41	-3,30	-3,86	-3,09	-2,91	-2,63	-1,31
22	-2,51	-1,75	-3,30	-2,32	-0,95	-2,70	-2,52	-1,52	-2,13	-2,12	-4,23	-1,86	-1,86	-3,53	-3,76	-3,08	-1,98	-2,48	-2,60	-2,71	-2,42	-1,70	-1,70	-0,55
23	1,00	1,09	-1,00	0,52	1,32	0,87	0,69	1,13	-0,06	0,20	-0,53	1,17	0,62	-0,81	-0,62	-0,84	0,25	0,05	0,39	0,17	0,18	1,09	1,60	2,46
24	-6,76	-7,16	-5,59	-6,60	-7,05	-5,09	-5,13	-5,69	-5,42	-6,73	-5,19	-4,95	-4,57	-4,61	-5,50	-4,98	-5,72	-5,05	-3,97	-5,59	-4,41	-4,47	-2,61	-4,35
25	-8,77	-8,29	-7,62	-8,24	-7,96	-8,03	-8,18	-8,17	-7,22	-7,60	-7,55	-7,49	-8,47	-9,26	-8,83	-9,69	-9,29	-9,34	-9,17	-10,02	-8,84	-9,23	-7,11	-8,85
26	-4,29	-2,72	-1,30	-2,81	-4,58	-6,06	-3,09	-4,08	-2,71	-2,11	-2,52	-3,22	-3,73	-1,78	-4,79	-4,70	-3,81	-3,70	-5,12	-4,24	-1,87	-3,88	-0,82	-1,68
27	-4,27	-2,60	-1,24	-2,67	-4,48	-5,92	-3,06	-3,95	-2,59	-2,03	-2,41	-3,00	-3,57	-1,75	-4,69	-4,58	-3,71	-3,48	-5,01	-4,11	-1,76	-3,76	-0,77	-1,58
28	-6,85	-5,10	-4,56	-6,48	-7,23	-8,43	-6,06	-6,57	-5,11	-4,60	-5,51	-6,36	-6,18	-4,15	-6,26	-6,57	-5,75	-6,59	-7,04	-6,91	-4,79	-6,27	-2,93	-3,85
29	-6,64	-4,85	-4,31	-6,23	-6,92	-8,24	-5,79	-6,38	-4,84	-4,33	-5,21	-6,06	-5,92	-3,93	-6,06	-6,29	-5,49	-6,33	-6,83	-6,70	-4,52	-6,02	-2,59	-3,53
30	-8,64	-7,49	-9,10	-9,64	-10,51	-10,64	-7,73	-8,44	-8,28	-7,93	-9,40	-7,94	-8,72	-6,76	-8,58	-9,10	-7,94	-8,86	-8,48	-10,27	-8,47	-10,53	-7,73	-7,46
31	-9,52	-8,43	-10,40	-10,66	-11,60	-10,98	-8,85	-9,78	-9,86	-9,17	-10,86	-8,77	-9,67	-8,15	-9,53	-10,23	-8,76	-9,48	-9,41	-10,69	-9,21	-10,63	-8,64	-8,42
32	-8,56	-7,14	-8,16	-8,97	-9,57	-10,02	-7,79	-7,75	-7,25	-6,74	-8,28	-8,34	-8,94	-6,31	-8,66	-8,91	-7,88	-9,11	-8,09	-9,22	-7,68	-9,92	-6,85	-6,78
33	-8,63	-7,42	-9,02	-9,56	-10,46	-10,65	-7,74	-8,40	-8,15	-7,82	-9,31	-7,92	-8,66	-6,66	-8,51	-9,06	-7,88	-8,83	-8,42	-10,14	-8,41	-10,49	-7,66	-7,40
34	-7,51	-5,88	-6,99	-7,74	-9,62	-9,23	-7,30	-6,85	-6,80	-5,88	-7,95	-7,28	-7,73	-5,29	-6,81	-8,26	-6,76	-7,77	-7,32	-8,08	-6,64	-8,74	-5,57	-5,39
35	-7,51	-5,88	-6,99	-7,74	-9,62	-9,23	-7,30	-6,85	-6,80	-5,88	-7,95	-7,28	-7,73	-5,29	-6,81	-8,26	-6,76	-7,77	-7,32	-8,08	-6,64	-8,74	-5,57	-5,39
36	-7,40	-5,90	-7,06	-7,74	-9,53	-9,12	-7,11	-6,74	-6,73	-5,90	-7,97	-7,21	-7,61	-5,22	-6,78	-8,17	-6,72	-7,70	-7,27	-8,14	-6,62	-8,75	-5,65	-5,39
37	-7,65	-5,88	-6,93	-7,79	-9,72	-9,40	-7,54	-7,02	-6,90	-5,87	-7,92	-7,38	-7,86	-5,35	-6,87	-8,38	-6,80	-7,87	-7,41	-8,04	-6,67	-8,74	-5,49	-5,41

Tabla 3. Temperaturas Máximas Medias Anuales (TMáxMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA).

Temperatura Máxima Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
38	-7,40	-5,90	-7,06	-7,74	-9,53	-9,12	-7,11	-6,74	-6,73	-5,90	-7,97	-7,21	-7,61	-5,22	-6,78	-8,17	-6,72	-7,70	-7,27	-8,14	-6,62	-8,75	-5,65	-5,39
39	-8,45	-7,06	-8,24	-8,95	-10,04	-10,16	-7,64	-7,74	-7,38	-6,90	-8,66	-7,99	-8,47	-6,02	-7,97	-8,72	-7,47	-8,65	-7,99	-9,13	-7,55	-9,74	-6,75	-6,52
40	-8,44	-7,08	-8,35	-9,03	-10,10	-10,26	-7,68	-7,83	-7,47	-6,99	-8,73	-7,98	-8,49	-6,11	-8,03	-8,75	-7,53	-8,66	-8,02	-9,22	-7,68	-9,84	-6,89	-6,67
41	-8,49	-7,15	-8,67	-9,25	-10,30	-10,51	-7,79	-8,11	-7,73	-7,33	-8,97	-7,96	-8,53	-6,35	-8,19	-8,88	-7,66	-8,71	-8,15	-9,56	-8,05	-10,19	-7,28	-7,03
42	-8,74	-7,35	-8,31	-9,12	-9,42	-10,07	-8,26	-7,99	-7,34	-6,77	-8,18	-8,75	-9,28	-6,65	-9,33	-9,04	-8,30	-9,39	-8,16	-9,09	-7,81	-10,02	-6,88	-6,99
43	-7,45	-5,75	-7,24	-7,40	-8,42	-7,21	-8,62	-7,11	-7,64	-7,23	-7,50	-5,88	-8,04	-6,14	-6,85	-8,42	-8,79	-5,11	-6,22	-6,03	-8,36	-6,00	-5,63	-6,17
44	-6,30	-3,61	-5,23	-4,67	-4,79	-5,97	-5,31	-4,77	-3,20	-4,10	-7,02	-4,55	-5,53	-3,95	-3,86	-4,74	-5,26	-4,22	-4,62	-4,91	-5,25	-4,01	-4,75	-4,17
45	-5,70	-3,20	-5,33	-5,23	-6,36	-5,73	-6,91	-5,11	-5,44	-4,68	-5,00	-3,34	-6,33	-3,89	-4,50	-6,65	-7,33	-3,13	-4,49	-4,17	-6,61	-3,99	-3,44	-4,06
46	-9,07	-8,13	-10,11	-8,99	-9,97	-9,15	-8,83	-8,78	-9,01	-8,25	-10,55	-8,94	-10,40	-8,70	-9,88	-10,38	-8,93	-9,13	-9,51	-10,22	-9,50	-9,99	-9,41	-9,52
47	-5,09	-2,41	-2,87	-5,21	-6,78	-5,66	-5,13	-4,20	-5,60	-4,35	-4,77	-3,09	-5,82	-3,41	-3,00	-6,08	-6,36	-2,76	-2,50	-5,02	-5,61	-3,84	-2,61	-3,60
48	-5,09	-2,41	-2,87	-5,21	-6,78	-5,66	-5,13	-4,20	-5,60	-4,35	-4,77	-3,09	-5,82	-3,41	-3,00	-6,08	-6,36	-2,76	-2,50	-5,02	-5,61	-3,84	-2,61	-3,60
49	-3,86	-1,83	-2,27	-4,62	-6,13	-5,36	-4,12	-3,98	-4,69	-3,77	-4,05	-3,23	-5,62	-2,70	-2,37	-4,85	-5,06	-2,44	-1,74	-4,51	-4,90	-3,08	-1,95	-2,74
50	-3,06	-0,29	-2,19	-3,04	-4,63	-3,68	-2,74	-2,86	-2,88	-1,76	-2,82	-0,68	-4,11	-1,31	-1,66	-4,13	-4,45	-0,83	-0,88	-2,77	-3,68	-2,04	-0,96	-2,16
51	0,88	0,81	0,78	0,62	-0,77	0,52	2,09	1,01	0,68	2,00	1,39	2,24	1,54	1,88	0,93	0,80	0,28	2,18	0,49	2,37	1,65	1,85	2,70	1,08
52	-0,78	0,85	-0,01	-1,80	-3,77	-2,57	-0,57	-1,34	-1,91	0,15	-0,41	0,23	-1,90	0,95	0,35	-1,60	-1,27	0,46	-0,31	-0,14	-1,40	-0,32	0,99	0,12
53	-1,07	0,61	-0,27	-2,05	-4,04	-2,86	-0,85	-1,67	-2,31	-0,23	-0,77	-0,06	-2,34	0,68	0,10	-1,95	-1,62	0,21	-0,48	-0,64	-1,83	-0,71	0,57	-0,20
54	-5,16	-1,93	-3,36	-4,14	-5,84	-4,97	-5,29	-3,87	-4,29	-3,25	-3,77	-1,69	-5,48	-2,77	-2,73	-5,54	-6,15	-2,12	-2,23	-3,90	-5,24	-3,11	-2,16	-3,47
55	-4,65	-1,56	-3,27	-3,89	-5,71	-4,85	-4,84	-3,84	-3,73	-2,91	-3,51	-1,29	-5,14	-2,45	-2,55	-5,21	-5,75	-1,86	-1,97	-3,51	-4,91	-2,90	-1,84	-3,00



*Tabla 3. Temperaturas Máximas Medias Anuales (TMáxMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA).*

Temperatura Máxima Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<b>56</b>	-4,29	-2,72	-1,30	-2,81	-4,58	-6,06	-3,09	-4,08	-2,71	-2,11	-2,52	-3,22	-3,73	-1,78	-4,79	-4,70	-3,81	-3,70	-5,12	-4,24	-1,87	-3,88	-0,82	-1,68
<b>57</b>	-7,97	-6,61	-8,03	-8,53	-10,08	-9,83	-7,37	-7,44	-7,23	-6,63	-8,66	-7,69	-8,06	-5,84	-7,32	-8,59	-7,26	-8,24	-7,84	-8,83	-7,44	-9,46	-6,60	-6,19
<b>58</b>	-3,23	-0,93	-2,13	-4,08	-5,77	-4,61	-2,62	-3,58	-4,08	-2,19	-2,99	-1,17	-4,52	-1,27	-1,98	-4,59	-4,32	-1,95	-2,07	-3,27	-4,27	-2,91	-1,31	-2,15

Tabla 4. Temperaturas Mínimas Medias Anuales (T<sub>MínMA</sub>) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA).

Temperatura Mínima Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	-13,23	-10,84	-13,07	-11,98	-10,27	-14,03	-12,55	-12,77	-11,37	-11,49	-12,12	-11,57	-12,04	-11,08	-12,57	-12,73	-11,84	-11,87	-12,94	-12,31	-10,69	-11,11	-10,05	-10,25
2	-12,56	-10,70	-11,39	-11,06	-9,65	-12,52	-12,12	-12,26	-10,40	-10,65	-11,03	-10,62	-11,48	-10,05	-11,50	-11,76	-10,90	-10,85	-11,53	-11,19	-10,46	-10,59	-8,92	-9,03
3	-14,10	-11,74	-13,07	-12,48	-10,94	-13,79	-13,36	-13,58	-11,71	-12,15	-12,47	-12,12	-12,80	-11,54	-12,98	-13,17	-11,93	-12,10	-13,49	-12,61	-11,49	-11,96	-10,14	-10,38
4	-11,90	-10,06	-11,72	-11,09	-9,18	-12,54	-11,59	-11,98	-10,17	-10,40	-11,26	-11,72	-11,97	-11,03	-11,98	-12,41	-11,50	-11,88	-12,18	-11,82	-10,67	-11,13	-9,34	-10,10
5	-10,22	-8,63	-9,42	-8,43	-8,53	-11,61	-8,18	-9,44	-7,41	-7,96	-7,16	-8,15	-9,36	-8,11	-10,42	-9,50	-9,07	-8,85	-10,74	-8,92	-6,97	-7,95	-6,22	-7,10
6	-11,90	-10,06	-11,72	-11,09	-9,18	-12,54	-11,59	-11,98	-10,17	-10,40	-11,26	-11,72	-11,97	-11,03	-11,98	-12,41	-11,50	-11,88	-12,18	-11,82	-10,67	-11,13	-9,34	-10,10
7	-10,94	-9,62	-12,02	-9,61	-8,72	-11,91	-9,94	-9,92	-8,95	-9,47	-9,93	-8,92	-10,29	-9,31	-11,09	-10,47	-9,74	-10,12	-10,97	-10,28	-8,74	-8,87	-7,77	-8,71
8	-11,87	-10,04	-11,72	-11,05	-9,13	-12,53	-11,59	-11,96	-10,13	-10,39	-11,28	-11,58	-11,79	-10,85	-11,81	-12,19	-11,35	-11,68	-11,95	-11,68	-10,43	-10,94	-9,17	-9,91
9	-12,90	-10,58	-12,51	-11,70	-9,79	-13,56	-12,19	-12,55	-10,94	-11,17	-11,86	-11,86	-12,06	-11,39	-12,39	-12,77	-11,81	-12,03	-12,81	-12,10	-10,77	-11,28	-9,73	-10,17
10	-14,11	-11,58	-13,97	-12,64	-11,27	-14,63	-13,27	-13,35	-12,06	-12,13	-12,59	-12,04	-12,81	-11,56	-13,40	-13,40	-12,27	-12,47	-13,85	-13,15	-11,34	-11,82	-10,88	-11,13
11	-13,98	-11,39	-13,68	-12,42	-11,00	-14,42	-13,02	-13,19	-11,80	-11,90	-12,35	-11,88	-12,56	-11,34	-13,14	-13,13	-12,12	-12,26	-13,66	-12,87	-11,07	-11,58	-10,57	-10,87
12	-14,76	-12,63	-15,13	-13,53	-12,32	-15,27	-14,16	-13,86	-12,95	-13,13	-13,37	-12,49	-13,70	-12,48	-14,34	-14,24	-12,83	-13,36	-14,73	-14,26	-12,41	-12,71	-11,94	-12,28
13	-14,68	-11,82	-13,81	-12,64	-11,63	-14,68	-13,13	-13,55	-11,86	-12,16	-12,18	-12,02	-12,87	-11,29	-13,50	-13,09	-12,33	-12,39	-13,90	-13,12	-11,55	-11,82	-10,47	-11,11
14	-7,97	-6,42	-7,40	-6,31	-6,25	-9,75	-5,83	-7,24	-5,25	-5,74	-5,35	-5,89	-7,35	-6,03	-8,42	-7,65	-7,23	-7,03	-8,67	-7,03	-5,01	-5,82	-4,09	-5,20
15	-10,67	-8,21	-8,96	-11,77	-13,16	-11,72	-10,27	-10,96	-11,06	-10,00	-10,51	-8,43	-11,51	-8,34	-9,28	-11,94	-11,53	-8,46	-8,68	-10,38	-11,20	-9,36	-8,31	-8,91
16	-10,28	-7,88	-8,79	-11,53	-12,94	-11,52	-9,88	-10,62	-10,75	-9,53	-10,22	-8,07	-11,24	-8,00	-9,00	-11,61	-11,25	-8,22	-8,42	-10,07	-11,03	-9,15	-8,11	-8,75
17	-10,16	-8,87	-10,67	-9,84	-7,31	-10,05	-11,15	-10,03	-9,65	-9,99	-11,34	-10,44	-10,65	-11,38	-10,92	-11,51	-9,88	-10,95	-9,13	-11,46	-9,62	-9,37	-8,94	-9,09
18	-10,84	-9,95	-11,40	-10,42	-8,25	-11,24	-11,86	-10,77	-10,24	-10,94	-12,38	-11,23	-11,17	-12,24	-12,08	-12,24	-10,79	-11,69	-10,14	-11,89	-10,45	-10,36	-10,05	-9,59
19	-10,83	-10,01	-11,44	-10,49	-8,38	-11,27	-11,93	-10,80	-10,34	-11,07	-12,56	-11,34	-11,28	-12,46	-12,30	-12,42	-10,92	-11,83	-10,23	-12,03	-10,68	-10,51	-10,28	-9,76
20	-12,01	-11,44	-12,64	-11,61	-9,44	-12,78	-13,12	-11,83	-11,26	-12,35	-14,20	-11,66	-11,41	-12,80	-12,92	-12,68	-11,26	-12,07	-10,81	-12,25	-11,12	-11,02	-10,72	-9,86

Tabla 4. Temperaturas Mínimas Medias Anuales (TMínMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA). Continuación.

Temperatura Mínima Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
21	-11,66	-11,20	-12,51	-11,16	-9,19	-12,57	-12,61	-11,17	-10,52	-11,59	-13,56	-11,00	-10,75	-12,13	-12,38	-11,99	-10,82	-11,37	-10,63	-11,70	-10,85	-10,40	-9,90	-9,27
22	-10,18	-9,55	-10,73	-9,85	-8,04	-10,13	-10,23	-8,97	-9,42	-9,47	-12,12	-9,03	-8,80	-11,00	-10,87	-10,72	-8,96	-10,10	-9,51	-10,31	-9,92	-8,85	-8,37	-8,00
23	-8,99	-8,21	-9,76	-8,47	-6,99	-7,70	-8,22	-7,49	-8,55	-8,31	-9,86	-6,98	-7,72	-9,18	-9,06	-9,55	-7,83	-8,79	-8,31	-8,86	-9,38	-7,69	-6,73	-7,19
24	-10,62	-10,69	-9,41	-10,67	-10,55	-8,49	-8,59	-9,33	-9,22	-10,44	-8,96	-9,10	-8,61	-8,50	-9,56	-8,82	-9,60	-9,00	-7,31	-8,97	-7,85	-7,98	-5,53	-7,66
25	-11,95	-11,57	-11,19	-11,71	-10,99	-11,22	-11,27	-11,26	-10,30	-10,54	-10,50	-11,42	-12,45	-13,40	-12,67	-13,21	-12,91	-13,32	-12,74	-13,51	-12,44	-13,17	-10,78	-12,43
26	-10,85	-8,87	-8,13	-8,95	-10,70	-11,90	-9,41	-10,22	-8,91	-8,45	-8,48	-9,20	-10,16	-8,46	-11,93	-11,18	-10,23	-10,26	-11,36	-10,48	-8,20	-10,10	-7,75	-8,35
27	-10,64	-8,58	-7,84	-8,59	-10,36	-11,60	-9,22	-9,89	-8,58	-8,18	-8,22	-8,64	-9,80	-8,26	-11,63	-10,88	-9,87	-9,85	-11,09	-10,15	-7,91	-9,77	-7,47	-8,10
28	-14,42	-11,95	-11,67	-13,23	-14,31	-15,21	-12,86	-13,27	-11,62	-11,30	-12,08	-13,07	-13,14	-10,87	-13,81	-13,54	-12,93	-13,41	-14,21	-13,80	-11,42	-12,87	-10,09	-10,82
29	-14,26	-11,73	-11,52	-13,07	-14,07	-15,06	-12,68	-13,07	-11,45	-11,14	-11,79	-12,84	-12,94	-10,66	-13,72	-13,34	-12,68	-13,16	-13,99	-13,57	-11,20	-12,63	-9,85	-10,61
30	-16,04	-15,10	-16,57	-16,82	-17,84	-17,60	-14,62	-15,55	-15,30	-14,90	-16,15	-14,96	-15,90	-13,72	-15,89	-16,26	-15,19	-15,50	-15,68	-16,91	-15,32	-16,89	-14,25	-14,43
31	-16,61	-15,63	-17,49	-17,45	-18,12	-17,47	-15,26	-16,48	-16,67	-15,70	-17,18	-15,46	-16,14	-14,67	-16,26	-16,70	-15,53	-15,93	-16,17	-17,34	-15,94	-16,98	-14,99	-14,80
32	-14,64	-13,31	-14,53	-14,75	-15,37	-15,40	-12,99	-13,22	-13,03	-12,99	-13,80	-14,15	-15,00	-12,64	-15,32	-15,06	-14,29	-15,04	-14,35	-15,29	-13,67	-15,67	-12,84	-13,07
33	-16,03	-15,06	-16,50	-16,77	-17,79	-17,55	-14,60	-15,45	-15,18	-14,83	-16,07	-14,93	-15,87	-13,67	-15,88	-16,22	-15,15	-15,49	-15,62	-16,81	-15,26	-16,85	-14,19	-14,37
34	-15,01	-13,31	-14,58	-14,90	-16,62	-15,82	-14,24	-13,88	-13,48	-13,05	-14,55	-13,92	-14,70	-12,39	-14,53	-15,46	-14,14	-14,71	-14,79	-15,27	-13,81	-15,39	-13,03	-12,78
35	-15,01	-13,31	-14,58	-14,90	-16,62	-15,82	-14,24	-13,88	-13,48	-13,05	-14,55	-13,92	-14,70	-12,39	-14,53	-15,46	-14,14	-14,71	-14,79	-15,27	-13,81	-15,39	-13,03	-12,78
36	-14,93	-13,30	-14,60	-14,86	-16,61	-15,68	-14,01	-13,74	-13,43	-13,08	-14,54	-13,83	-14,61	-12,36	-14,47	-15,31	-14,09	-14,60	-14,75	-15,30	-13,73	-15,35	-13,03	-12,74
37	-15,26	-13,47	-14,69	-15,11	-16,79	-16,12	-14,61	-14,19	-13,69	-13,17	-14,70	-14,14	-14,93	-12,53	-14,71	-15,73	-14,34	-14,97	-14,96	-15,37	-14,03	-15,55	-13,17	-12,94
38	-14,93	-13,30	-14,60	-14,86	-16,61	-15,68	-14,01	-13,74	-13,43	-13,08	-14,54	-13,83	-14,61	-12,36	-14,47	-15,31	-14,09	-14,60	-14,75	-15,30	-13,73	-15,35	-13,03	-12,74
39	-15,66	-14,39	-15,66	-15,73	-16,94	-16,55	-13,91	-14,23	-14,17	-13,98	-15,03	-14,47	-15,28	-13,07	-15,38	-15,60	-14,66	-15,26	-15,02	-15,92	-14,32	-16,13	-13,47	-13,44
40	-15,74	-14,51	-15,79	-15,89	-17,08	-16,72	-14,04	-14,42	-14,32	-14,10	-15,18	-14,57	-15,40	-13,19	-15,50	-15,71	-14,77	-15,34	-15,11	-16,07	-14,53	-16,28	-13,63	-13,61

Tabla 4. Temperaturas Mínimas Medias Anuales (TMínMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA). Continuación.

Temperatura Mínima Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
41	-16,04	-14,93	-16,25	-16,49	-17,54	-17,30	-14,49	-15,06	-14,83	-14,53	-15,71	-14,97	-15,79	-13,59	-15,87	-16,07	-15,07	-15,60	-15,42	-16,55	-15,07	-16,72	-14,09	-14,13
42	-13,35	-11,92	-13,21	-13,62	-13,81	-14,09	-12,29	-12,23	-11,74	-11,78	-12,47	-13,52	-14,24	-11,83	-14,86	-14,13	-13,59	-14,27	-13,31	-14,11	-12,72	-14,80	-11,76	-12,32
43	-13,73	-11,98	-13,49	-13,50	-15,05	-13,42	-14,61	-13,61	-13,87	-13,60	-13,69	-11,85	-14,54	-12,04	-13,21	-14,60	-15,06	-10,47	-12,35	-12,63	-14,18	-12,16	-11,95	-12,19
44	-14,67	-12,59	-13,98	-13,64	-13,94	-14,48	-13,48	-13,77	-12,41	-13,12	-15,58	-12,77	-13,49	-12,48	-12,93	-13,48	-14,18	-13,23	-13,63	-13,34	-13,70	-12,37	-13,06	-12,80
45	-12,51	-10,21	-12,13	-12,22	-13,76	-12,56	-13,89	-12,50	-12,48	-11,88	-11,78	-10,05	-13,67	-10,35	-11,79	-13,63	-14,17	-9,30	-11,08	-11,20	-12,98	-10,73	-10,28	-10,43
46	-13,09	-12,12	-14,03	-12,97	-13,76	-13,17	-12,51	-13,04	-13,49	-12,10	-14,19	-13,07	-14,54	-13,39	-14,54	-14,78	-13,62	-13,53	-13,89	-14,65	-14,05	-14,27	-13,69	-13,94
47	-11,17	-8,43	-8,87	-11,49	-12,76	-11,40	-11,13	-10,56	-11,50	-10,78	-10,80	-9,19	-11,98	-9,70	-9,46	-12,47	-12,34	-8,30	-8,44	-11,04	-11,92	-9,85	-8,74	-9,39
48	-11,17	-8,43	-8,87	-11,49	-12,76	-11,40	-11,13	-10,56	-11,50	-10,78	-10,80	-9,19	-11,98	-9,70	-9,46	-12,47	-12,34	-8,30	-8,44	-11,04	-11,92	-9,85	-8,74	-9,39
49	-7,47	-5,37	-5,87	-8,19	-9,75	-8,82	-7,70	-7,74	-8,30	-7,86	-7,61	-7,07	-9,80	-6,61	-6,39	-9,05	-8,91	-5,88	-5,43	-8,14	-9,10	-6,98	-5,84	-6,44
50	-10,00	-7,53	-8,93	-10,01	-12,09	-10,59	-10,24	-10,12	-9,78	-9,32	-9,43	-7,55	-11,50	-8,21	-8,78	-11,35	-11,32	-7,18	-7,72	-9,60	-10,49	-8,44	-7,72	-8,21
51	-4,93	-4,99	-5,02	-5,33	-6,55	-5,38	-3,57	-4,97	-5,32	-4,06	-4,37	-3,32	-4,15	-3,44	-4,41	-5,05	-5,17	-3,41	-4,98	-4,03	-4,11	-3,41	-2,80	-4,43
52	-5,94	-4,09	-4,80	-7,22	-8,67	-7,45	-5,51	-6,43	-6,86	-5,25	-5,39	-4,82	-7,47	-3,91	-4,54	-6,99	-6,71	-4,37	-5,18	-5,68	-6,41	-5,04	-4,20	-4,79
53	-6,03	-4,08	-4,86	-7,24	-8,82	-7,60	-5,64	-6,53	-7,01	-5,46	-5,56	-4,90	-7,69	-3,99	-4,62	-7,17	-6,81	-4,45	-5,05	-5,97	-6,69	-5,27	-4,42	-4,98
54	-11,69	-8,52	-10,09	-10,87	-12,68	-11,56	-11,95	-11,11	-11,05	-10,19	-10,22	-8,48	-12,80	-9,46	-9,96	-12,60	-12,93	-8,40	-8,67	-10,60	-11,83	-9,57	-9,14	-9,53
55	-11,61	-8,48	-10,27	-10,82	-12,99	-11,83	-11,83	-11,13	-10,97	-10,40	-10,11	-8,24	-12,62	-9,32	-9,85	-12,44	-12,70	-8,41	-8,66	-10,31	-11,68	-9,50	-8,74	-9,37
56	-10,85	-8,87	-8,13	-8,95	-10,70	-11,90	-9,41	-10,22	-8,91	-8,45	-8,48	-9,20	-10,16	-8,46	-11,93	-11,18	-10,23	-10,26	-11,36	-10,48	-8,20	-10,10	-7,75	-8,35
57	-15,35	-14,01	-15,41	-15,37	-17,08	-16,24	-13,99	-14,21	-13,98	-13,74	-15,06	-14,22	-14,99	-12,89	-14,92	-15,53	-14,52	-14,96	-15,00	-15,78	-14,34	-15,92	-13,52	-13,26
58	-9,89	-7,42	-8,38	-11,22	-12,64	-11,20	-9,45	-10,26	-10,39	-9,10	-9,73	-7,66	-10,89	-7,56	-8,48	-11,21	-10,76	-7,75	-8,09	-9,58	-10,58	-8,77	-7,71	-8,29

Tabla 5. Temperaturas Medias Anuales (TMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA).

	Temperatura Media Anual del aire (°C)																							
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	0,00	-7,43	-9,45	-8,45	-6,92	-10,37	-8,87	-9,14	-7,59	-8,05	-8,42	-8,10	-8,62	-7,35	-8,85	-8,92	-8,30	-8,00	-9,53	-8,75	-7,36	-7,63	-6,67	-6,54
2	-10,54	-8,87	-9,32	-9,20	-7,80	-10,65	-10,21	-10,36	-8,41	-8,80	-9,16	-8,74	-9,38	-8,03	-9,46	-9,66	-8,93	-8,77	-9,57	-9,22	-8,55	-8,61	-7,18	-6,99
3	-10,85	-8,72	-9,66	-9,28	-7,88	-10,53	-10,09	-10,50	-8,41	-8,99	-9,20	-8,98	-9,51	-8,09	-9,53	-9,72	-8,78	-8,50	-10,13	-9,25	-8,46	-8,88	-7,09	-7,00
4	-9,38	-7,89	-9,10	-8,82	-6,89	-10,19	-9,19	-9,62	-7,66	-8,10	-8,86	-9,31	-9,43	-8,55	-9,36	-9,76	-9,06	-9,21	-9,78	-9,24	-8,27	-8,57	-7,20	-7,54
5	-6,72	-5,05	-5,86	-4,89	-5,34	-8,14	-4,76	-6,09	-3,83	-4,48	-3,71	-4,68	-5,92	-4,52	-6,87	-5,86	-5,60	-5,08	-7,25	-5,41	-3,46	-4,42	-2,63	-3,30
6	-9,38	-7,89	-9,10	-8,82	-6,89	-10,19	-9,19	-9,62	-7,66	-8,10	-8,86	-9,31	-9,43	-8,55	-9,36	-9,76	-9,06	-9,21	-9,78	-9,24	-8,27	-8,57	-7,20	-7,54
7	-7,29	-5,94	-8,07	-5,94	-5,38	-8,08	-6,46	-6,40	-5,19	-5,90	-6,28	-5,54	-6,66	-5,62	-7,46	-6,57	-6,12	-6,21	-7,33	-6,42	-5,25	-5,22	-4,45	-5,00
8	-9,38	-7,91	-9,14	-8,85	-6,88	-10,22	-9,24	-9,63	-7,67	-8,13	-8,92	-9,23	-9,33	-8,43	-9,27	-9,62	-8,97	-9,09	-9,64	-9,17	-8,12	-8,44	-7,09	-7,42
9	-9,57	-7,60	-9,13	-8,61	-6,75	-10,31	-8,94	-9,42	-7,53	-8,07	-8,62	-8,74	-8,93	-8,00	-8,97	-9,33	-8,72	-8,53	-9,68	-8,83	-7,74	-8,06	-6,79	-6,86
10	-10,50	-8,31	-10,40	-9,15	-7,95	-11,10	-9,66	-9,83	-8,36	-8,75	-8,97	-8,64	-9,36	-8,03	-9,89	-9,61	-8,84	-8,79	-10,52	-9,64	-8,08	-8,35	-7,47	-7,49
11	-10,39	-8,14	-10,14	-8,95	-7,75	-10,93	-9,45	-9,72	-8,14	-8,53	-8,79	-8,53	-9,16	-7,83	-9,70	-9,40	-8,73	-8,61	-10,38	-9,41	-7,88	-8,17	-7,22	-7,27
12	-11,12	-9,22	-11,45	-9,98	-8,93	-11,63	-10,54	-10,22	-9,27	-9,67	-9,68	-9,04	-10,16	-8,99	-10,81	-10,44	-9,33	-9,76	-11,34	-10,60	-9,03	-9,24	-8,51	-8,64
13	-11,13	-8,55	-10,28	-9,18	-8,48	-11,20	-9,53	-10,11	-8,32	-8,73	-8,79	-8,56	-9,41	-7,97	-10,01	-9,43	-8,85	-8,81	-10,70	-9,65	-8,24	-8,41	-7,10	-7,53
14	-5,00	-3,46	-4,41	-3,33	-3,61	-6,79	-2,95	-4,38	-2,23	-2,81	-2,48	-2,93	-4,42	-2,96	-5,36	-4,52	-4,28	-3,85	-5,72	-3,98	-2,10	-2,89	-1,12	-2,03
15	-7,23	-4,78	-5,74	-8,18	-9,62	-8,31	-6,63	-7,49	-7,73	-6,29	-6,95	-5,03	-8,08	-4,91	-5,85	-8,44	-8,19	-5,46	-5,58	-7,08	-7,89	-6,33	-4,95	-5,68
16	-6,92	-4,48	-5,56	-7,88	-9,38	-8,07	-6,24	-7,17	-7,44	-5,82	-6,61	-4,67	-7,84	-4,61	-5,54	-8,16	-7,91	-5,19	-5,31	-6,76	-7,63	-6,09	-4,72	-5,46
17	-8,06	-7,03	-8,59	-7,94	-5,40	-8,21	-9,09	-8,05	-7,62	-8,16	-9,41	-8,47	-8,32	-9,28	-8,78	-9,32	-7,86	-8,81	-7,09	-9,16	-7,57	-7,38	-6,98	-6,80
18	-7,84	-7,17	-8,43	-7,63	-5,37	-8,38	-8,86	-7,82	-7,24	-8,19	-9,49	-8,41	-8,03	-9,16	-8,91	-9,15	-7,90	-8,49	-7,18	-8,76	-7,49	-7,39	-7,13	-6,38
19	-7,78	-7,18	-8,43	-7,65	-5,44	-8,36	-8,86	-7,80	-7,30	-8,27	-9,62	-8,46	-8,08	-9,33	-9,07	-9,28	-7,98	-8,59	-7,23	-8,85	-7,67	-7,49	-7,30	-6,49
20	-8,12	-7,77	-8,88	-7,94	-5,76	-8,98	-9,24	-8,00	-7,42	-8,69	-10,34	-8,18	-7,72	-9,01	-9,07	-8,97	-7,73	-8,20	-7,23	-8,48	-7,47	-7,34	-7,09	-5,95

Tabla 5. Temperaturas Medias Anuales (TMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA). Continuación.

Temperatura Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
21	-7,43	-7,15	-8,36	-7,18	-5,30	-8,52	-8,42	-7,07	-6,39	-7,51	-9,38	-7,22	-6,96	-8,16	-8,35	-8,01	-6,95	-7,28	-6,86	-7,58	-6,78	-6,50	-6,14	-5,07
22	-6,24	-5,49	-6,87	-5,98	-4,46	-6,24	-6,20	-5,14	-5,61	-5,64	-8,04	-5,33	-5,24	-7,14	-7,16	-6,78	-5,35	-6,17	-5,96	-6,40	-6,04	-5,08	-4,93	-4,09
23	-3,88	-3,47	-5,20	-3,80	-2,79	-3,28	-3,66	-3,06	-4,17	-3,94	-4,97	-2,80	-3,36	-4,76	-4,73	-4,98	-3,61	-4,20	-3,78	-4,19	-4,42	-3,13	-2,46	-2,20
24	-8,63	-8,88	-7,42	-8,56	-8,72	-6,68	-6,76	-7,45	-7,24	-8,48	-7,01	-6,89	-6,48	-6,48	-7,47	-6,79	-7,59	-6,97	-5,52	-7,19	-5,99	-6,12	-3,94	-5,86
25	-10,34	-9,92	-9,35	-9,93	-9,44	-9,58	-9,71	-9,71	-8,75	-9,07	-9,03	-9,47	-10,42	-11,31	-10,74	-11,47	-11,06	-11,33	-10,98	-11,75	-10,63	-11,21	-8,92	-10,62
26	-7,43	-5,67	-4,59	-5,80	-7,46	-8,83	-6,16	-7,00	-5,67	-5,20	-5,37	-6,11	-6,82	-5,02	-8,24	-7,79	-6,94	-6,85	-8,07	-7,24	-4,93	-6,89	-4,16	-4,88
27	-7,30	-5,47	-4,43	-5,55	-7,24	-8,61	-6,04	-6,77	-5,46	-5,04	-5,19	-5,73	-6,56	-4,88	-8,05	-7,58	-6,69	-6,53	-7,89	-7,00	-4,75	-6,66	-4,00	-4,72
28	-10,42	-8,38	-7,87	-9,64	-10,52	-11,63	-9,36	-9,71	-8,20	-7,84	-8,67	-9,60	-9,46	-7,44	-9,94	-9,97	-9,28	-9,82	-10,53	-10,23	-7,95	-9,47	-6,37	-7,21
29	-10,21	-8,15	-7,66	-9,44	-10,22	-11,44	-9,13	-9,52	-7,98	-7,62	-8,37	-9,34	-9,21	-7,20	-9,78	-9,72	-9,02	-9,55	-10,30	-10,01	-7,68	-9,22	-6,07	-6,93
30	-12,21	-11,15	-12,59	-12,99	-13,94	-13,94	-11,00	-11,71	-11,58	-11,25	-12,57	-11,26	-12,17	-10,09	-12,12	-12,56	-11,48	-12,04	-11,97	-13,45	-11,72	-13,57	-10,85	-10,74
31	-12,87	-11,92	-13,72	-13,84	-14,73	-14,08	-11,90	-12,94	-13,09	-12,30	-13,89	-12,02	-12,74	-11,31	-12,81	-13,41	-12,07	-12,58	-12,74	-13,94	-12,47	-13,73	-11,68	-11,50
32	-11,52	-10,09	-11,23	-11,68	-12,30	-12,60	-10,26	-10,34	-9,96	-9,72	-10,93	-11,16	-11,83	-9,39	-11,96	-11,92	-11,06	-11,99	-11,17	-12,17	-10,59	-12,72	-9,70	-9,80
33	-12,21	-11,09	-12,52	-12,92	-13,88	-13,92	-11,00	-11,66	-11,45	-11,16	-12,47	-11,25	-12,14	-10,02	-12,07	-12,53	-11,43	-12,03	-11,91	-13,35	-11,67	-13,54	-10,78	-10,68
34	-11,11	-9,38	-10,60	-11,09	-12,92	-12,41	-10,65	-10,20	-9,95	-9,29	-11,14	-10,53	-11,12	-8,72	-10,63	-11,75	-10,33	-11,13	-11,05	-11,59	-10,15	-11,92	-9,18	-8,95
35	-11,11	-9,38	-10,60	-11,09	-12,92	-12,41	-10,65	-10,20	-9,95	-9,29	-11,14	-10,53	-11,12	-8,72	-10,63	-11,75	-10,33	-11,13	-11,05	-11,59	-10,15	-11,92	-9,18	-8,95
36	-11,03	-9,39	-10,68	-11,07	-12,88	-12,29	-10,44	-10,07	-9,88	-9,30	-11,15	-10,45	-11,03	-8,69	-10,60	-11,65	-10,29	-11,06	-10,99	-11,64	-10,11	-11,92	-9,21	-8,94
37	-11,29	-9,45	-10,60	-11,20	-13,02	-12,62	-10,94	-10,42	-10,10	-9,34	-11,18	-10,68	-11,27	-8,81	-10,73	-11,92	-10,44	-11,28	-11,18	-11,60	-10,25	-11,97	-9,20	-9,01
38	-11,03	-9,39	-10,68	-11,07	-12,88	-12,29	-10,44	-10,07	-9,88	-9,30	-11,15	-10,45	-11,03	-8,69	-10,60	-11,65	-10,29	-11,06	-10,99	-11,64	-10,11	-11,92	-9,21	-8,94
39	-11,96	-10,57	-11,81	-12,14	-13,28	-13,23	-10,65	-10,83	-10,55	-10,29	-11,70	-11,15	-11,75	-9,46	-11,65	-12,12	-11,04	-11,86	-11,45	-12,46	-10,84	-12,84	-9,99	-9,85
40	-12,01	-10,64	-11,92	-12,25	-13,38	-13,36	-10,74	-10,96	-10,66	-10,41	-11,81	-11,21	-11,83	-9,56	-11,71	-12,20	-11,12	-11,91	-11,52	-12,58	-11,00	-12,97	-10,14	-10,01

Tabla 5. Temperaturas Medias Anuales (TMA) del aire para cada estación CALM en el periodo 1994-2017 (fuente de datos: NASA). Continuación.

Temperatura Media Anual del aire (°C)																								
N.º	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
41	-12,15	-10,86	-12,24	-12,59	-13,65	-13,73	-10,96	-11,34	-11,02	-10,77	-12,14	-11,32	-12,03	-9,82	-11,88	-12,39	-11,29	-12,02	-11,69	-12,95	-11,40	-13,31	-10,51	-10,39
42	-11,01	-9,54	-10,69	-11,25	-11,51	-12,03	-10,17	-10,01	-9,45	-9,17	-10,28	-11,05	-11,67	-9,17	-12,06	-11,52	-10,92	-11,79	-10,68	-11,54	-10,20	-12,36	-9,19	-9,56
43	-10,46	-8,67	-10,15	-10,24	-11,53	-10,10	-11,47	-10,18	-10,53	-10,13	-10,40	-8,61	-11,10	-8,85	-9,84	-11,23	-11,80	-7,57	-9,08	-9,12	-11,04	-8,85	-8,45	-8,94
44	-10,44	-7,92	-9,51	-9,04	-9,21	-10,10	-9,33	-9,18	-7,74	-8,48	-11,18	-8,60	-9,42	-8,17	-8,23	-8,98	-9,69	-8,63	-9,01	-9,03	-9,37	-8,08	-8,84	-8,37
45	-8,92	-6,50	-8,55	-8,47	-9,88	-8,94	-10,27	-8,59	-8,66	-7,98	-8,17	-6,44	-9,78	-6,84	-7,96	-9,87	-10,62	-5,98	-7,57	-7,47	-9,48	-7,07	-6,57	-7,00
46	-11,04	-10,09	-11,96	-10,90	-11,78	-11,06	-10,58	-10,73	-11,11	-10,12	-12,27	-10,96	-12,41	-10,97	-12,15	-12,53	-11,25	-11,26	-11,67	-12,39	-11,72	-12,11	-11,53	-11,66
47	-7,91	-5,21	-5,69	-8,21	-9,52	-8,31	-7,90	-7,23	-8,30	-7,34	-7,63	-5,97	-8,73	-6,30	-5,95	-9,06	-9,22	-5,36	-5,32	-7,88	-8,58	-6,72	-5,46	-6,31
48	-7,91	-5,21	-5,69	-8,21	-9,52	-8,31	-7,90	-7,23	-8,30	-7,34	-7,63	-5,97	-8,73	-6,30	-5,95	-9,06	-9,22	-5,36	-5,32	-7,88	-8,58	-6,72	-5,46	-6,31
49	-5,60	-3,50	-4,00	-6,34	-7,82	-6,97	-5,81	-5,77	-6,39	-5,77	-5,82	-5,11	-7,63	-4,57	-4,23	-6,89	-6,93	-4,05	-3,52	-6,27	-6,90	-4,93	-3,79	-4,50
50	-6,32	-3,63	-5,33	-6,35	-8,10	-6,96	-6,23	-6,27	-6,09	-5,28	-5,87	-3,83	-7,58	-4,48	-4,93	-7,44	-7,63	-3,80	-4,08	-5,91	-6,79	-4,95	-4,07	-4,89
51	-1,81	-1,86	-1,88	-2,09	-3,47	-2,20	-0,51	-1,80	-2,20	-0,80	-1,28	-0,25	-1,12	-0,53	-1,55	-1,93	-2,25	-0,47	-2,06	-0,65	-1,01	-0,59	0,12	-1,50
52	-3,20	-1,44	-2,28	-4,45	-6,05	-4,89	-2,81	-3,74	-4,21	-2,36	-2,72	-2,19	-4,57	-1,38	-1,96	-4,15	-3,88	-1,84	-2,58	-2,78	-3,72	-2,54	-1,41	-2,15
53	-3,40	-1,57	-2,45	-4,58	-6,25	-5,11	-3,04	-3,97	-4,50	-2,64	-3,00	-2,40	-4,89	-1,55	-2,13	-4,40	-4,12	-2,01	-2,62	-3,16	-4,06	-2,84	-1,73	-2,41
54	-8,22	-4,93	-6,50	-7,31	-9,06	-8,03	-8,38	-7,22	-7,42	-6,46	-6,72	-4,79	-8,87	-5,83	-6,13	-8,73	-9,38	-5,01	-5,25	-6,99	-8,20	-6,10	-5,39	-6,22
55	-7,91	-4,72	-6,54	-7,20	-9,14	-8,08	-8,08	-7,22	-7,06	-6,41	-6,54	-4,47	-8,60	-5,61	-5,96	-8,49	-9,06	-4,82	-5,07	-6,67	-7,92	-5,84	-5,00	-5,87
56	-7,43	-5,67	-4,59	-5,80	-7,46	-8,83	-6,16	-7,00	-5,67	-5,20	-5,37	-6,11	-6,82	-5,02	-8,24	-7,79	-6,94	-6,85	-8,07	-7,24	-4,93	-6,89	-4,16	-4,88
57	-11,55	-10,16	-11,59	-11,77	-13,38	-12,93	-10,58	-10,70	-10,41	-10,04	-11,73	-10,91	-11,43	-9,30	-11,11	-12,01	-10,83	-11,52	-11,37	-12,26	-10,82	-12,61	-9,95	-9,61
58	-6,35	-3,95	-5,08	-7,47	-9,01	-7,70	-5,73	-6,78	-7,03	-5,31	-6,08	-4,20	-7,48	-4,13	-4,97	-7,65	-7,33	-4,67	-4,91	-6,24	-7,12	-5,63	-4,25	-4,93

### Anexo III. Variaciones interanuales de capa activa

Tabla 1. Variación interanual de espesor de capa activa, variación interanual media (VIM) y desviación media estándar (DME) para cada estación en el periodo 1994-2017.

N.º	Variaciones interanuales (cm)																					VIM (cm)	DME (cm)	
	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016			2016-2017
1	-0,78	-4,58	-0,24	3,87	3,94	-1,69	2,55	-0,70	-4,73	3,87	-6,01	7,28	-4,31	-4,60	4,60	-3,05	3,72	-3,96	2,70	-0,91	-0,71	1,65	0,1	3,8
2	-1,49	-0,87	-4,19	3,97	3,06	3,61	-0,27	2,03	-13,84	9,18	0,88	0,52	-2,40	-0,06	-6,86	-0,25	3,73	-2,81	6,32	-5,59	-0,32	1,24	0,2	4,8
3	-2,76	2,76	-6,12	1,67	5,63	3,37	-1,76	4,25	-21,35	12,28	-0,31	1,15	-3,78	-4,33	4,63	-0,94	0,36	-8,43	6,26	-2,65	-1,32	2,65	0,4	6,6
4	-0,29	0,12	-4,88	5,89	6,55	0,58	-3,61	0,25	-6,62	7,51	-7,06	9,97	-5,07	2,96	-0,22	-5,01	-2,59	7,45		-5,12	-3,13		0,1	5,2
5					32,07	-23,24	3,89	-9,53						0,10	-2,75	-3,73	11,62	-1,89	-0,27	1,03			-0,7	13,5
6	-3,55	3,12	-5,88	7,02	4,44	0,61	-2,52	-0,14	-5,85	9,60	-8,89	9,21	-3,04	3,33	-2,41	-4,86	-0,36	-2,82	6,81	-6,28	-0,95	-1,02	0,2	5,2
7		-10,26		4,40	4,58	-4,28			-4,37	2,50	-0,97	-1,50	5,27	0,34	-8,12	3,30	0,40	5,87	-7,19	4,40	-3,91	0,02	0,5	4,9
8		-1,34	-4,82	-0,38	9,72	-1,23	1,35	-0,18	-6,29	11,81	-11,25	8,48	-0,10		-6,40	2,17	-6,35	-3,14	2,03	-2,75	1,07	-0,59	0,4	5,6
9		-2,77	-5,75	5,89	10,67	-2,94	3,45	-0,07	-9,32	11,36	-3,99	-0,31	0,54	-3,82	-5,53	1,24	-4,38	-1,33	1,06	1,80	0,14	-1,56	0,3	5,1
10	2,97	-4,55	-6,30	9,15	2,04	-2,09	9,58	-14,68	2,37	-6,61	6,69	-2,37	-3,90	-1,21	-5,02	3,39	4,15	0,01	5,18	-8,48	0,00	-1,09	0,5	5,9
11	-0,47	4,19	-11,75	6,32	3,41	-1,00	7,43	-2,29	6,67	-17,18	2,33	-2,75	1,69	-4,98	-6,21	5,94	5,32	-1,05	0,92	-1,57	-2,06	-2,20	0,4	6,0
12		-8,67	-0,47	4,39	12,67		3,79	-7,67	2,38		-3,89	-5,50	0,30	-5,26	-0,61	9,10	-5,64	-0,85	1,41	-1,55	0,10	2,13	0,2	5,4
13						5,25	7,92	-8,25			-2,76	-1,85	5,32	-5,03	-2,02	4,46	2,70	-3,76	1,63				-0,3	5,0
14					39,80	-34,16	14,53	-21,47						11,46	-2,22	-5,77	13,76	2,76	-5,59	-7,58			-0,5	19,7
15		5,88	-1,82	-0,73	-5,23	-4,03	-2,46	-1,50	-1,03	-2,49	-3,56	-4,48	1,51	1,57	-3,32	0,78	-2,36	-2,44	2,62	1,29			1,1	2,8
16				-1,94	-19,45	-0,49	1,17	-3,48	-11,14	-5,98	-6,79	-0,88	-13,43	7,86	5,76	-5,53	-16,91	4,91	29,83	-24,42	-18,87	14,66	3,4	13,0
17				0,07	9,84	-0,29	-0,86	-1,65	-4,44	9,74	-8,12		-1,81										-0,3	6,0
18				-6,12	0,82	9,05	0,66	4,00	-2,93	23,15	-25,25	6,81	-3,00										-0,7	12,3



Tabla 1. Variación interanual de espesor de capa activa, variación interanual media (VIM) y desviación media estándar (DME) para cada estación en el periodo 1994-2017. Continuación.

N.º	Variaciones interanuales (cm)																					VIM (cm)	DME (cm)	
	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016			2016-2017
19				2,14	9,62	-0,88	-0,63	0,81	-2,10	5,90	-11,81	5,93	-3,83										-0,5	6,0
20						-5,59	9,06	6,88	-3,01		-17,29	12,60	-3,31										0,1	10,3
21				4,46	-2,32	3,16	1,83	2,90	1,30		-11,73	3,06	-1,14										-0,2	5,0
22				1,45	3,57	-0,12	-1,96	6,09	1,67	-6,29	-2,64	1,51	-3,04										0,0	3,6
23					-9,41	0,86	1,89	6,05	-14,61	-12,29	5,50	-1,25	-6,21										3,3	7,6
24																	-0,39	-0,89	-1,17	-1,97			1,1	0,7
25		-2,01	-4,02	5,26	-2,68	0,30	-7,26	-2,02	-3,74	-3,07	3,40	1,14	-4,55	-0,03	-2,64	0,00	-0,36	7,70	0,40	0,28	-10,52		1,2	4,1
26	-6,09	-1,13	11,90	-0,79	-3,33	-2,15	-2,39	-3,65	-6,96	0,54	3,55	-5,36	6,42	0,21	-0,17	0,46	-1,87	1,14	-6,69	3,52	-4,30	4,30	0,6	4,6
27		3,09	1,95	-7,69	6,52	-0,51	-5,20	-2,39	-10,02	2,47	-4,75		5,69	1,24	7,39	-4,88	3,02	-2,55	-3,16	1,79	-6,02	4,44	0,5	5,0
28						-1,35	-1,48	-2,73	-0,94	-1,82	7,57	-14,91	13,85	-3,49	-9,55	8,78	-2,54	-1,80	-0,69	-1,90	4,95	-4,31	0,7	6,7
29																0,38	-0,13	-4,48	-4,94	1,01	-0,53	0,82	1,1	2,5
30											0,98	-6,29	0,20	1,86	9,72	-4,40	1,32	-10,13	6,24	0,14	-4,24	-0,68	0,4	5,4
31										-3,91	-1,60	-4,51	1,28	-1,53	-3,85	0,68	2,07	2,75	0,32	0,33	-2,99	8,80	0,2	3,6
32					-13,83	-0,95	-9,43	-7,46			9,54	-19,70	21,99	0,69	-22,73	4,24	19,39	0,68	1,73		-3,66	-0,44	1,3	12,5
33				-0,42	-4,24			-0,92		-1,47	-4,67		4,05	2,40	-5,94	6,85	-1,58	3,07	3,97	-11,60	3,01	-0,86	0,6	4,7
34		15,01		-13,15	-1,06	-20,50	13,03	-4,35	-6,95	-10,37	12,01	-16,47	17,21	4,50	-14,55	18,01		-4,13	-11,78	12,28	-15,12	25,91	0,0	14,2
35		6,32		-4,34	6,50	-3,97	2,96	-5,85	-3,63	2,71	-0,54	-3,37	2,71	5,06	-3,11	-6,45	5,55	-7,33	-3,69	5,74	5,53	-10,84	0,5	5,4
36		7,13		-2,76	-4,19	-0,57	-5,68	-6,20	-7,65	-3,30	2,69	0,86		0,24	-11,20	9,45	10,26	-5,60	-6,55	-5,99	-10,66	32,49	0,4	10,1
37				-2,60	-0,59	-0,42	-0,72	-5,17	-3,59	0,32	2,06	-2,93	5,18	2,43	-5,92	-0,20	6,99	2,88	-5,36	-3,06	-2,79	-1,34	0,8	3,5

Tabla 1. Variación interanual de espesor de capa activa, variación interanual media (VIM) y desviación media estándar (DME) para cada estación en el periodo 1994-2017. Continuación.

N.º	Variaciones interanuales (cm)																					VIM (cm)	DME (cm)	
	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016			2016-2017
38		1,70		-2,64		-1,84	-0,59	-3,11	-3,88	1,07	0,63	-7,37	11,08	1,80	-8,30	-5,79	8,75	-2,27	-8,64	8,50	-1,27	1,42	0,6	5,5
39		10,05			-11,24			-14,69			11,91	-33,26	26,39	4,90	-12,23	-15,69	18,00	3,88	-6,59	-2,98	2,94	0,37	1,2	15,1
40					-0,18		-7,50					-10,46	10,08	5,71	-6,38	-9,20	0,00	8,31	2,73	-1,41	3,40	2,35	0,2	6,6
41		1,63		3,19	-3,46	-5,64					2,93	4,70		-7,13	-3,21	2,67	0,82	3,43	-5,71		7,16	-8,35	0,5	4,9
42					-7,26	0,30	-9,69	18,57	-16,14		-10,59	19,01	12,01	-26,34	6,15	1,98	-3,96	12,21	-0,97		-9,43	2,83	0,7	12,5
43														0,12	0,10	-1,99	-8,06	17,66	-8,56	-7,20	17,48	-21,30	1,3	12,5
44														1,39	-0,39	0,28	-1,56	-4,83	3,36	0,36	4,64	-0,42	-0,3	2,7
45														2,64	4,82	-3,66	0,04	-1,51	-0,71	-6,91	-9,86	-4,12	2,1	4,6
46										-7,00	1,31	-12,60	7,45	11,45	-2,55	-1,83		5,71	-9,36	2,95	4,48	-7,00	0,6	7,4
47													-3,05	28,00	-20,31	0,65	-10,98	-2,25	8,31	-4,18			0,5	14,2
48													-1,50	31,38	-24,11	-7,84	-14,07	1,56	14,31	-16,78			2,1	18,0
49	19,77	16,88	-20,89	23,14	-14,20	-5,14	-3,60	5,77	-5,17	-1,84	-0,12	1,58	0,39	28,66	-13,24	-3,77	-25,18	12,28	13,03	-19,64	-14,22		0,3	15,0
50			-15,85	13,92	-2,62	-7,68	-9,75	17,22	-7,43	-7,88	12,63	0,00	-7,32	34,72	-12,46	-15,06	-4,71	-2,58	-28,01	0,85	-22,62	37,77	1,3	17,1
51																-0,46	0,00	-5,38	5,84	-1,83	-1,26		0,5	3,6
52																-6,88	-23,40	0,99	21,80	-14,81	-28,78	32,26	2,7	22,8
53					-36,98	0,20	2,34	-9,87	-5,81	4,69	0,11	-10,03	-0,05	12,09	9,11	-3,88	-9,16		14,31	-8,64	0,11	21,97	1,1	13,0
54														18,22	-14,95	-1,46	-13,45	3,42	7,94	-8,65	-0,76	-3,04	1,4	10,5
55														19,33	-11,76	5,06	-15,05	16,82	-15,27	0,00	11,29	22,36	-3,6	14,9
56																-1,51	-0,38	-2,90	-1,76	4,65			0,4	3,0

Tabla 1. Variación interanual de espesor de capa activa, variación interanual media (VIM) y desviación media estándar (DME) para cada estación en el periodo 1994-2017. Continuación.

N.º	Variaciones interanuales (cm)																				VIM (cm)	DME (cm)		
	1995- 1996	1996- 1997	1997- 1998	1998- 1999	1999- 2000	2000- 2001	2001- 2002	2002- 2003	2003- 2004	2004- 2005	2005- 2006	2006- 2007	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015			2015- 2016	2016- 2017
57													7,64	1,45	-19,52	7,34	0,88	3,55	-0,30	-5,28	13,21	-10,74	0,2	9,6
58																		-3,59	-1,33	-2,73	3,16	7,66	-0,6	4,7
<b>Promedio VIM</b>																						<b>0,5</b>		



## Anexo IV. Velocidad de cambio de la capa activa

Tabla 1. Velocidades de cambio del espesor de capa activa en el periodo 1994-2014.

N.º	Estación	Máximo Espesor Medio Anual de Capa Activa (cm)		Velocidad de cambio (periodo 1994-2017) (cm/año)
		MIN	MAX	
1	Happy Valley 1km	39,56	48,75	0,40
2	Barrow	28,61	42,45	0,60
3	Atqasuk	37,38	58,73	0,93
4	Betty Pingo	46,27	59,73	0,61
5	Kougarok	32,55	67,81	2,07
6	West Dock 1km	43,94	57,70	0,60
7	Old Man	33,39	45,80	0,56
8	Deadhorse	55,50	72,81	0,79
9	Franklin Bluff	52,82	71,85	0,87
10	Imnavait 1km	38,15	62,89	1,08
11	Toolik 1km	33,89	60,99	1,18
12	Galbraith Lake	39,02	59,87	0,95
13	Ivotuk	42,78	57,38	0,97
14	Council	33,40	74,50	2,42
15	Ayach-Yakha	61,56	93,14	1,58
16	Talnik	89,38	169,14	3,99
17	North Head (Grid)	40,06	52,48	1,13
18	Taglu (Grid)	75,36	110,12	3,16
19	Lousy Point (Grid)	49,19	64,04	1,35
20	Reindeer Depot (Grid)	100,89	121,19	2,26
21	Rengleng River (Grid)	70,99	82,72	1,07
22	Norman Wells (Grid)	39,35	50,05	0,97
23	Fort Simpson (Grid)	75,65	105,12	2,95
24	UNISCALM	100,85	105,26	0,88
25	Zackenberg ZEROCALM 1	60,10	84,52	1,16
26	Cape Rogozny	37,79	59,60	0,91
27	Mountain Dionisiya	45,26	66,83	0,98
28	Lavrentiya	58,66	74,32	0,87
29	Lorino	46,79	56,34	1,19
30	Andryushkino	31,04	44,25	1,02
31	Allaiha	38,36	52,49	1,01
32	Yakutskoe Lake	22,95	64,82	2,20
33	Alazeya River	44,55	57,38	0,64
34	Lake Akhmelo	69,66	117,48	2,17
35	Malchikovskaya Channel	45,58	64,54	0,86
36	Lake Glukhoe	64,90	111,75	2,13
37	Mt, Rodinka GRID	71,88	86,67	0,74
38	Akhmelo Channel	42,62	63,73	0,96
39	Segodnya Pingo	27,91	75,19	2,15
40	Konkovaya River R15b	36,04	54,19	0,96
41	Chukochya River	37,51	49,32	0,54
42	Cape Chukochii R13a	25,29	56,31	1,63
43	Talnakh	84,32	105,62	2,13
44	Neleger	120,58	128,94	0,84
45	Igarka	66,67	93,39	2,67

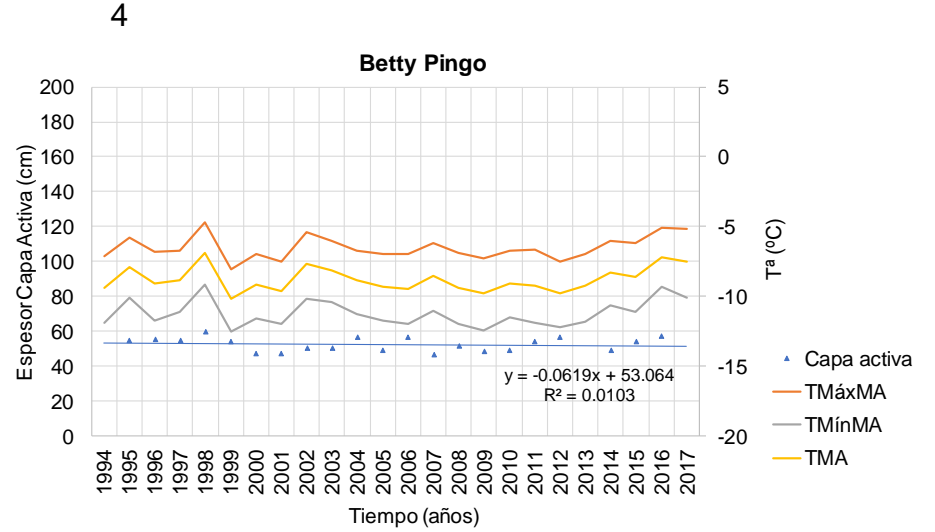
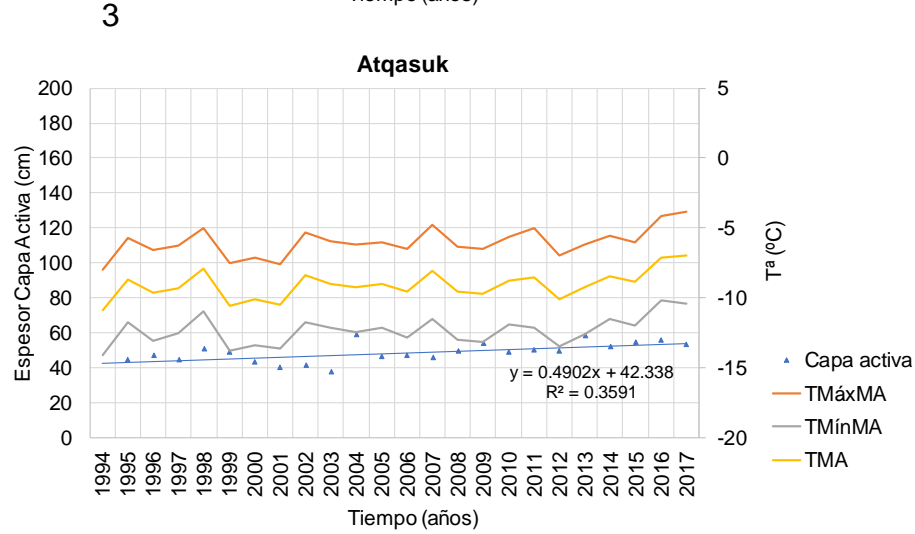
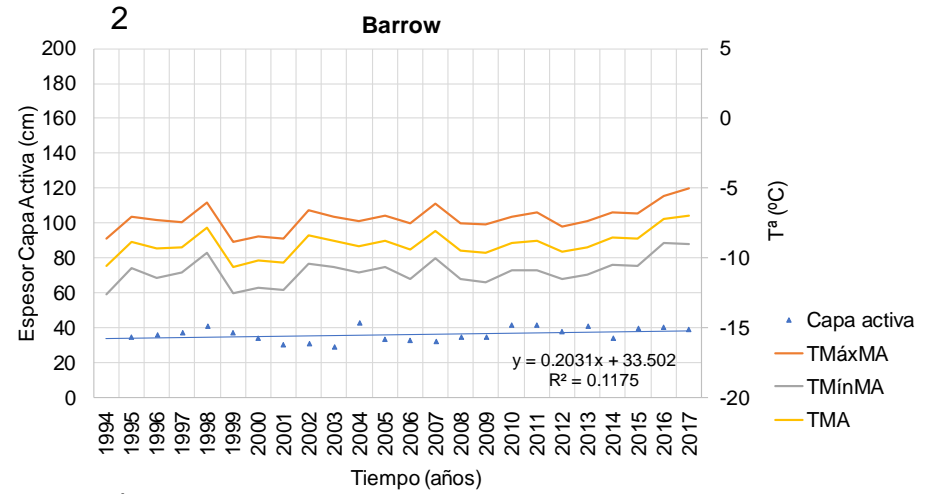
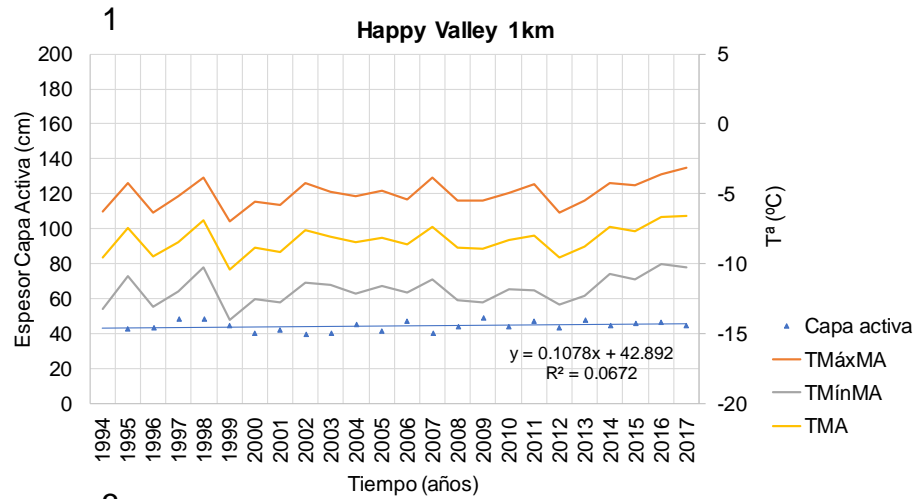
Tabla 1. Velocidades de cambio del espesor de capa activa en el periodo 1994-2014 (Continuación).

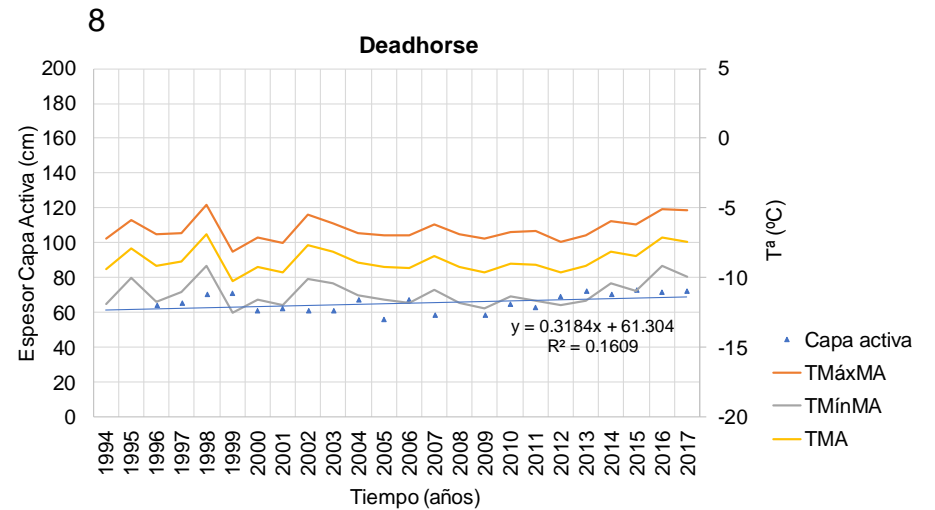
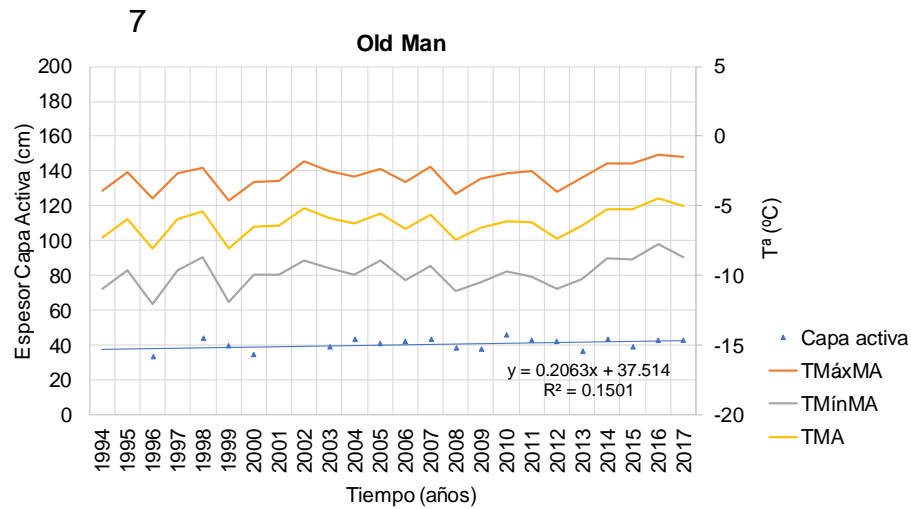
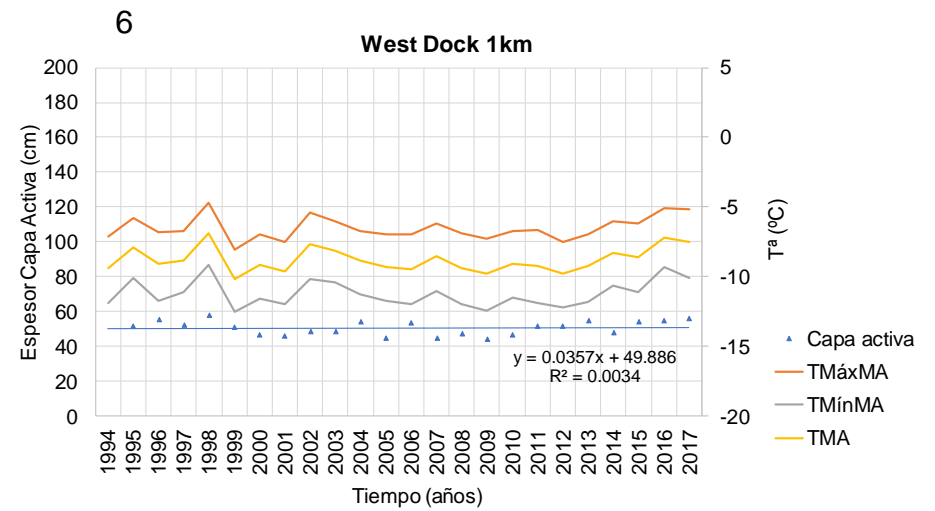
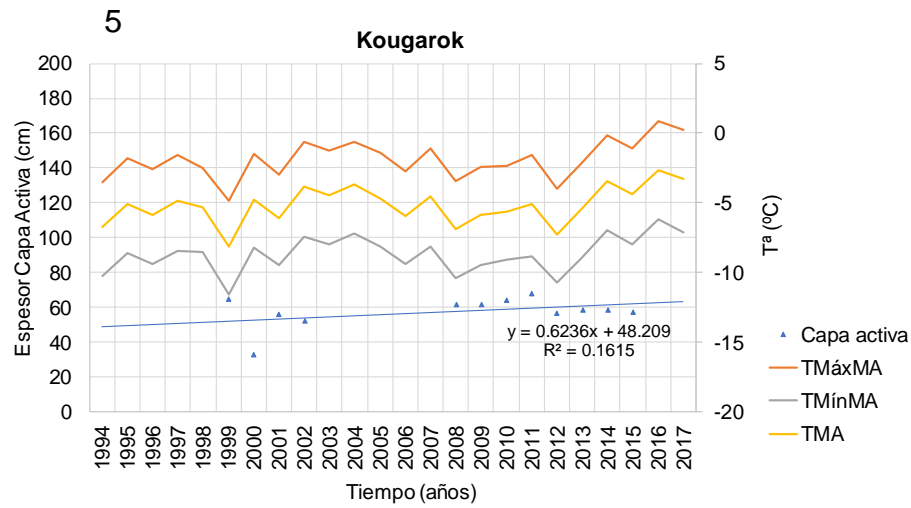
N.º	Estación	Máximo Espesor Medio Anual de Capa Activa (cm)		Velocidad de cambio (periodo 1994-2017) (cm/año)
		MIN	MAX	
46	Bykovsky Cape Alas	23,90	44,13	1,45
47	Vaskiny Dachi 1	46,85	79,75	3,65
48	Vaskiny Dachi 3	81,84	128,76	5,21
49	Marre Sale	85,29	136,03	2,31
50	Nadym Grid	101,45	186,03	4,03
51	Umbozero	159,64	165,47	0,83
52	Kashin Island	57,60	108,67	6,38
53	Bolvansky	69,19	124,59	2,92
54	Urengoy GAS FIELD GP15	65,42	96,37	3,09
55	Urengoy GAS FIELD GP5	51,44	86,63	3,52
56	Kruglaya	42,42	48,98	1,09
57	Omolon	32,35	51,87	1,77
58	Seida	44,81	55,63	1,80
			<b>MEDIA</b>	<b>1,71</b>

Tabla 2. Cálculo del promedio de la velocidad de cambio para las 12 estaciones de referencia en el periodo de 1994-2017.

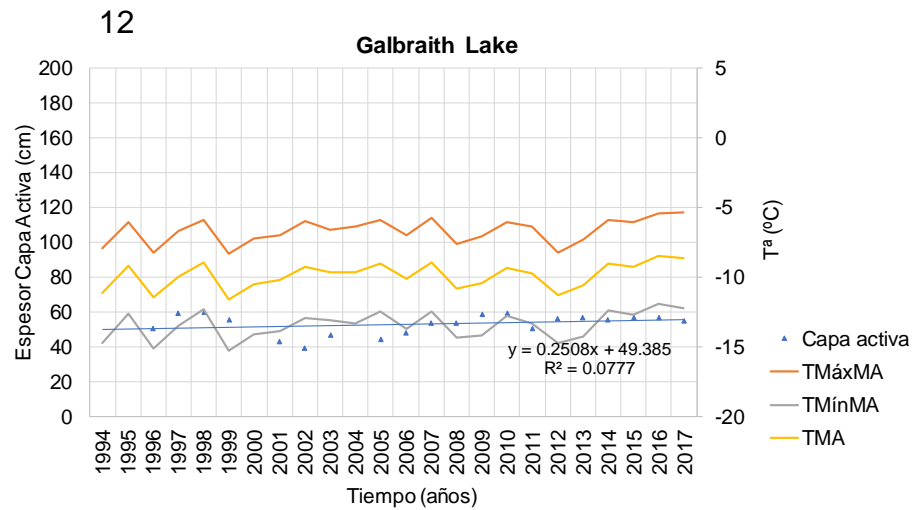
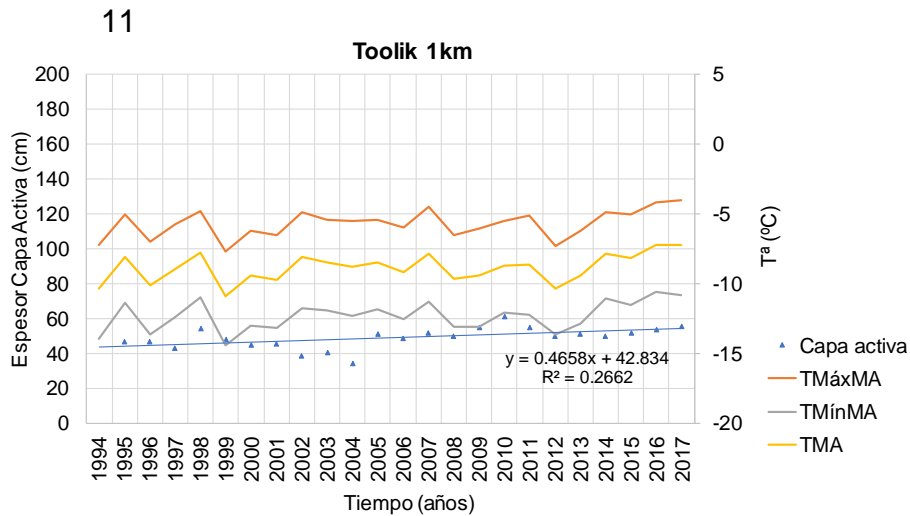
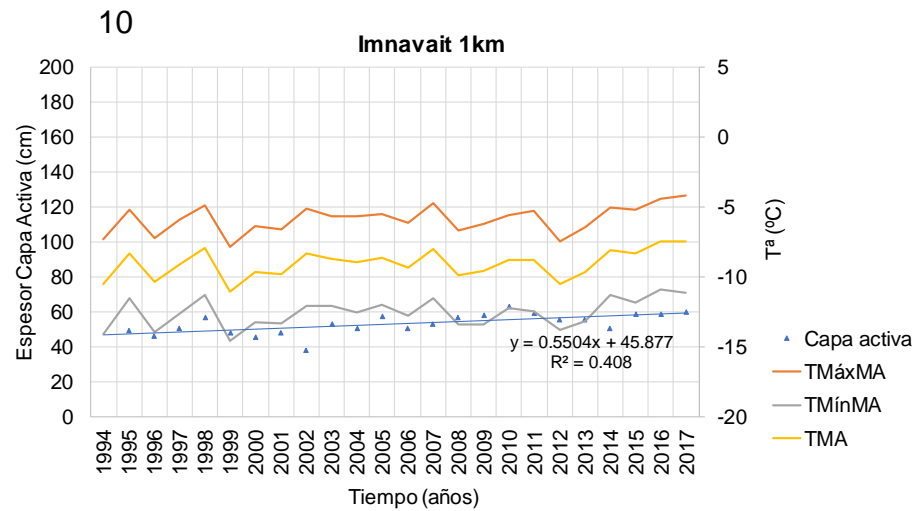
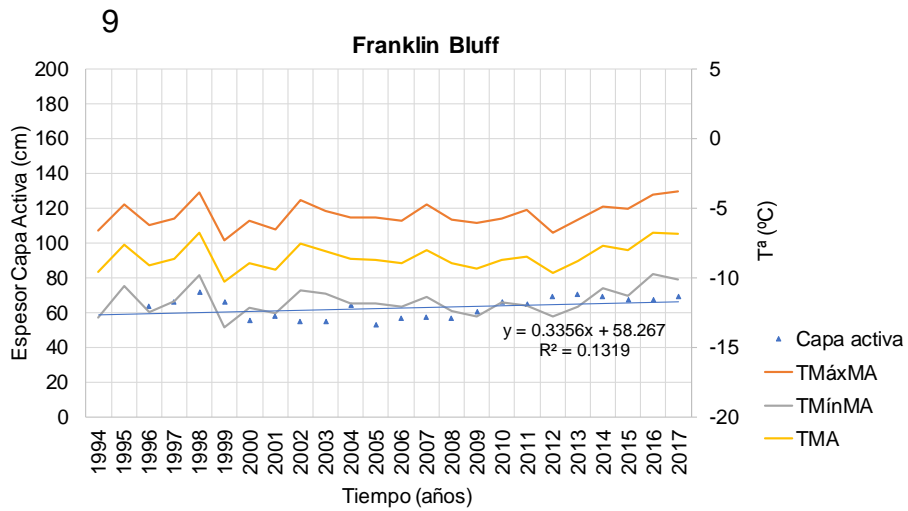
N.º	Estación	Máximo Espesor Medio Anual de Capa Activa (cm)		Velocidad de cambio (periodo 1994-2017) (cm/año)
		MIN	MAX	
1	Happy Valley 1km	39,56	48,75	0,40
2	Barrow	28,61	42,45	0,60
3	Atqasuk	37,38	58,73	0,93
6	West Dock 1km	46,27	59,73	0,59
8	Deadhorse	32,55	67,81	1,60
9	Franklin Bluff	43,94	57,70	0,63
10	Imnavait 1km	33,39	45,80	0,54
11	Toolik 1km	55,50	72,81	0,75
12	Galbraith Lake	52,82	71,85	0,87
26	Cape Rogozny	38,15	62,89	1,03
27	Mountain Dionisiya	33,89	60,99	1,23
50	Nadym Grid	39,02	59,87	0,99
			<b>MEDIA</b>	<b>0,85</b>

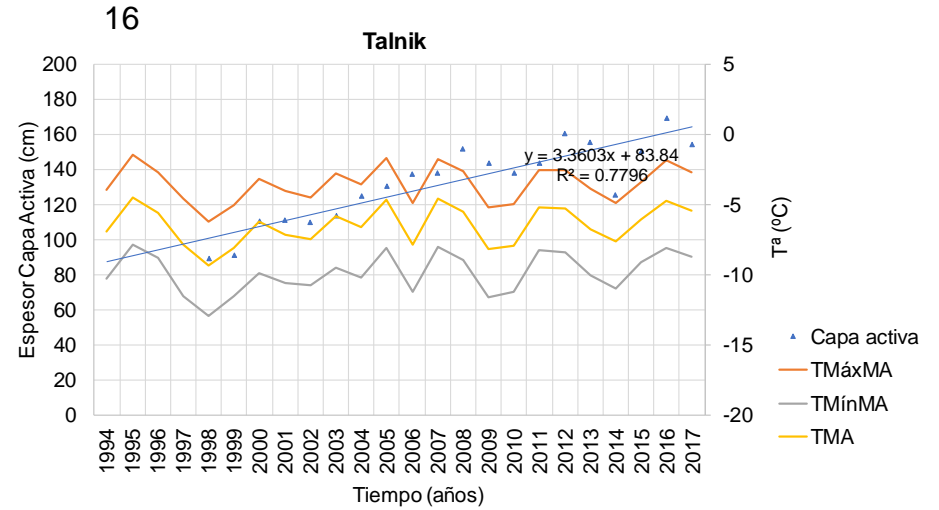
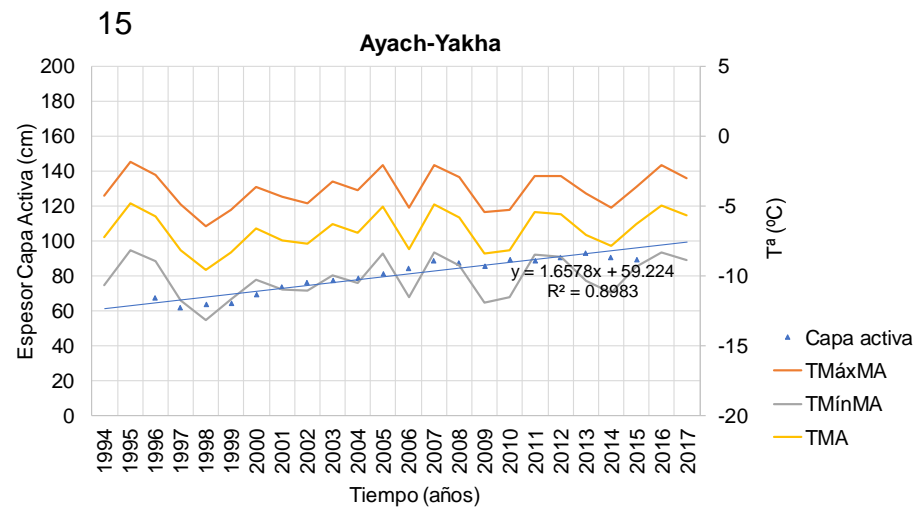
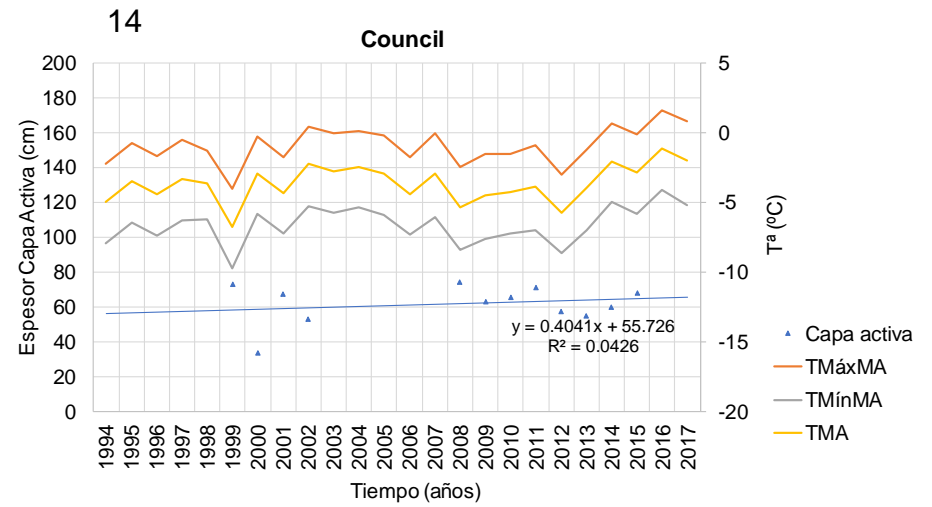
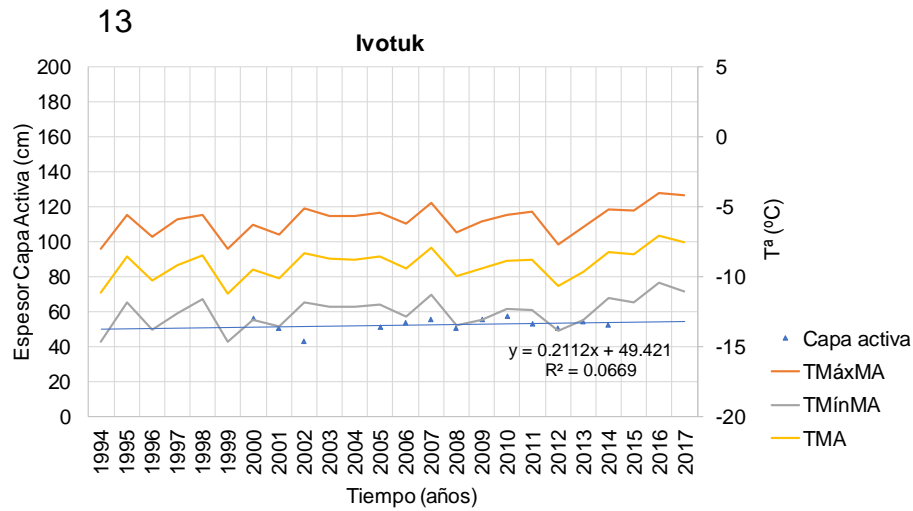
## Anexo V. Gráficas de capa activa y temperaturas por estaciones



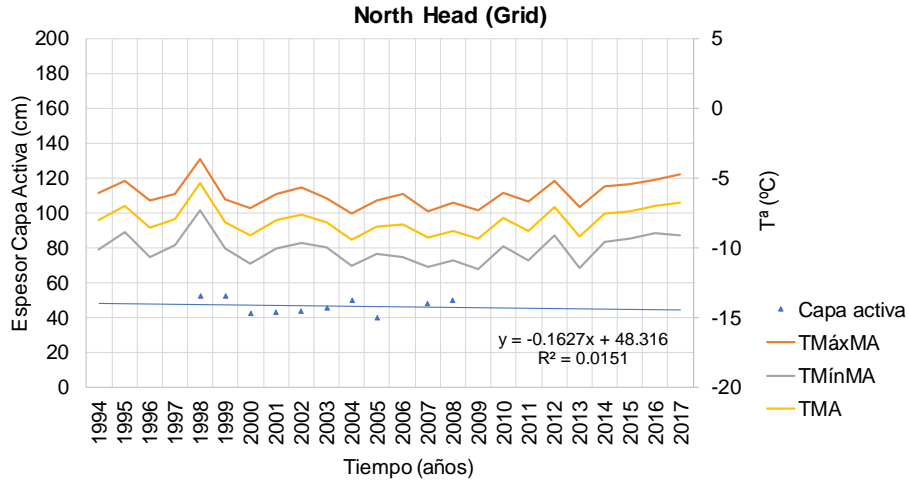




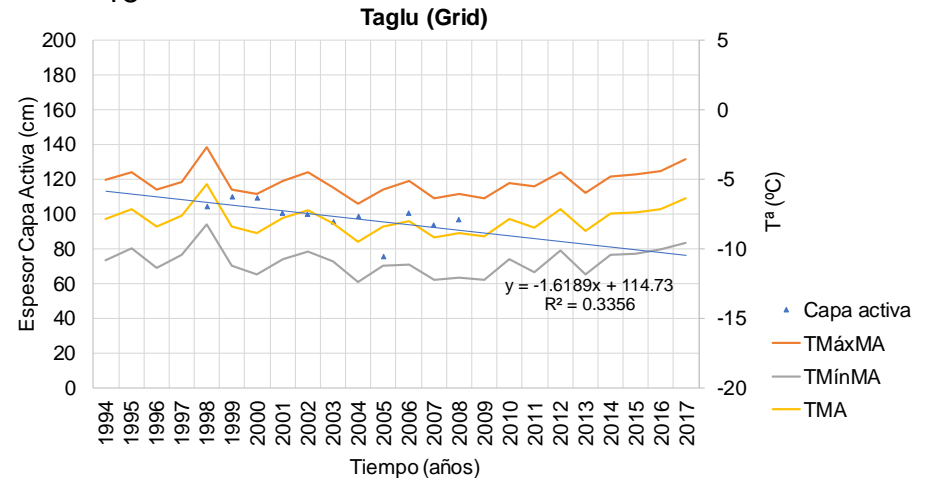




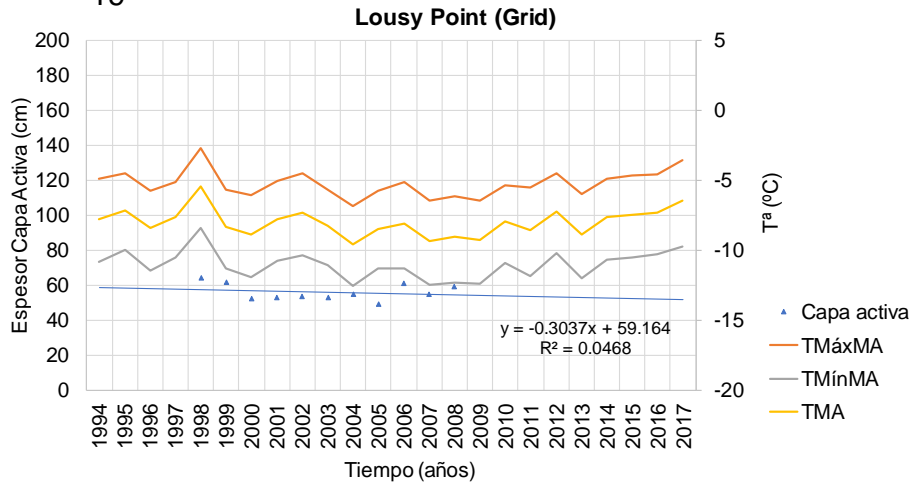
17



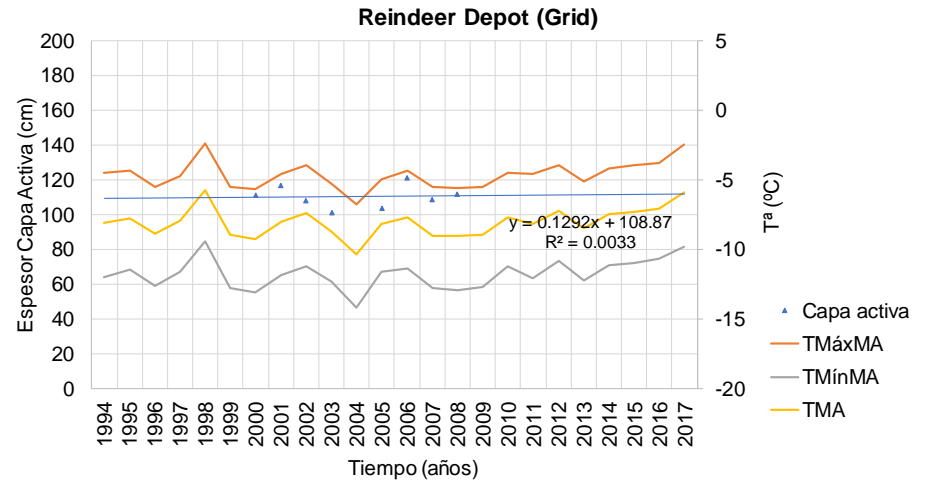
18

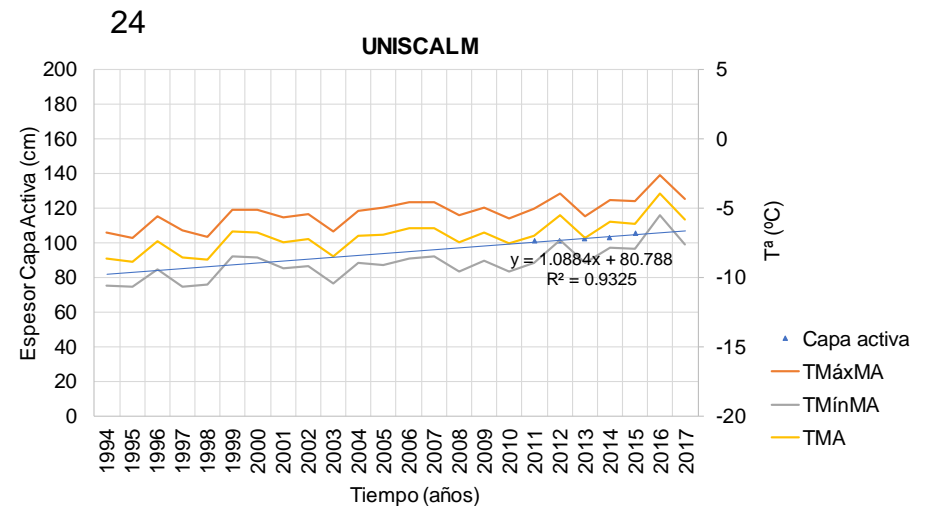
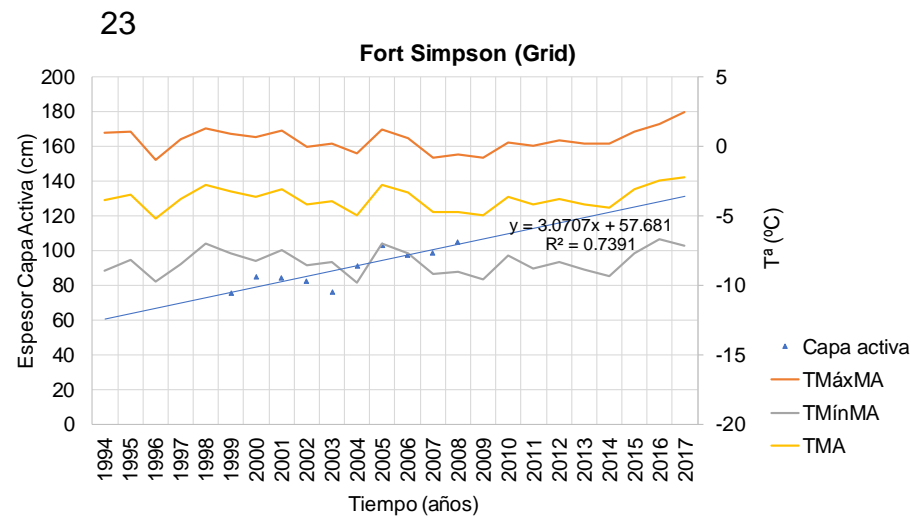
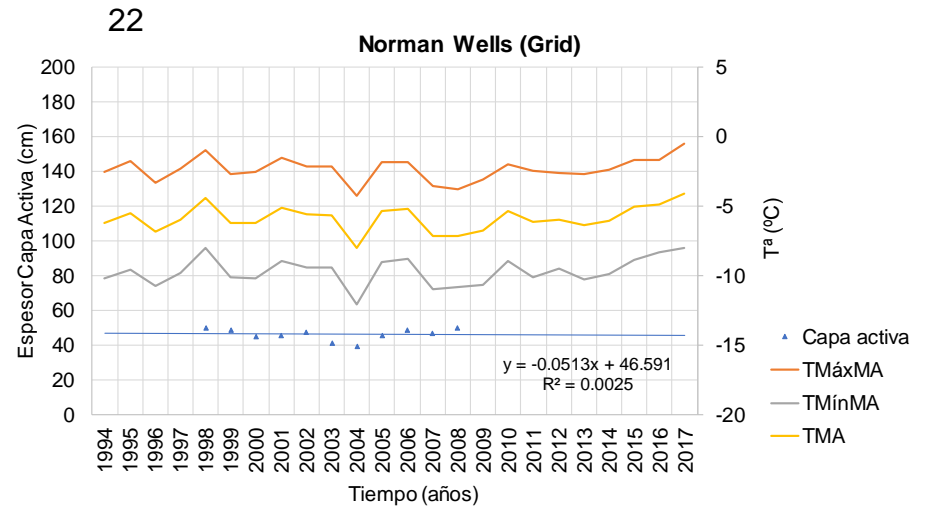
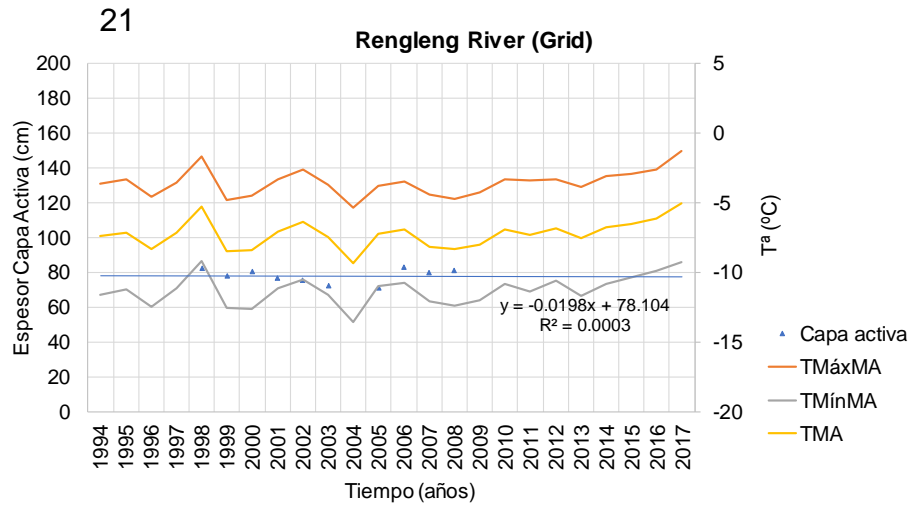


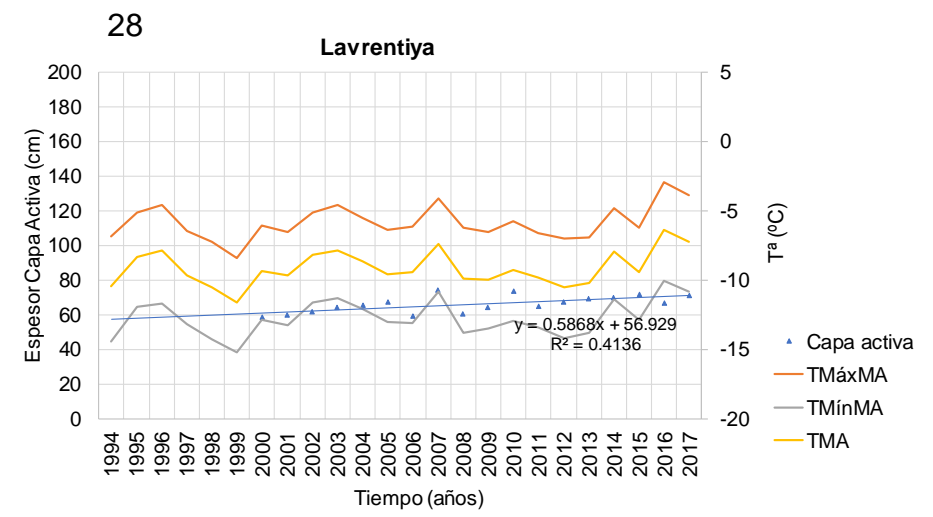
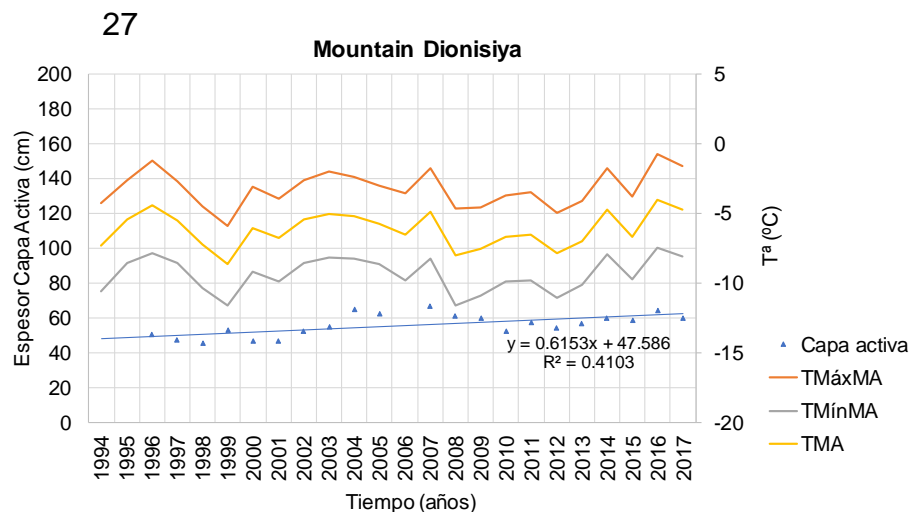
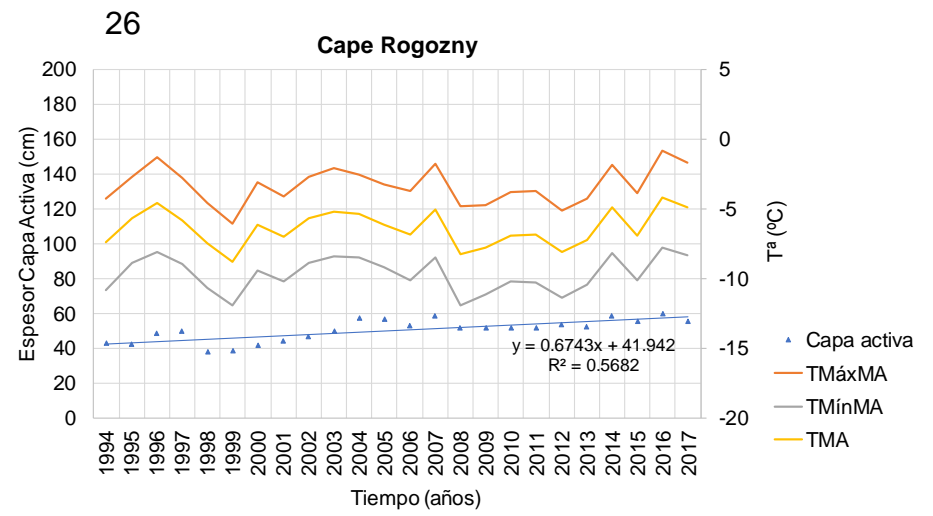
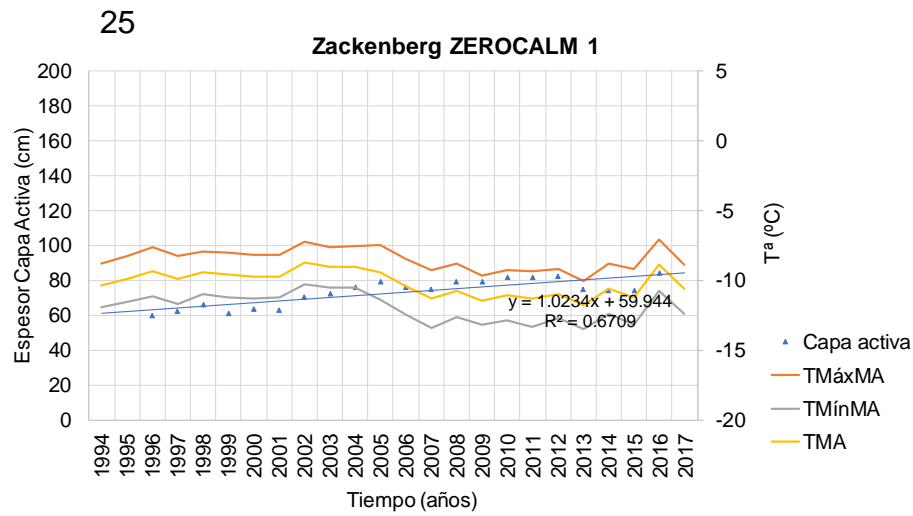
19

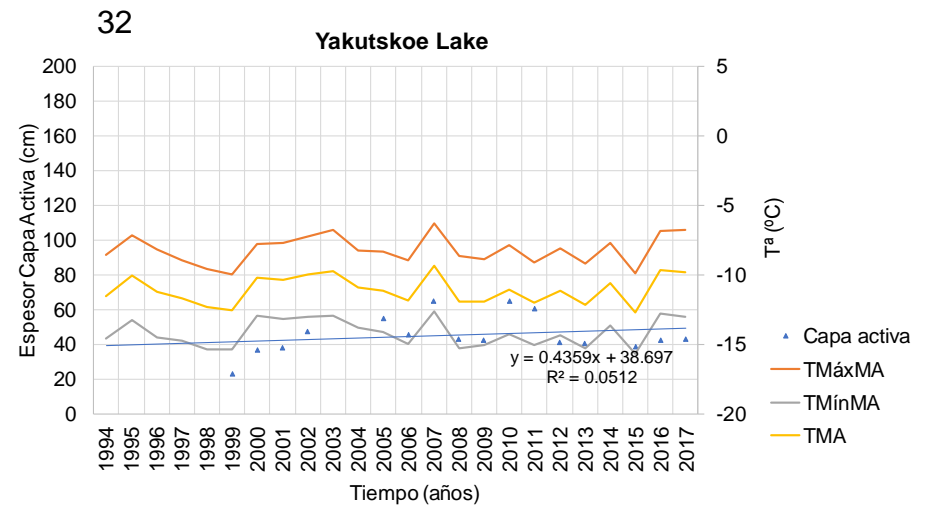
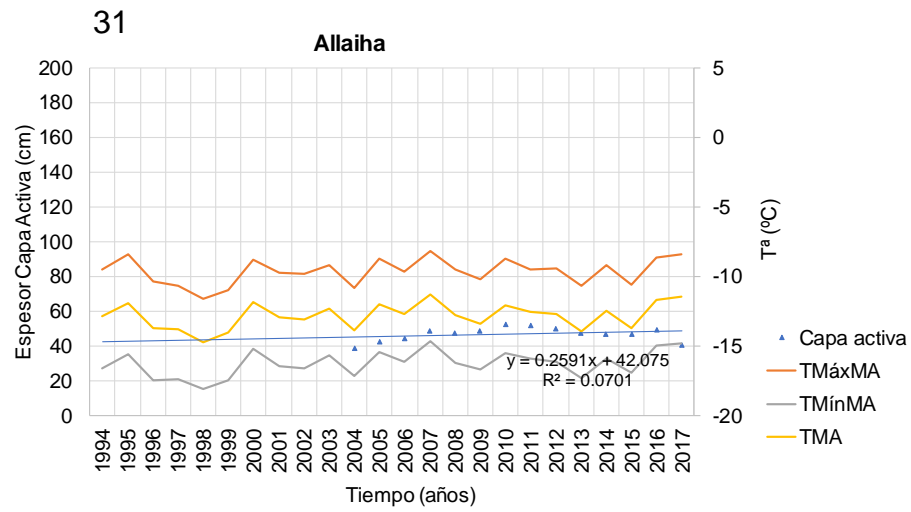
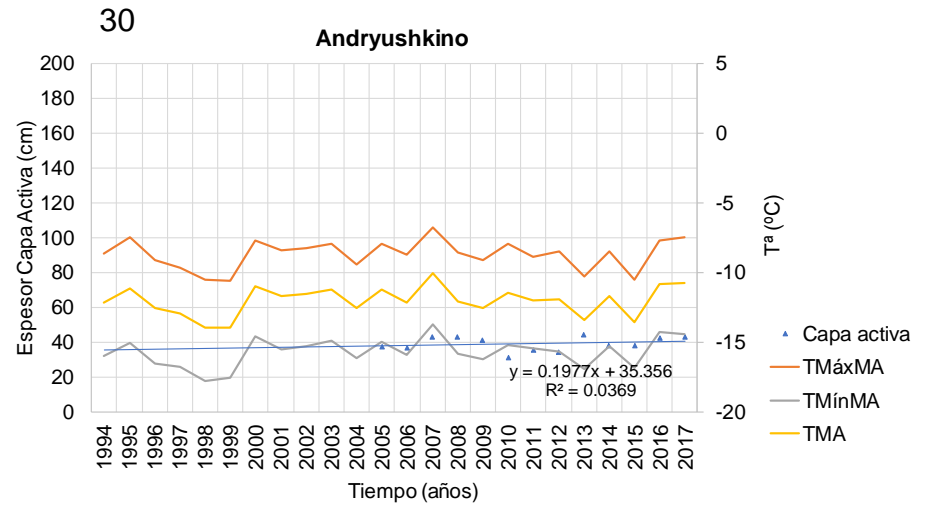
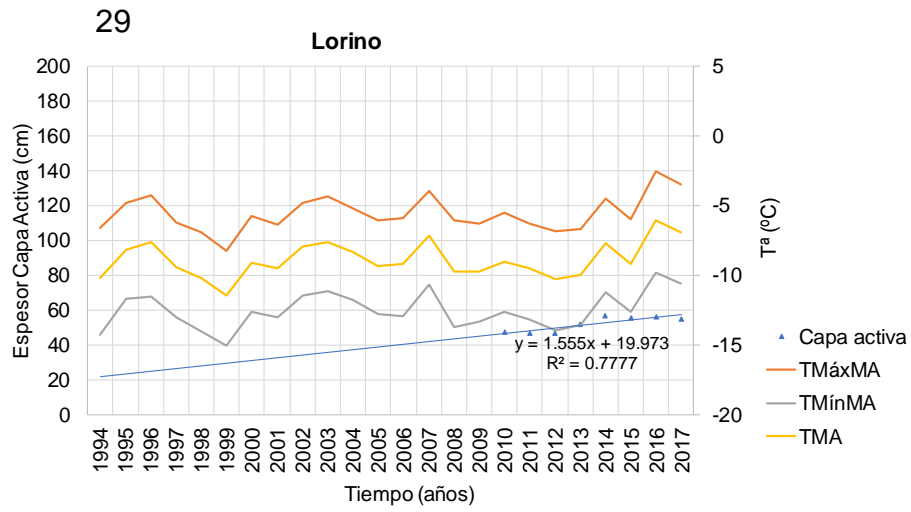


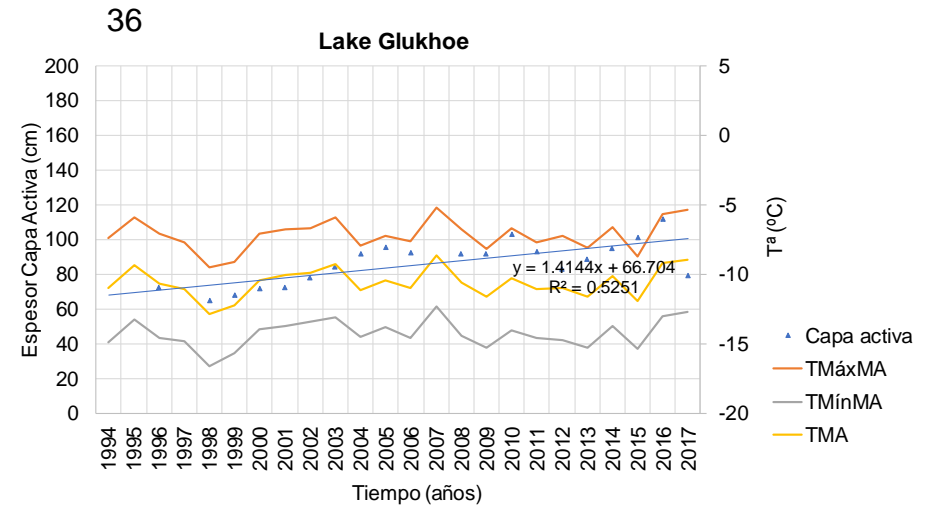
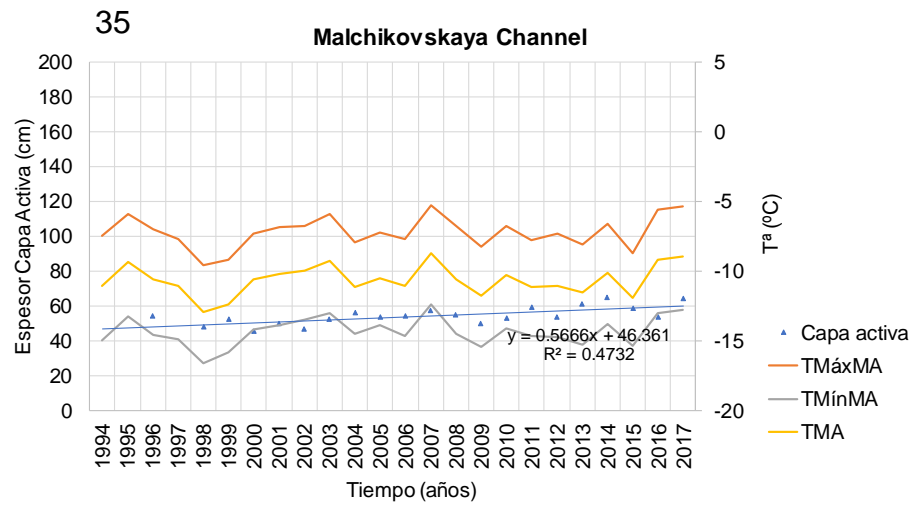
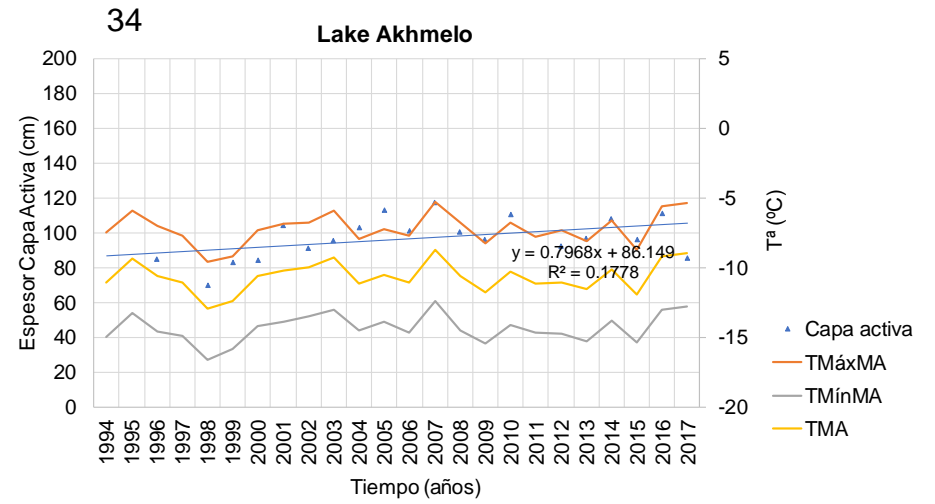
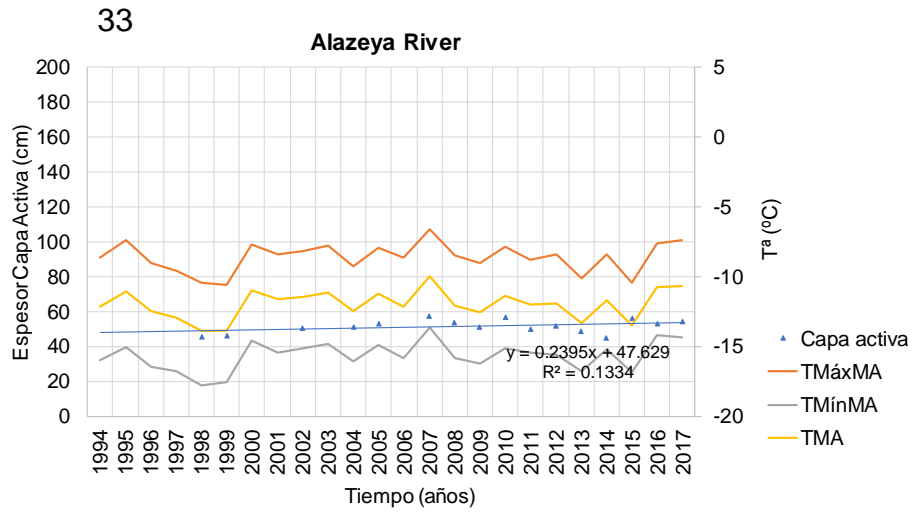
20

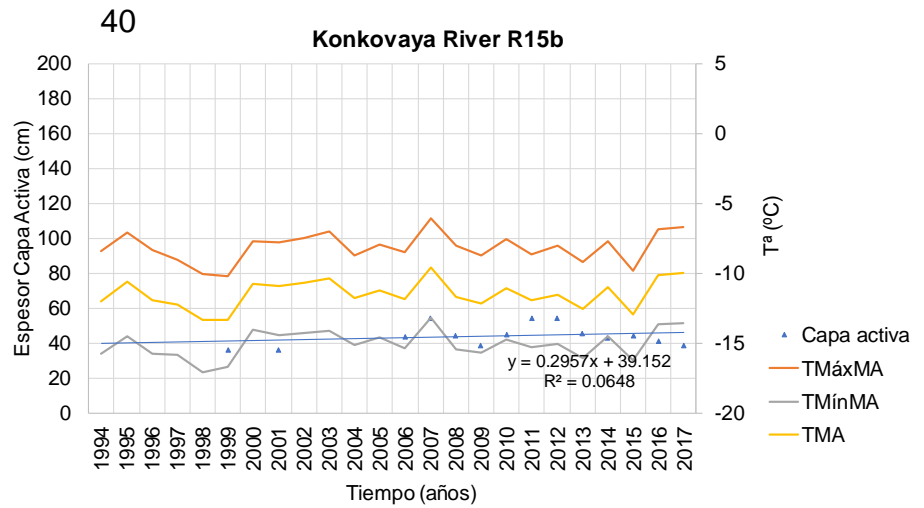
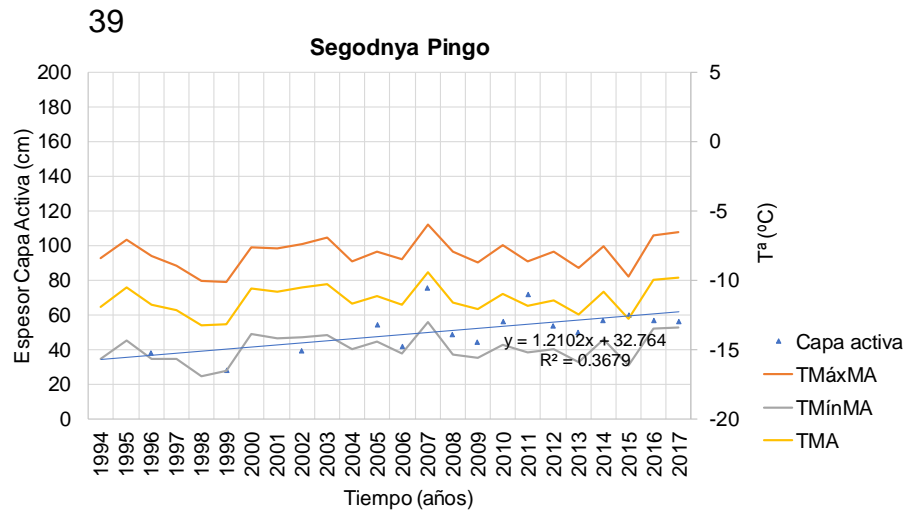
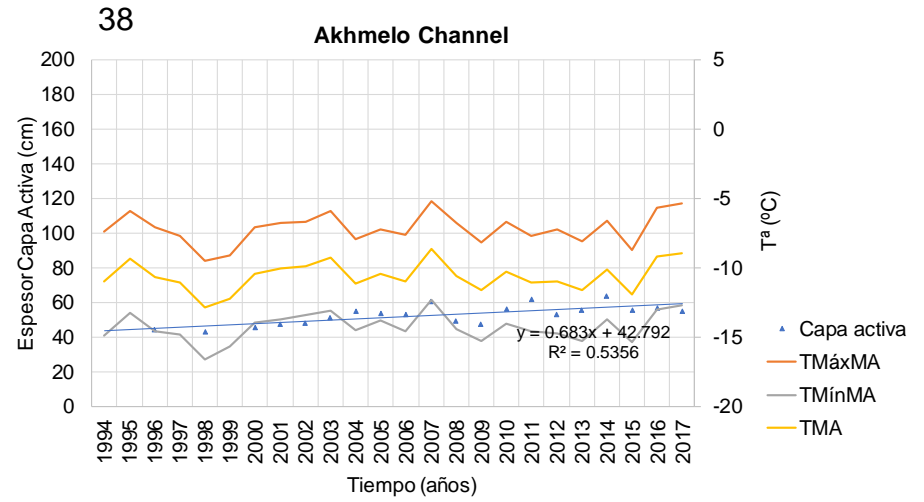
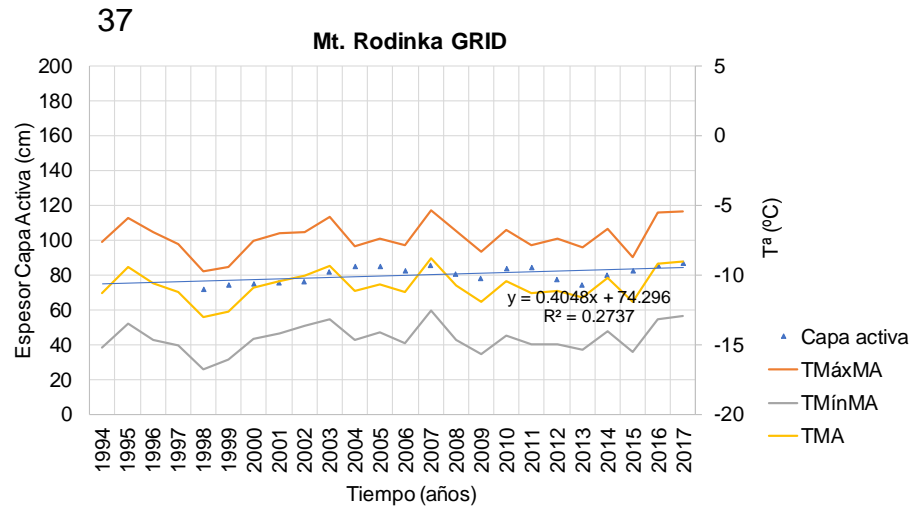




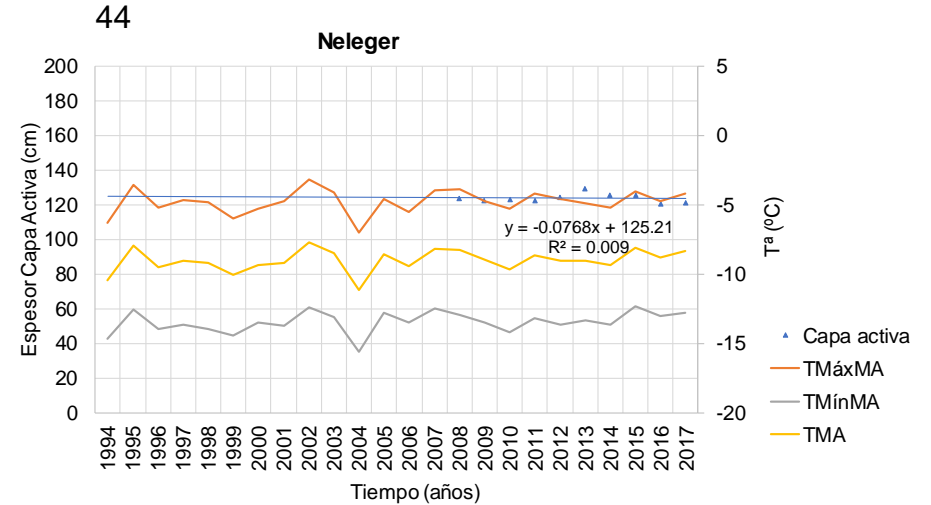
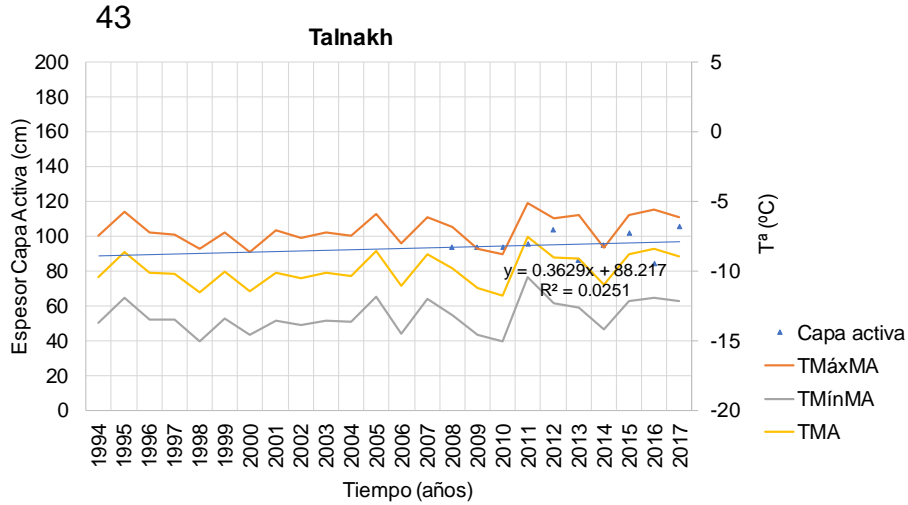
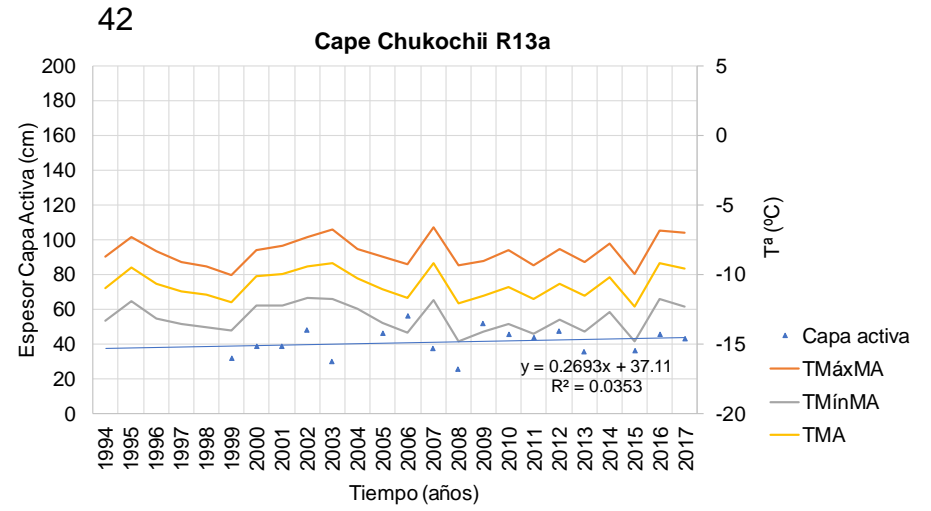
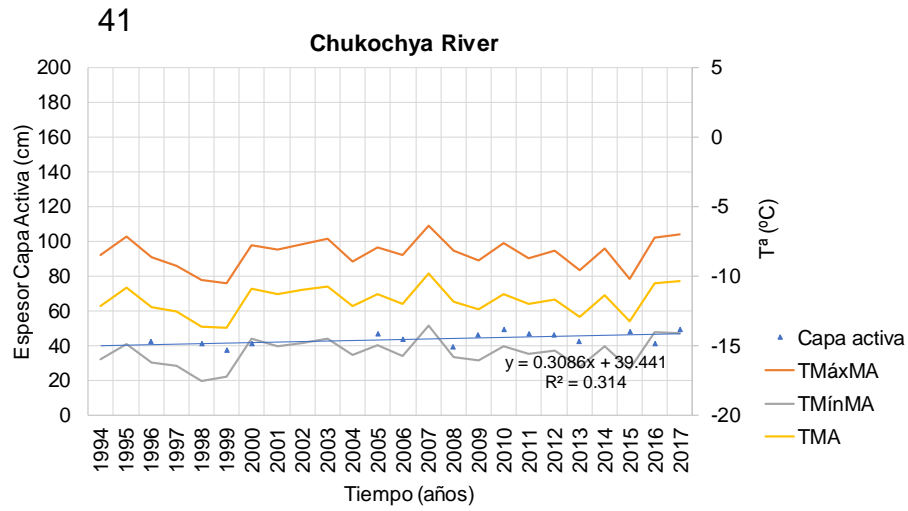




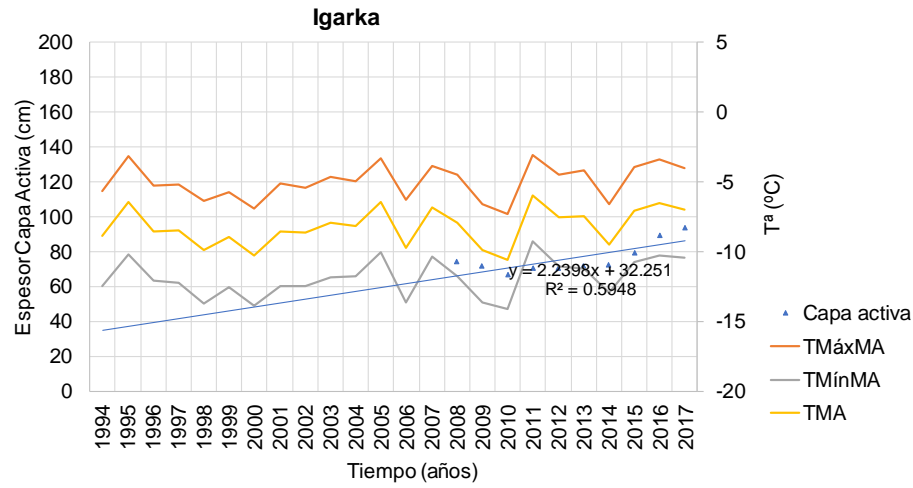




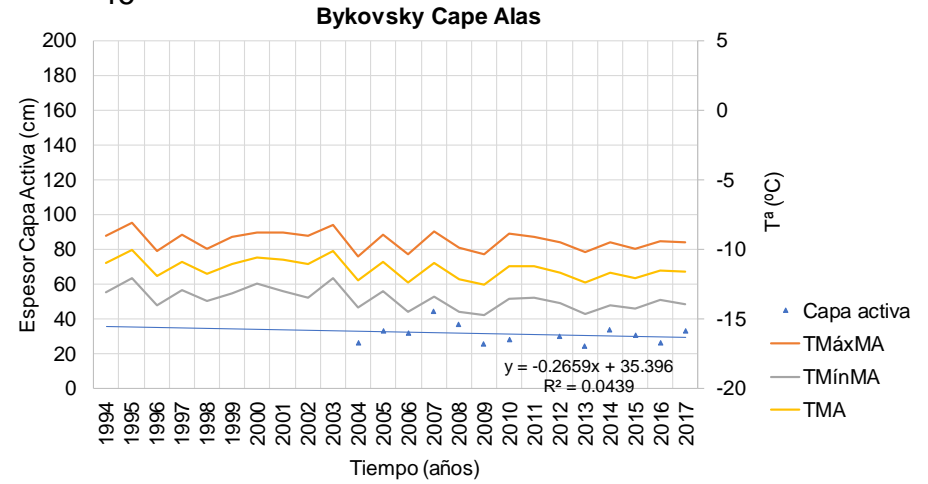




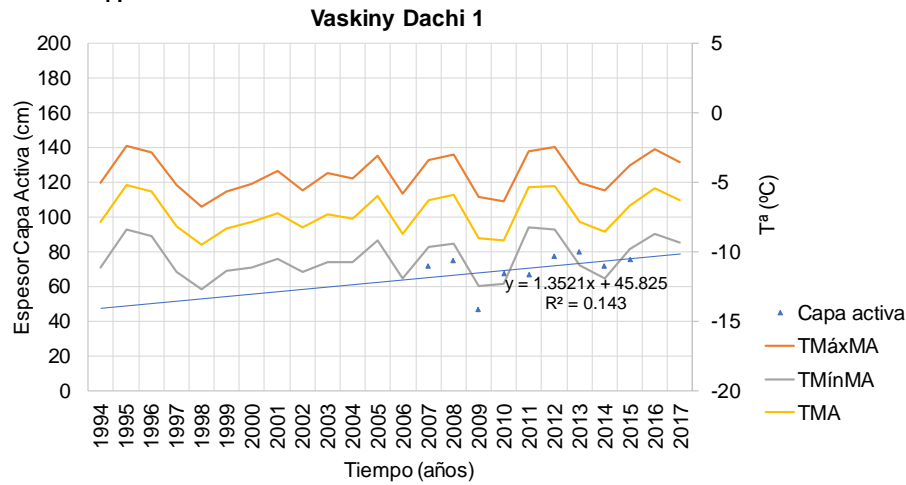
45



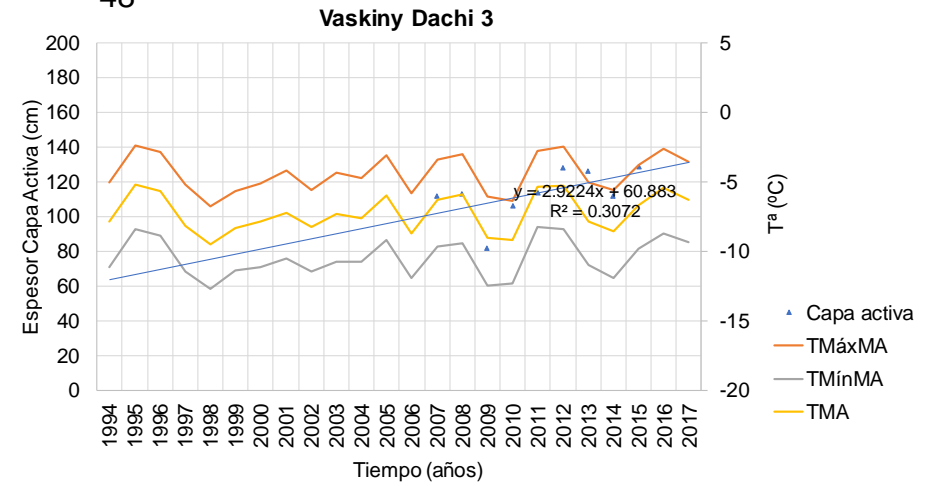
46

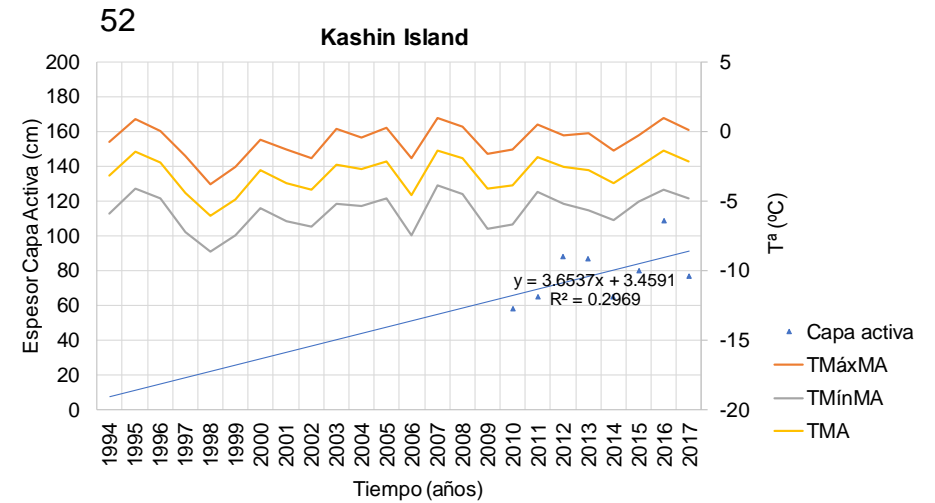
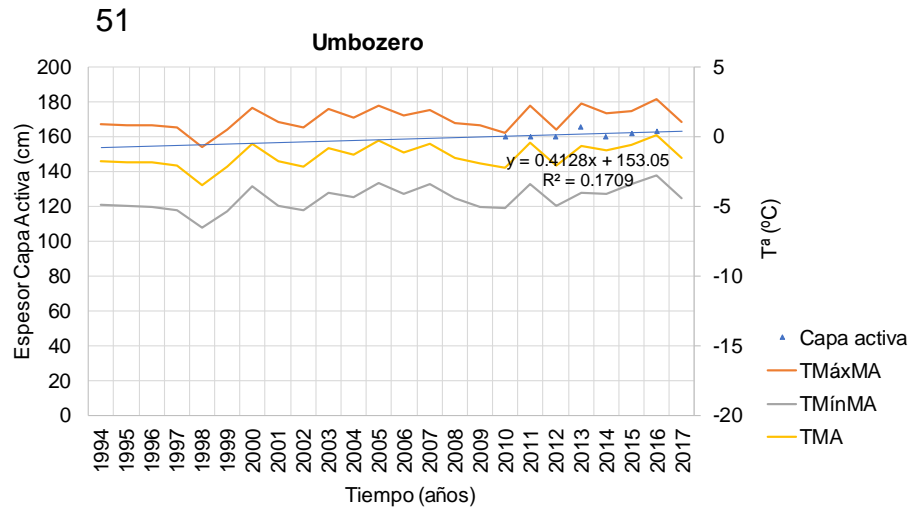
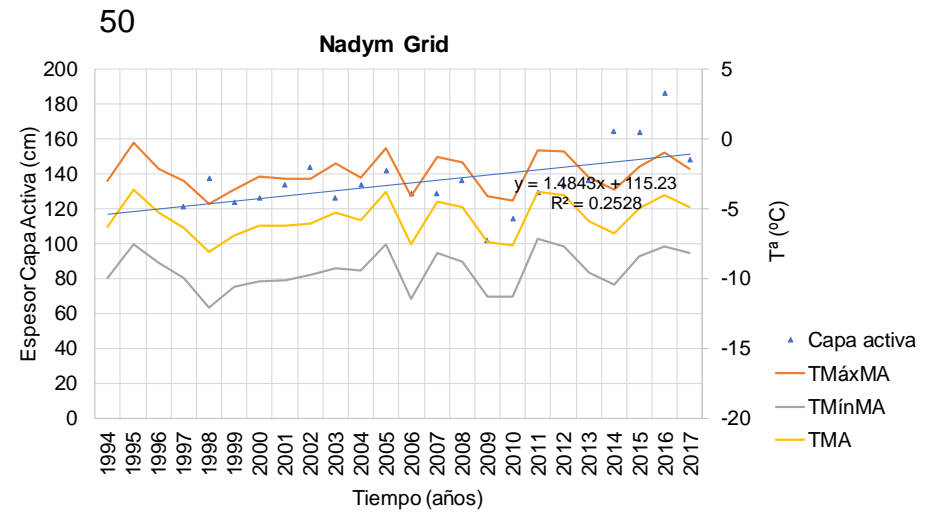
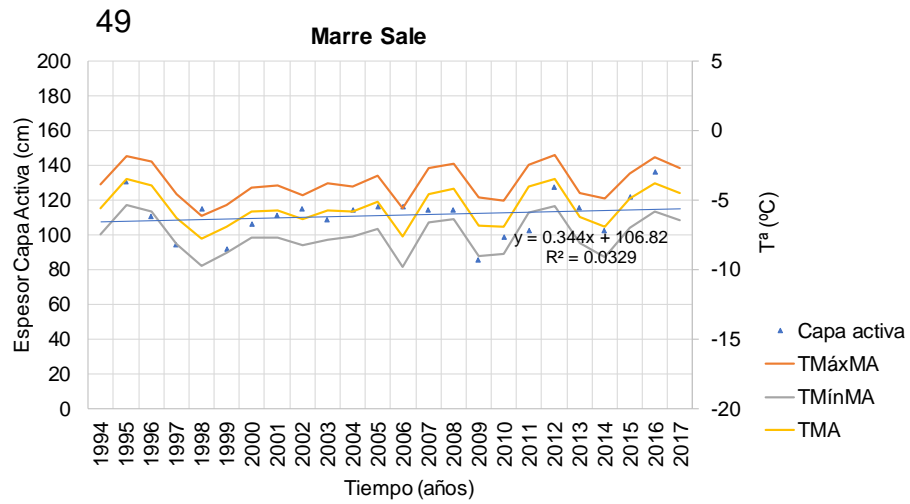


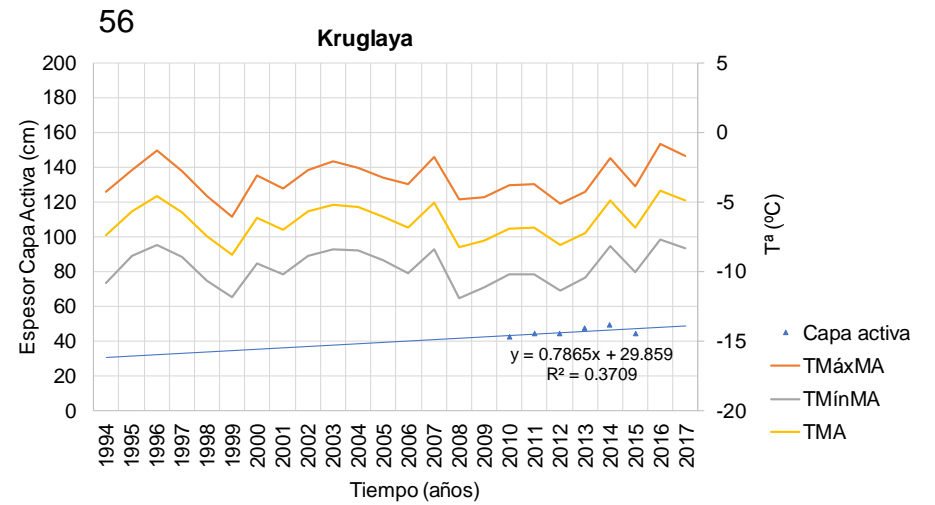
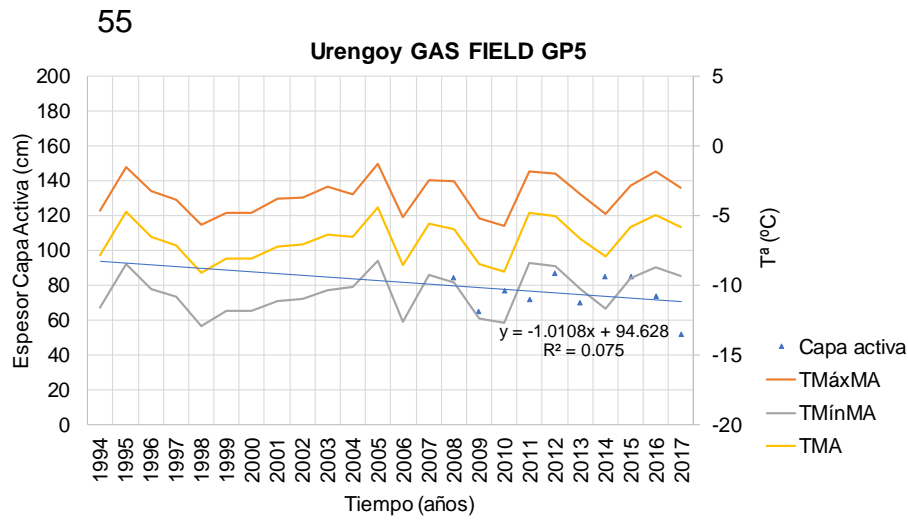
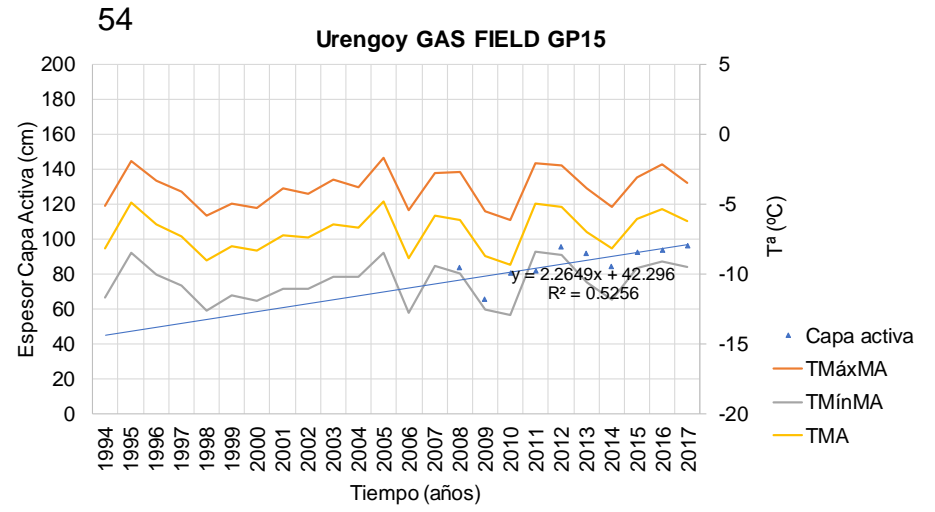
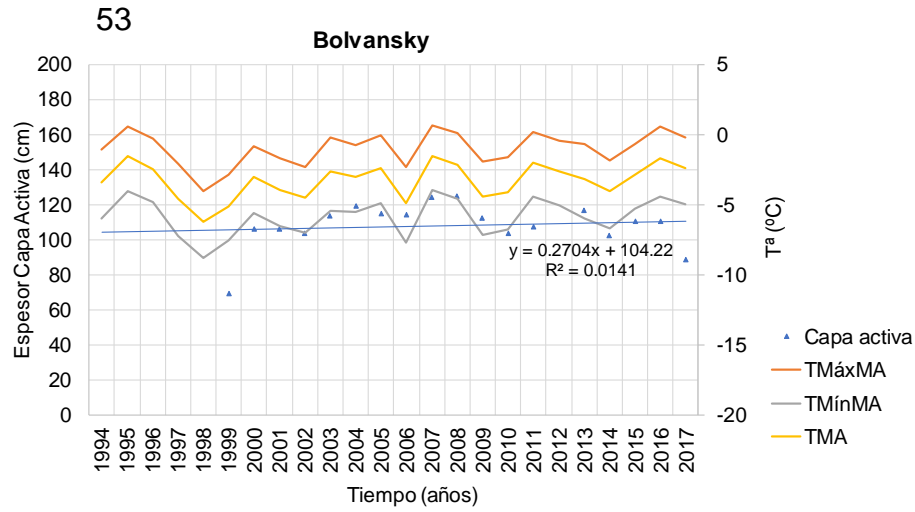
47



48







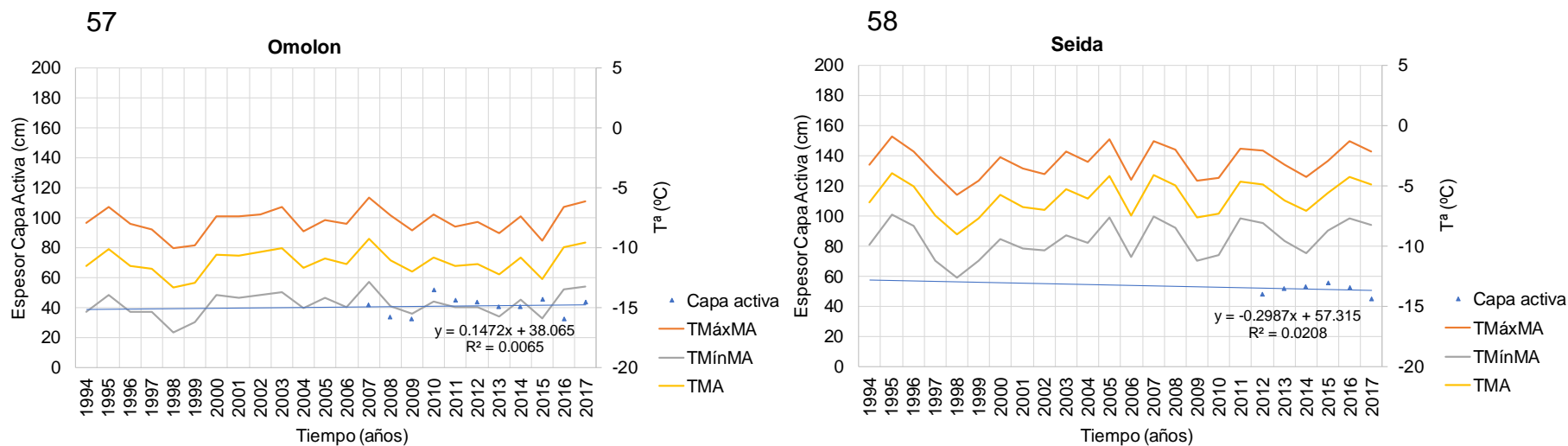


Figura 1. Gráficas de evolución del espesor de capa activa en el periodo 1994-2017 por estación (1-58). Se representan las TMáxMA, TMínMA y TMA del aire, así como la tendencia de los espesores de CA, la ecuación de dicha tendencia y el valor de  $R^2$ . Este último representa el coeficiente de determinación (bondad del ajuste de la tendencia lineal al conjunto de valores de espesor de capa activa).



## Anexo VI. Evolución de 12 estaciones con continuidad temporal

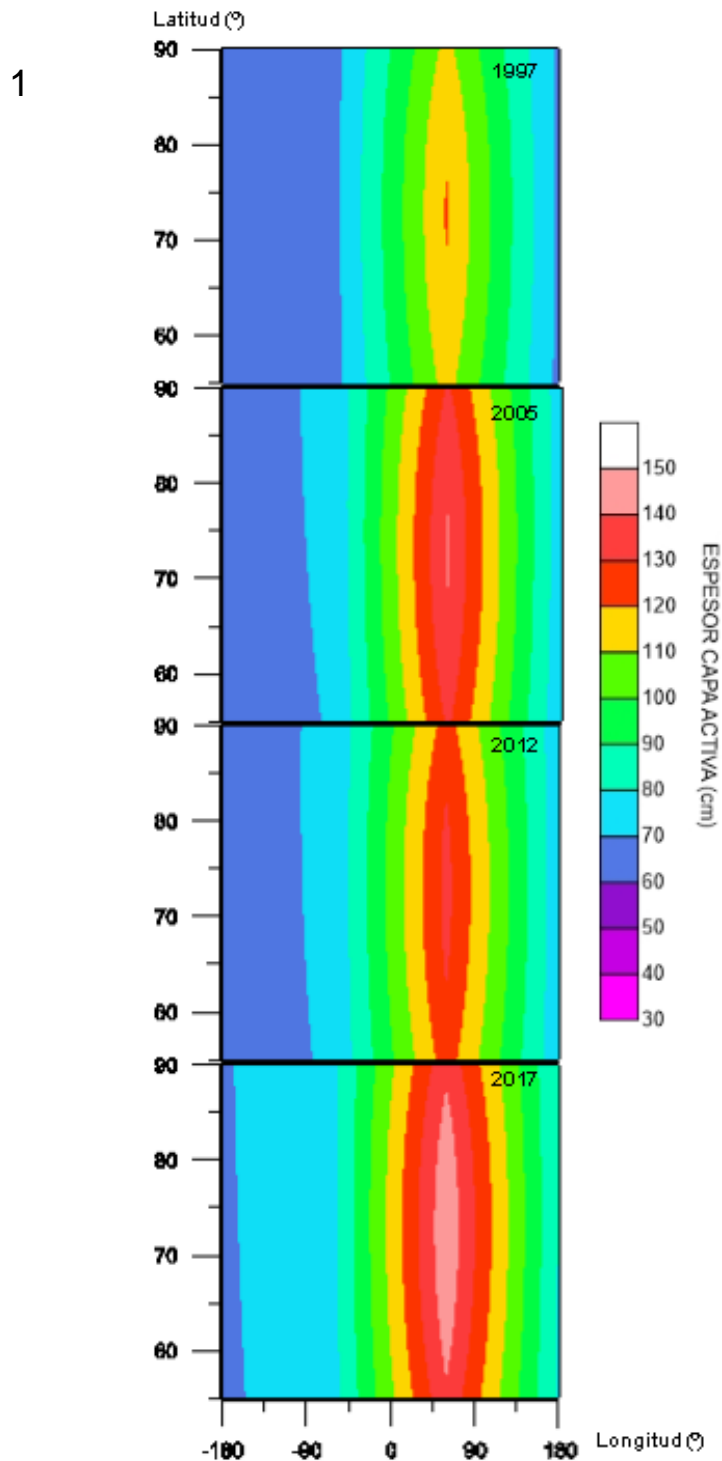


Figura 1. Gradiente de cambio en la capa activa de 12 estaciones con misma continuidad temporal en los datos (1-Happy Valley 1km, 2-Barrow, 3-Atqasuk, 6-West Dock 1km, 8-Deadhorse, 9-Franklin Bluff, 10-Imnavait 1km, 11-Toolik 1km, 12-Galbraith Lake, 26-Cape Rogozny, 27-Mountain Dionisiya y 50-Nadym Grid).





## Anexo VII. Coeficientes de Pearson

Tabla 1. Coeficientes de Pearson para cada estación en el periodo 1994-2017. Se relacionan los espesores de capa activa con la Temperatura Media Anual (TMA), Temperatura Máxima Media Anual (TMáxMA) y la Temperatura Mínima Media Anual (TMínMA).

N.º	Coef, Pearson		
	TMA-CA	TMáxMA-CA	TMínMA-CA
1	0,00	0,01	0,04
2	0,25	0,26	0,26
3	0,28	0,29	0,25
4	0,30	0,28	0,31
5	-0,33	-0,30	-0,37
6	0,41	0,40	0,40
7	0,53	0,54	0,54
8	0,28	0,26	0,29
9	0,23	0,18	0,26
10	0,29	0,30	0,30
11	0,18	0,19	0,20
12	-0,02	-0,02	0,00
13	0,01	0,05	-0,01
14	-0,49	-0,46	-0,50
15	0,38	0,31	0,43
16	0,59	0,54	0,63
17	0,26	0,24	0,27
18	0,18	0,20	0,16
19	0,43	0,46	0,39
20	0,26	0,29	0,17
21	0,04	0,03	0,05
22	0,37	0,31	0,43
23	-0,20	-0,30	-0,12
24	0,24	0,19	0,26
25	-0,41	-0,33	-0,44
26	0,45	0,48	0,42
27	0,27	0,30	0,23
28	0,30	0,31	0,31
29	0,72	0,67	0,76
30	0,07	0,02	0,10

N.º	Coef, Pearson		
	TMA-CA	TMáxMA-CA	TMínMA-CA
31	0,16	0,21	0,14
32	0,31	0,41	0,24
33	0,54	0,54	0,56
34	0,53	0,52	0,56
35	0,22	0,24	0,22
36	0,26	0,27	0,28
37	0,60	0,58	0,61
38	0,33	0,32	0,38
39	0,49	0,48	0,53
40	0,17	0,22	0,15
41	0,34	0,34	0,37
42	0,07	0,07	0,05
43	0,08	0,05	0,14
44	-0,13	-0,20	-0,07
45	0,51	0,49	0,49
46	0,51	0,55	0,40
47	0,48	0,48	0,49
48	0,56	0,55	0,59
49	0,57	0,58	0,57
50	0,42	0,38	0,43
51	0,52	0,63	0,38
52	0,66	0,69	0,59
53	0,48	0,52	0,45
54	0,63	0,60	0,66
55	0,05	0,09	0,03
56	0,63	0,59	0,65
57	-0,05	-0,07	-0,03
58	-0,38	-0,37	-0,36



## Anexo VIII. Evolución de la capa activa en función de la altitud

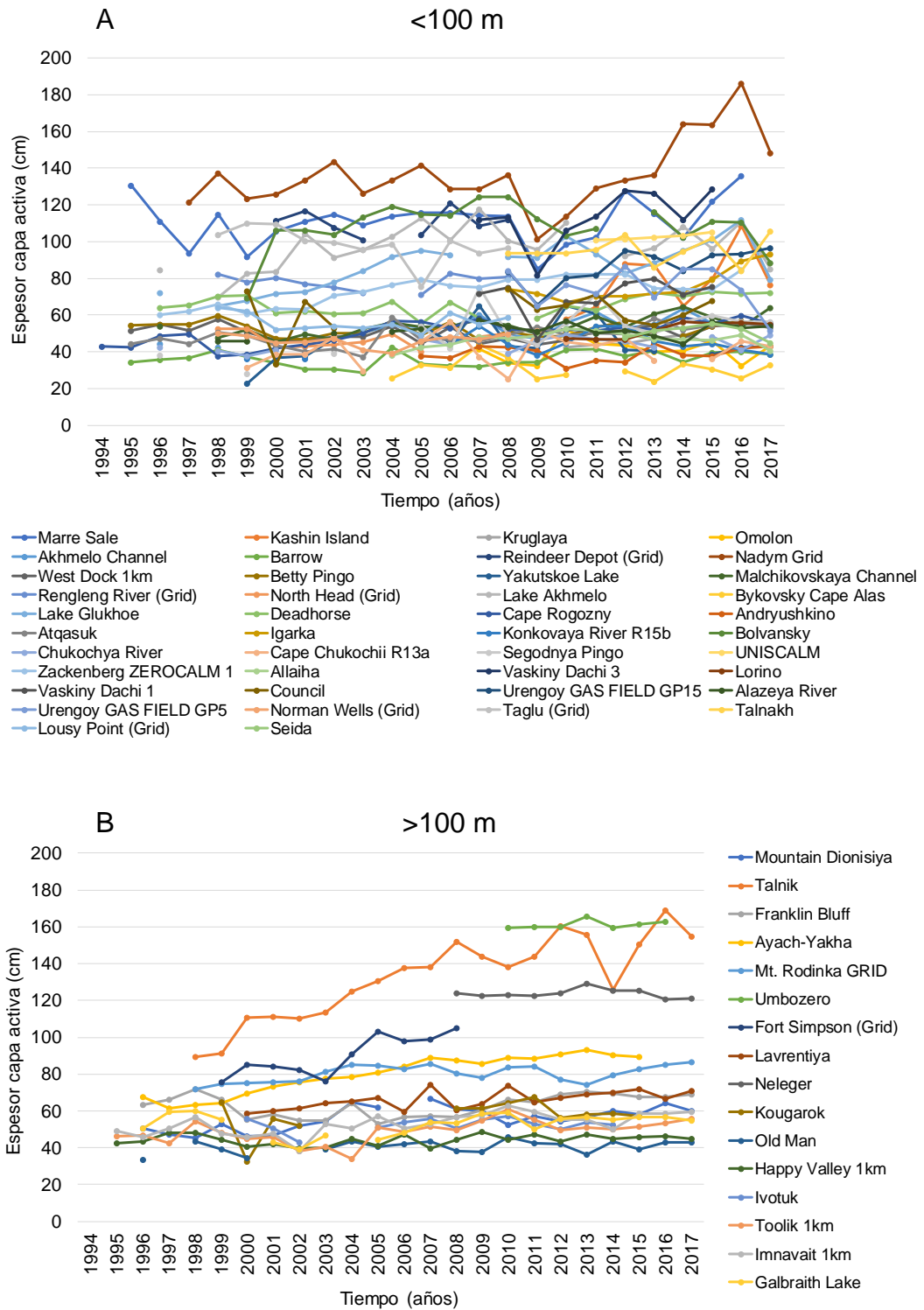


Figura 1. Evolución del espesor de la capa activa en estaciones situadas a altitudes por debajo (A) y por encima de los 100 metros (B) para el periodo de estudio (1994-2017).



## Anexo IX. Evolución de la capa activa en función del relieve

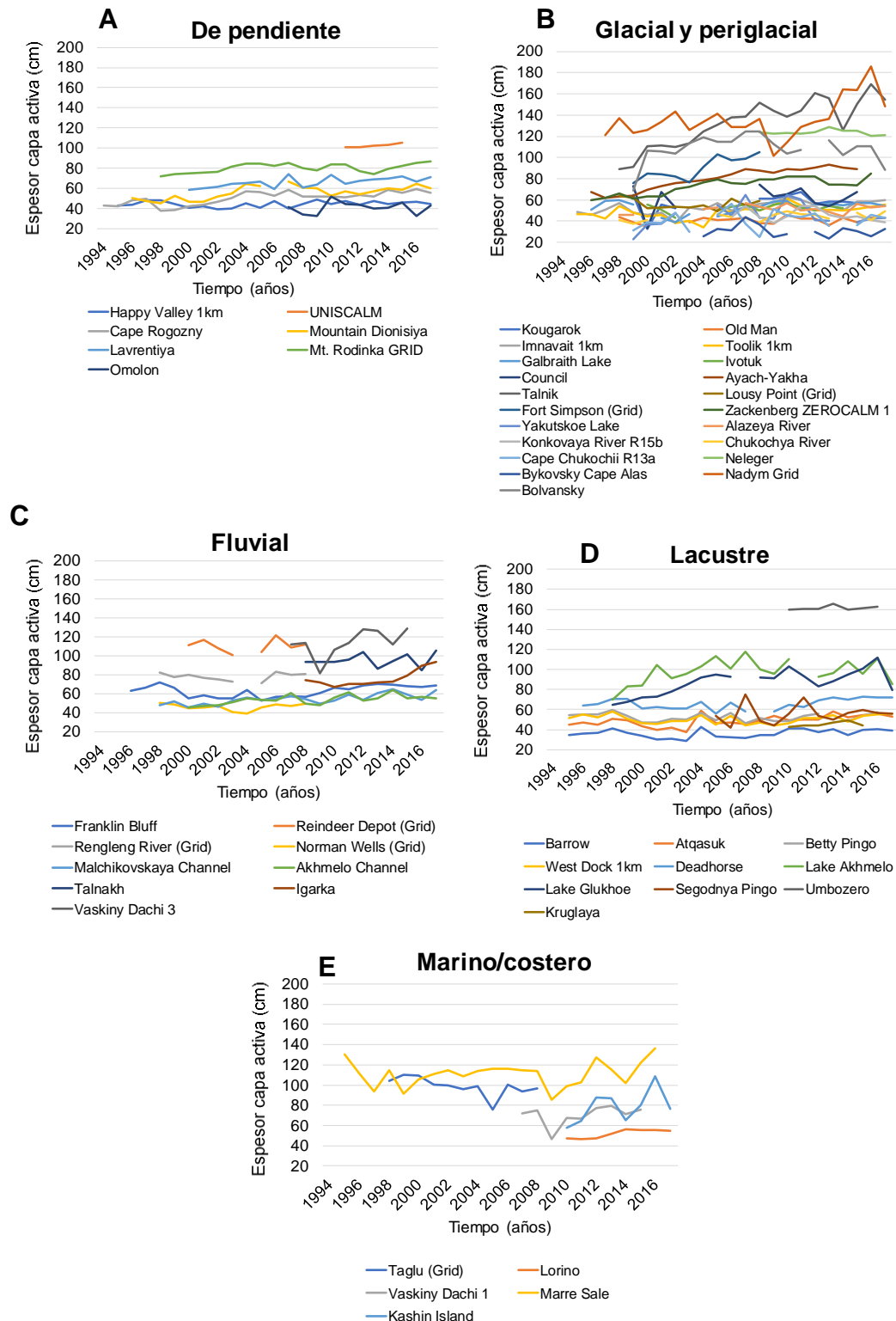


Figura 1. Evolución del espesor de capa activa en zonas con distintos tipos de ambientes geomorfológicos para el periodo de estudio (1994-2017): de pendiente (A), glacial y periglacial (B), fluvial (C), lacustre (D) y marino-costero (E).



## Anexo X. Variabilidad de la capa activa en función del ambiente geomorfológico

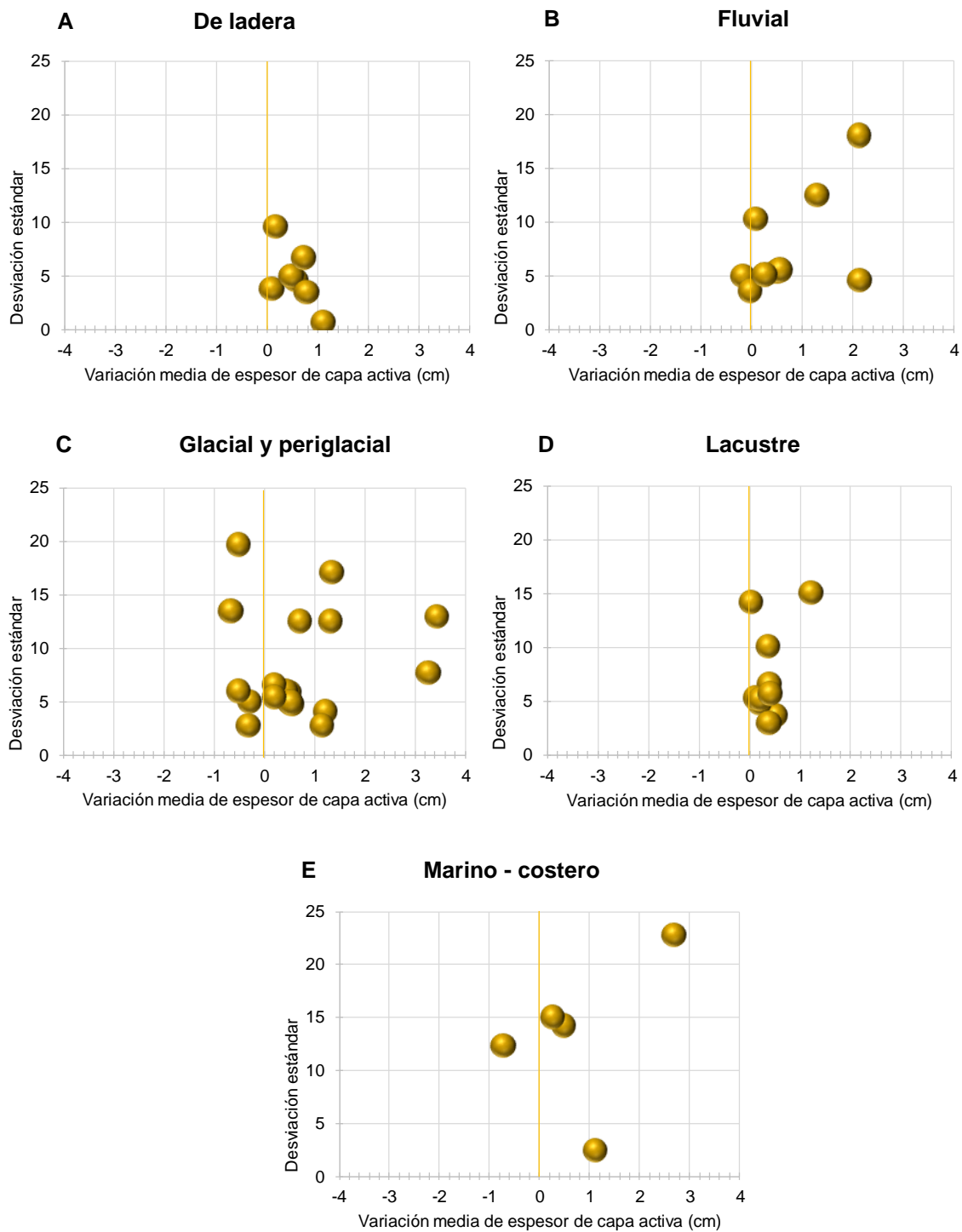


Figura 1. Variabilidad interanual media del espesor de la capa activa para cada ambiente geomorfológico: de pendiente (A), glacial y periglacial (B), fluvial (C), lacustre (D) y marino-costero (E).





## Anexo XI. Evolución de la capa activa en función de la vegetación

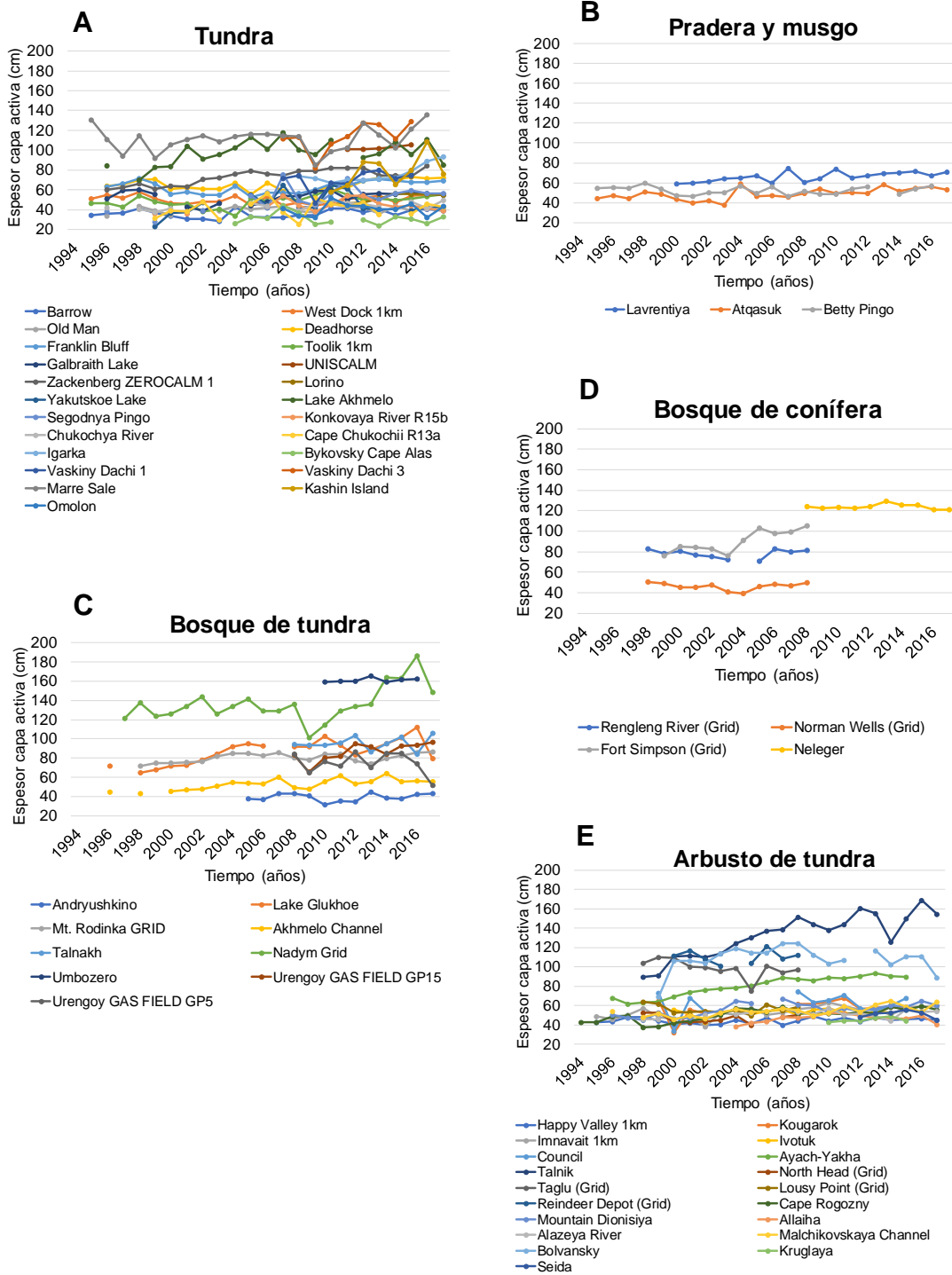


Figura 1. Evolución del espesor de la capa activa en zonas de distintos tipos de vegetación para el periodo de estudio (1994-2017): arbusto de tundra (A), pradera y musgo (B), bosque de conífera (C), tundra (D) y bosque de tundra (E).



## Anexo XII. Variabilidad de la capa activa en función de la vegetación

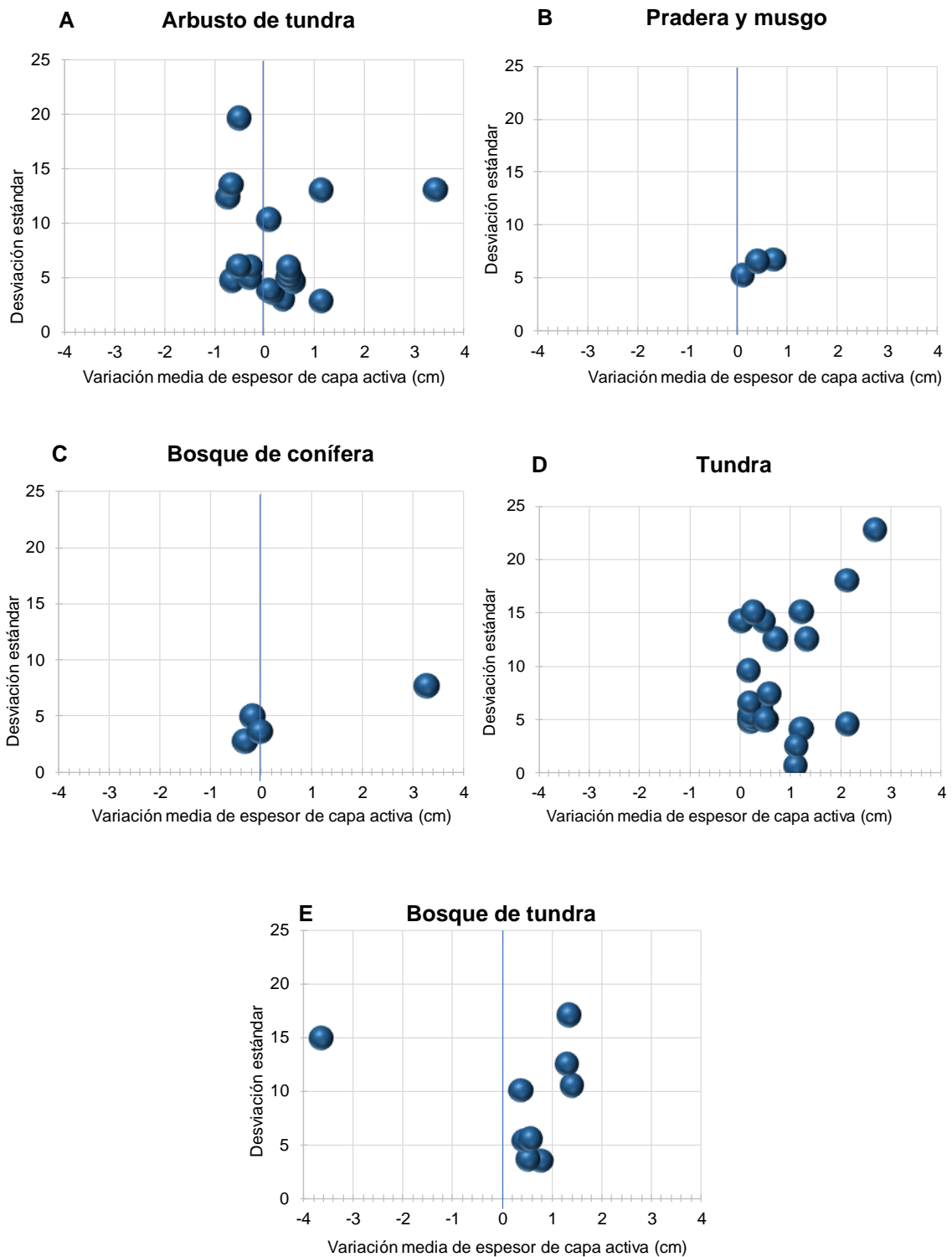


Figura 1. Variabilidad interanual media del espesor de la capa activa para cada tipo de vegetación: arbusto de tundra (A), pradera y musgo (B), bosque de conífera (C), tundra (D) y bosque de tundra (E).

