



---

**Universidad de Valladolid**

Escuela de Doctorado

# **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

Máster en Física

**Análisis de las olas de calor y variables asociadas en  
América entre 1951 y 2020**

**Autor: Álvaro Patricio Prieto Pérez**

**Tutor/es: Isidro Pérez Bartolomé  
María Ángeles García Pérez**







*En primer lugar, agradecer a mis tutores Isidro Pérez y María Ángeles García por toda la ayuda y guía prestada para la realización de este trabajo. También agradezco a toda mi familia y amigos por estar ahí y haberme apoyado a lo largo de mi vida. De no ser por ello, no habría sido posible este Trabajo de Fin de Grado.*



# Análisis de las olas de calor y variables asociadas en América entre 1951 y 2020

Álvaro P. Prieto

## Abstract

Heatwaves are increasing around the globe and have become a major threat to human health, natural environments and even infrastructure and economy. Regions like Europe or Australia have plenty of research in this area, but the same cannot be said in the case of the Americas. In this study we have analysed heatwaves and their related variables in the American continent between 1951 to 2020 to describe them across all the territory, as well as for finding their trends and relate them to atmospheric conditions. Results have shown that near the equator the climatological means of the number of heatwaves, length of the longest heatwave and heatwave days are larger than in other latitudes and decrease the more we approach the poles. The climatological mean of the heatwave's intensity has an inverse pattern: the more we move away from the equator, the more intense heatwaves are. The trends have a similar pattern than the climatological means: for the number of heatwaves, length of the longest heatwave and heatwave days the trends are more intense near the equator, but the heatwave's intensity has an inverse pattern. Finally, we have studied the correlations between heatwaves and the 2 m temperature, total precipitation and sea surface temperature. Results have shown that heatwaves are strongly related between total precipitation, sea surface temperature and their respective anomalies, but not so much with the 2 m temperature.

## 1. Introducción

Las olas de calor pueden ser definidas de manera vaga como eventos de días consecutivos cuyas condiciones son mucho más calidas de lo normal (Perkins y Alexander 2013), y eventos extremos que tienen un gran impacto en la salud humana, la economía y los ecosistemas naturales, tal y como se afirma en Perkins 2015. Por ejemplo, en Geirinhas y col. 2019 se comprueba que en la ola de calor de 2010 en la región metropolitana de Rio de Janeiro se registró la tasa de mortalidad más alta en un período de 16 años, con un gran número de muertes potencialmente relacionadas con las excesivas condiciones de calor. En Langlois y col. 2013 se observó que había correlación el número de muertes y la desviación de la normal de una magnitud para medir las olas de calor, y en Chambers 2020 se demuestra que la población vulnerable se halla cada vez más expuesta a las olas de calor. En cuanto a la economía, las olas de calor pueden afectar a la integridad estructural de edificios y a la agricultura -dado que suelen estar asociadas las olas de calor con sequías (Pezza,

Rensch y Cai 2012). Respecto a los ecosistemas naturales, las condiciones de calor extremo y sequías asociadas pueden provocar incendios forestales (Pezza, Rensch y Cai 2012). En Reddy y col. 2021 se demuestra que hay una relación inversa significativa entre las características de una ola de calor y la humedad de combustible muerto fino<sup>1</sup> en el sudeste de Australia. Otro ejemplo lo vemos en Ratajczak y col. 2019, en el que se observa que la combinación de olas de calor e incendios forestales producen un cambio en las especies vegetales del ecosistema.

Por estos motivos, se hace necesario investigar más en estas amplias áreas para caracterizar las olas de calor a lo largo del globo, estudiar sus efectos asociados, intentar relacionarlas con otros fenómenos atmosféricos, etc. En Europa y Australia hay una gran cantidad de trabajos al respecto, pero lo mismo no ocurre en América. Debido a ello, este Trabajo de Fin de Máster se propone como objetivo caracterizar las olas de calor que ocurren en el continente americano, analizar sus tendencias y hallar posibles relaciones con las condiciones atmosféricas.

<sup>1</sup>La humedad de combustible es definida por la NOAA (*Dead Fuel Moisture*) como una magnitud que mide la cantidad de agua en un combustible disponible para el fuego. Si es menor al 30%, al combustible se le considera muerto. También se clasifican en función del tamaño del combustible.

## 1.1. Causas y mecanismos

En Perkins 2015 se describe muy bien los mecanismos físicos de las olas de calor, por lo que lo usaremos para describirlos en este apartado. El elemento en común a todas las olas de calor alrededor del globo es que vienen acompañadas de un anticiclón. Ahora bien, los mecanismos por los que se forman estos anticiclones y su persistencia varían alrededor del planeta. Por ejemplo, los anticiclones tradicionales se producen cuando la corriente en chorro polar genera meandros, que hace que una parte geográfica se encuentre aislada del aire frío de los polos, por lo que el aire caliente se acumule. Este tipo de anticiclones están detrás de varias olas de calor en Europa y Norteamérica. Otro tipo de anticiclones lo podemos encontrar en Australia, donde estos anticiclones pueden formarse debido al desplazamiento de las latitudes de caballo (latitudes donde están las altas presiones subtropicales), pero no son tan persistentes como las debidas al bloqueo del chorro polar. Todos los anticiclones causan y prolongan la ola de calor transfiriendo aire cálido y seco a las regiones afectadas.

Sin embargo, los anticiclones persistentes en una determinada zona, aun siendo necesarios, no son suficientes para producir olas de calor: la humedad del suelo debe de ser baja en comparación con sus niveles medios. Si tiene grandes cantidades de agua, gran parte de la energía se utiliza para la evaporación del agua en lugar de para el incremento de temperatura. En cambio, si hay poca humedad presente, el aumento de las temperaturas es muy considerable e induce, además, una retroalimentación positiva entre el aumento de temperaturas y desecación del suelo. Es por eso que una de las condiciones fundamentales es que los meses anteriores a los eventos de olas de calor hayan sido secos y con pocas lluvias.

Del mismo modo, la variabilidad climática parece tener relaciones con los extremos de temperatura. Por ejemplo, El Niño/Oscilación Sur (ENSO) tiene una influencia a escala global, aunque dependiendo de su fase afecta a determinadas regiones de manera distinta. La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) tiene influencia en temperaturas extremas en Eurasia, mientras que la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) tiene una mayor influencia en el norte de la Cuenca del Pacífico y en

Norteamérica.

## 1.2. El continente americano

El continente americano es un continente enorme y que suele ser dividido en tres partes: Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica. Una buena descripción de la región norteamericana la hace Castagno 2020a. Esta región se extiende de norte a sur desde las regiones cercanas al polo de Canadá y Groenlandia hasta el sur de México y de este a oeste desde la costa este de Groenlandia hasta las islas Aleutianas de Alaska, y se halla rodeado del océano Pacífico, el océano Atlántico y el océano Ártico. En cuanto a cadenas montañosas importantes, podemos destacar las que pueden que tengan efecto en las olas de calor: la Cordillera Norteamericana (también llamada Montañas Rocosas), cuyo rango va desde Alaska central hasta la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental de México, pasando a lo largo del oeste de Canadá y Estados Unidos. También existen otras cadenas montañosas en el oeste de Estados Unidos y de Canadá, por lo que esta es una zona accidentada. Otra cadena montañosa a tener en cuenta en esta región es la cadena de los Apalaches, que se compone de montañas que van desde el sureste de Canadá y pasan por el este de Estados Unidos. No son tan altas como las Montañas Rocosas.

En cuanto a Sudamérica y a Centroamérica, en Castagno 2020b se realiza una descripción detallada de sus geografías físicas. Sudamérica abarca unos 67 grados de latitud, extendiéndose desde el sur de la Patagonia hasta el norte de Colombia, aunque la mayoría del continente se halla en el hemisferio sur. La cadena montañosa más importante es la Cordillera de los Andes, que con una extensión de unos 7200 km recorre toda la costa oeste de Sudamérica desde Venezuela hasta Tierra del Fuego, y tiene una clara influencia en el clima de esta región. Respecto a Centroamérica, corresponde a la región que se encuentra entre Colombia y México. La región de tierras altas recorre toda Centroamérica por el centro y tiene diversas elevaciones.

Dado que gran parte de Sudamérica y Centroamérica se encuentran en regiones tropicales, se hallan bajo la influencia de la Zona de Convergencia

Intertropical<sup>2</sup> (ZCI). En particular, en la Amazonia la ZCI se mueve hacia el norte a través de esta región entre abril y julio (llegando hasta Centroamérica), mientras que entre agosto y marzo la ZCI se curva hacia el centro de Brasil y Bolivia y lleva las precipitaciones al Amazonas Central (Furley 2007).

Finalmente, hay que tener en cuenta algunas corrientes oceánicas presentes en Sudamérica y cuyos cambios pueden influir a nivel mundial. La mayoría de Sudamérica se halla bajo la influencia del océano Atlántico, mientras que solo una pequeña región se halla bajo influencia directa del Pacífico (debido a los Andes). En el este de Sudamérica, la influencia del Atlántico Tropical es notoria, mientras que en el Pacífico la influencia está restringida por la fría corriente de Humboldt, por lo que estas zonas tienen características áridas (Orme 2007). Sin embargo, esta corriente se ve bastante influenciada por el ENSO, en particular con sus modos de El Niño o La Niña. Cuando las anomalías de temperatura superficial del océano son positivas nos hallamos en la fase de El Niño, mientras que con anomalías negativas corresponden a La Niña. El Niño suele estar asociado a déficits de precipitaciones en el norte de Sudamérica y superávits de precipitaciones en el sureste del continente, como puede ser el sureste de Brasil, Uruguay, sur de Paraguay y noreste de Argentina. Lo contrario ocurre para La Niña (Garreaud y Aceituno 2007).

## 2. Materiales y metodología

### 2.1. Definición de olas de calor

Uno de los grandes retos a los que nos enfrentamos al estudiar olas de calor es que no hay una definición universal en cómo medir estos eventos extremos. En términos generales, son periodos más o menos prolongados en los que las temperaturas son mucho más altas de lo normal. Ahora bien, de cara a medir estos eventos, hay numerosos métodos utilizados en varios estudios. Sin embargo, en Perkins 2015 se hace un resumen de las métricas utilizadas a lo largo de la historia para

identificar estos eventos, así como proponer una métrica válida para cualquier región en el mundo y estación del año.

En Perkins y Alexander 2013 se emplean y comparan tres métodos para la detección de olas de calor. Todos ellos se basan en establecer uno o varios puntos de corte a partir de los cuales, si se sobrepasan durante un determinado número de días, se considera que hay una ola de calor. Dos de estos métodos utilizan como punto de corte la temperatura máxima o mínima: si la temperatura máxima (mínima) supera durante un determinado número de días el percentil 90 local de temperatura máxima (mínima) de un periodo de control determinado (de treinta años), entonces se considera que hay un evento de ola de calor.

Sin embargo, en este trabajo estamos utilizando el 'Excess heat factor' *EHF*, una magnitud algo más complicada de calcular que las temperaturas máxima o mínima, pero que para el estudio de las olas de calor es más interesante. Esta magnitud consta de dos submagnitudes: un índice de exceso de calor de aclimatación ( $EHI_{accl}$ ) y un índice de exceso de calor de excedencia ( $EHI_{sig}$ ). El índice de exceso de calor de excedencia da cuenta de cuánto diverge la temperatura media en un periodo de tres días respecto al percentil 95 de la temperatura media de ese día, esto es:

$$EHI_{sig} = \frac{T_i + T_{i-1} + T_{i-2}}{3} - T_{95} \quad (1)$$

En cambio, el índice de exceso de calor de aclimatación da cuenta de la divergencia de la temperatura media en un periodo de tres días respecto al mes anterior, es decir:

$$EHI_{accl} = \frac{T_i + T_{i-1} + T_{i-2}}{3} - \frac{T_{i-3} + \dots + T_{i-32}}{30} \quad (2)$$

Finalmente, definimos la razón de exceso de calor como:

$$EHF = \max[1, EHI_{accl}] \cdot EHI_{sig} \quad (3)$$

<sup>2</sup>La Zona de Convergencia Intertropical es la región en la que los vientos alisios convergen y, en consecuencia, es uno de los cinturones con más precipitaciones del planeta. Este cinturón de convergencia se encuentra por encima del ecuador en el verano boreal, mientras que se encuentra debajo del ecuador en el verano austral (Wallace y Hobbs 2006).

En caso de que  $EHF$  sea mayor que cero durante tres días consecutivos, entonces se considera que ha habido una ola de calor. Vemos, además, que  $EHF$  es positivo solo si  $EHI_{sig}$  es positivo:  $EHI_{accl}$  solo aumentará la magnitud de  $EHF$  si se viene de un período más frío, pero no es la componente determinante de una ola de calor.

Una vez identificadas las olas de calor, se pueden utilizar diversas magnitudes para caracterizarlas, que son: el número de olas de calor  $HWN$ , la duración de la ola de calor más larga  $HWD$ , los días de olas de calor  $HWF$ , la intensidad de la ola de calor más intensa  $HWA$  y la intensidad media de las olas de calor  $HWM$ .

Para el estudio de olas de calor, proponemos utilizar el método que utiliza el  $EHF$  para su detección, pues no solo usa las temperaturas máxima o mínima, sino que utiliza la media de un periodo de días: es más representativo a que las temperaturas máximas o mínimas superen un determinado umbral (pues puede haber una gran amplitud térmica a lo largo del día). Del mismo modo, tiene en cuenta el período reciente del que se proviene, que puede acentuar la magnitud de la ola de calor. Finalmente, podría no solo valer para estudios climatológicos de olas de calor, sino que también es útil para el estudio de la mortalidad y salud humana asociada a estos eventos (Scalley y col. 2015).

## 2.2. Base de datos utilizada

Para realizar un estudio de las olas de calor en el continente americano, caracterizarlas y hallar sus tendencias, es necesario disponer de una base de datos que se extienda en un intervalo lo suficientemente grande de tiempo como para que los resultados que obtengamos sean fiables. Del mismo modo, tenemos el reto de analizar una extensión de territorio enorme, lo cual supone además disponer de una base de datos que cubra toda la extensión del territorio que nos interesa.

Para poder cumplir estos objetivos, hemos utilizado una base de datos de reanálisis, esto es, bases de datos que combinan observaciones pasadas con modelos para generar series temporales consistentes con múltiples variables climáticas. En particular, hemos utilizado la base de datos ERA5, que es el último reanálisis climático producido por la European Centre for Medium-

Range Weather Forecasts (ECMFW). Esta base de datos tiene una cobertura global del planeta y una cobertura temporal desde 1950 hasta el presente, con una resolución temporal de una hora. Además, la resolución espacial es de una resolución de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ , lo cual nos da muy buena resolución para la extensión del territorio estudiado.

En particular, nosotros hemos descargado y tratado tres magnitudes: la temperatura a 2 m sobre la superficie, las precipitaciones acumuladas y la temperatura superficial del océano. Los datos disponibles entre 1950 y 1978 los hemos descargado de la versión preliminar de datos de niveles únicos ERA5 entre 1950 y 1978 (Bell y col. 2020), mientras que los datos entre 1979 y el presente los hemos descargado de los datos de niveles únicos ERA5 entre 1979 y el presente (Hersbach y col. 2018). De ese modo, disponemos de los valores horarios de la temperatura a 2 m sobre el suelo, precipitaciones y temperatura superficial del océano en toda América desde 1951 hasta 2020, esto es, disponemos de 70 años de datos.

## 2.3. Regiones de estudio

Dada la gran extensión de norte a sur de América, que se extiende desde las regiones cercanas al Polo de Canadá hasta el sur de la Patagonia, hemos visto útil analizar distintas regiones de este territorio por separado. En concreto, el criterio de separación que hemos utilizado ha sido mediante la latitud que ocupa cada territorio, de modo que podemos separar las latitudes tropicales, las latitudes medias y las latitudes altas. Así, hemos separado el continente americano en cuatro regiones:

- Norte de Sudamérica: Corresponde a las latitudes tropicales de América. Se extiende desde el norte de Guatemala hasta el sur del Perú, abarcando desde los  $20^\circ$  N hasta los  $20^\circ$  S aproximadamente. Incluye toda América Central y el norte de Sudamérica.
- Sur de Sudamérica: Corresponde al resto del territorio sudamericano, situado en latitudes medias, que llega hasta el sur de la Patagonia.
- Sur de Norteamérica: Corresponde a lati-

tudes medias del hemisferio norte. En particular, aquí se encuentran Estados Unidos (sin incluir Alaska), México y las islas del Caribe.

- Norte de Norteamérica: Corresponde a las latitudes altas de América. Aquí se encuentran Canadá y Alaska. Aunque también se encuentre Groenlandia, no la hemos estudiado en este trabajo.

## 2.4. Metodología

Para realizar el estudio de olas de calor en América, hemos desarrollado un código en Python que nos permite detectarlas. Para ello, hemos utilizado los datos horarios de temperatura a 2 m sobre la superficie. Primero, hemos calculado la temperatura media climatológica<sup>3</sup> de cada día del año en el período 1981-2010 (este periodo se escogió para notar los cambios en las olas de calor en la década de 2010). Esta media se ha calculado cogiendo una ventana de quince días centrada en el día en cuestión. Una vez obtenidas estas medias diarias, hemos calculado el *EHF* para cada día del año durante los 70 años de datos disponibles que tenemos. Una vez obtenido esto, hemos descartado falsos positivos de olas de calor asegurándonos de que se cumplía el criterio de tener *EHF* positivos durante, al menos, tres días. Hemos obtenido las magnitudes *HWN*, *HWD*, *HWF*, *HWA* y *HWM* anuales y estacionales de cada año y las hemos guardado. Con ellas, hemos podido hallar las medias climatológicas en el período 1951-2020 y las tendencias de cada magnitud en cada región. Para poder relacionar las olas de calor con otras magnitudes, hemos calculado las medias anuales y estacionales de la temperatura a 2 metros sobre el suelo y la temperatura superficial del océano para cada año en el período 1951-2020, y también hemos calculado las precipitaciones acumuladas anuales y estacionales para cada año. Además, hemos calculado la media climatológica en el período 1981-2010 de la temperatura a 2 m sobre el suelo, la temperatura superficial del océano y las

precipitaciones acumuladas, así como las tendencias de cada magnitud. Finalmente, todas las magnitudes que hemos calculado las hemos representado en mapas de cara a ver la distribución territorial de cada una e intentar discernir las relaciones que pueden existir entre distintas magnitudes.

## 3. Resultados

### 3.1. Valores climatológicos

#### 3.1.1. Número de olas de calor

Atendiendo a la figura 1, que corresponde al norte de Sudamérica, podemos ver las medias climatológicas de olas de calor que ocurren a lo largo del año o de cada estación. La figura 1a representa la media anual de olas de calor, y podemos ver que, en general, de media hay más de una ola de calor al año en la mayor parte del territorio. Los valores más altos los encontramos al oeste del centro de Brasil y el norte de Colombia, con valores de hasta cuatro olas de calor anuales de media. También se encuentran valores relativamente altos en la mayor parte de Sudamérica, América Central y el Caribe, de alrededor de dos olas de calor anuales de media. Las zonas con menos incidencia de olas de calor son la costa y partes de la sierra y selva peruanas, con valores de menos de 0,5 olas de calor de media.

Si centramos nuestra atención a la media de olas de calor por estación (figura 1b), vemos que, en general, las olas de calor se concentran en el período JJA (Junio-Julio-Agosto) y SON (Septiembre-October-Noviembre) en todo el territorio, siguiendo el mismo patrón que la figura 1a. Sin embargo, se puede apreciar que en SON la incidencia de olas de calor sube hasta la zona de las Guyanas. También se puede apreciar que el este de Colombia, Venezuela y parte de las Guyanas son afectadas por olas de calor en los periodos DJF (Diciembre-Enero-Febrero) y MAM (Marzo-Abril-Mayo).

<sup>3</sup>Una media realizada en un período de 30 años.

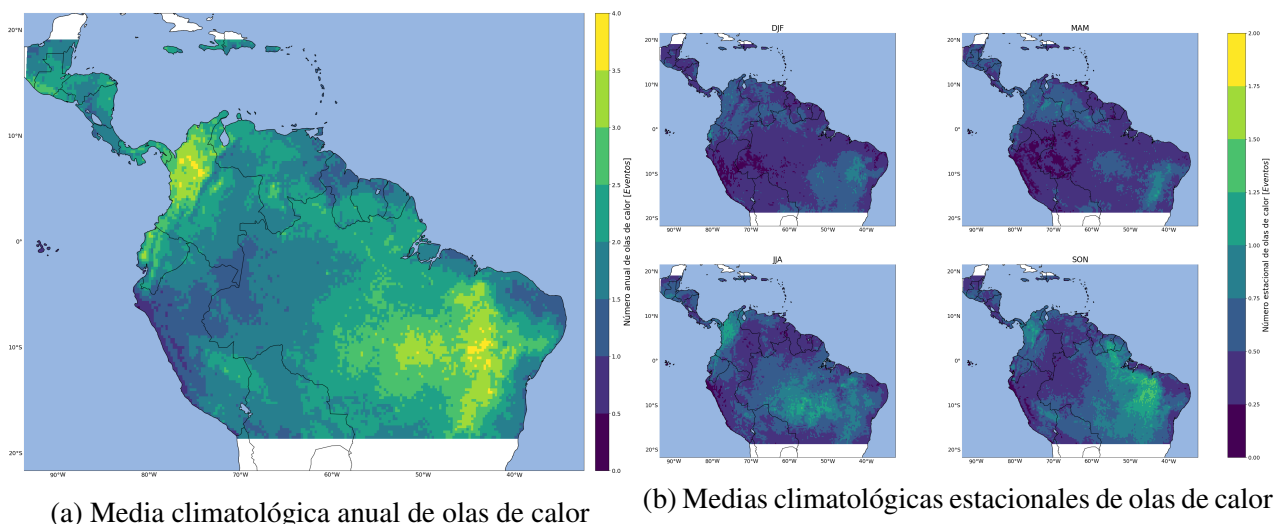


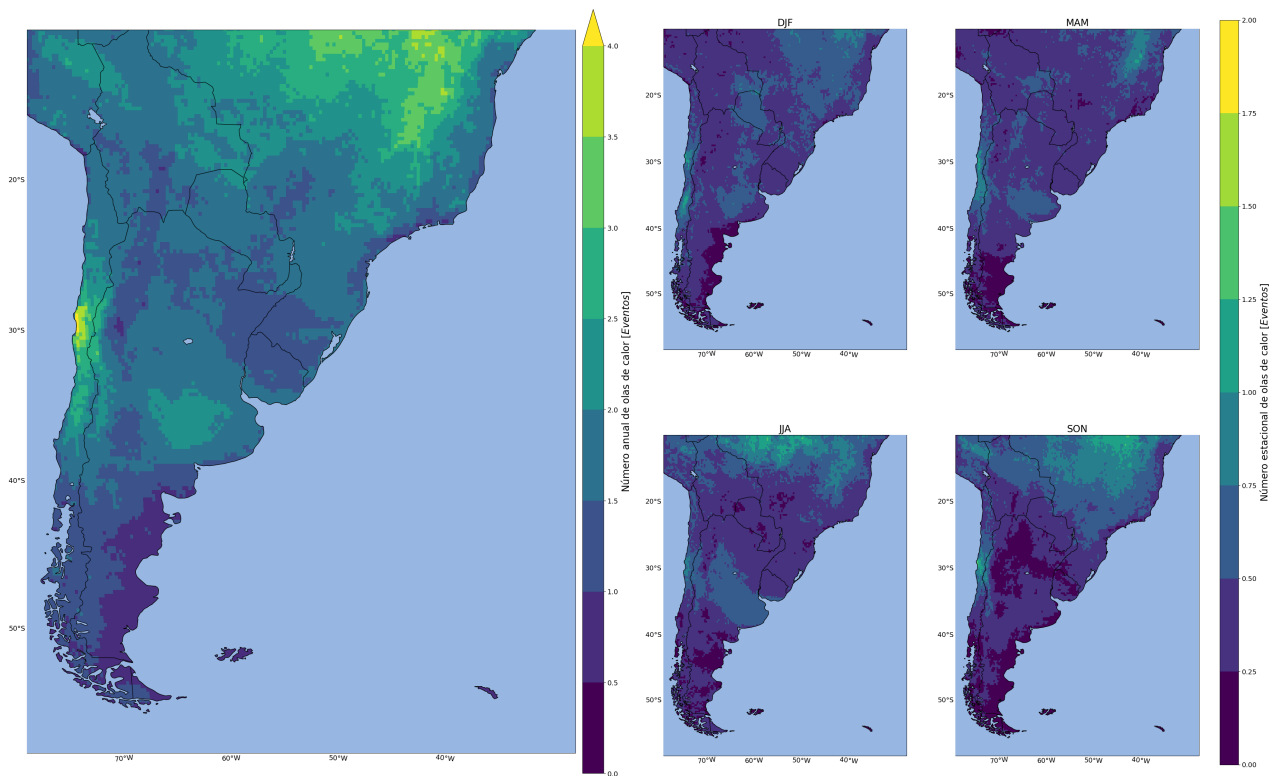
Figura 1: Medias climatológicas anual y estacionales de olas de calor en el norte de Sudamérica

La figura 2, que corresponde al sur de Sudamérica, representa las medias climatológicas de olas de calor que ocurren a lo largo del año o de cada estación. La figura 2a representa la media anual de olas de calor, y podemos ver que, en general, de media hay más de una ola de calor al año en la mayor parte del territorio, sobre todo entre 2 y 2,5. Las zonas en las que hay valores más altos son el centro-sur de Brasil (que va descendiendo a medida que vamos hacia el sur), zona del centro-norte de Chile. En cambio, las regiones con menos olas de calor son la Patagonia chilena y argentina, en especial el este de la Patagonia argentina. Destacan también el este de los Andes en Bolivia y norte de Argentina, así como en la mayor parte de Uruguay y sur de Brasil.

Si centramos nuestra atención a la media de olas

de calor por estación (figura 2b), vemos que, en general, la distribución es similar a la anual, aunque cada período tiene sus particularidades. En el período DJF (verano austral) tiene pocas olas de calor en general, siendo las zonas más afectadas en centro-sur de Brasil, Paraguay, centro de Argentina y Chile central. En el período MAM (otoño austral) hay aún menos zonas afectadas, destacando el centro de Argentina y de Chile. En el período JJA (invierno austral), los valores se vuelven más altos, con olas de calor que cubren gran parte del centro de Argentina y que se extienden hacia el oeste hasta el centro-norte de Chile, con unos valores más bajos en el este de los Andes argentinos. Finalmente, el período SON (primavera austral) posee valores altos para el centro-sur de Brasil, así como el centro-norte de Chile.





(a) Media climatológica anual de olas de calor (b) Medias climatológicas estacionales de olas de calor

Figura 2: Medias climatológicas anual y estacionales de olas de calor en el sur de Sudamérica

Atendiendo a la figura 3, que corresponde al sur de Norteamérica, podemos ver las medias climatológicas de olas de calor que ocurren a lo largo del año o de cada estación. La figura 3a representa la media anual de olas de calor, y podemos ver que, en general, de media hay poco más de una ola de calor al año en la mayor parte del territorio, sobre todo entre 1 y 2. En el norte encontramos valores más bajos, de alrededor de una ola de calor al año (exceptuando la región al noroeste), aunque en Estados Unidos estos valores llegan hasta el sur en el centro y en la costa este. Del mismo modo, también vemos estos valores bajos en el sur de México. Los valores más altos los podemos ver en una pequeña región al noroeste de México, con valores en torno a tres olas de calor al año. También encontramos valores relativamente altos en la costa de California. En el resto del territorio tenemos valores intermedios de unos 1,5 eventos al año.

Si centramos nuestra atención a la media de olas de calor por estación (figura 3b), vemos que, en general, la distribución es similar a la anual, aunque cada período tiene sus particularidades. En el período DJF (invierno boreal) los valores más altos los encontramos en el noroeste de México y en California, mientras que los más bajos en centro de Estados Unidos, desde Texas hasta el Medio oeste. En el período MAM (primavera boreal) los valores son muy similares en todas las regiones, con pocas olas de calor. En el período JJA (verano boreal) es cuando más olas de calor se detectan, sobre todo en la frontera entre Texas y México. En el norte y este de México, California, y el centro y medio oeste de los Estados Unidos hay valores intermedios de eventos. Finalmente, en el período SON (otoño boreal), los valores más altos los volvemos a encontrar en el noroeste de México, y encontramos valores relativamente intermedios en California, costa de Oregón, y al oeste de los Montes Apalaches.

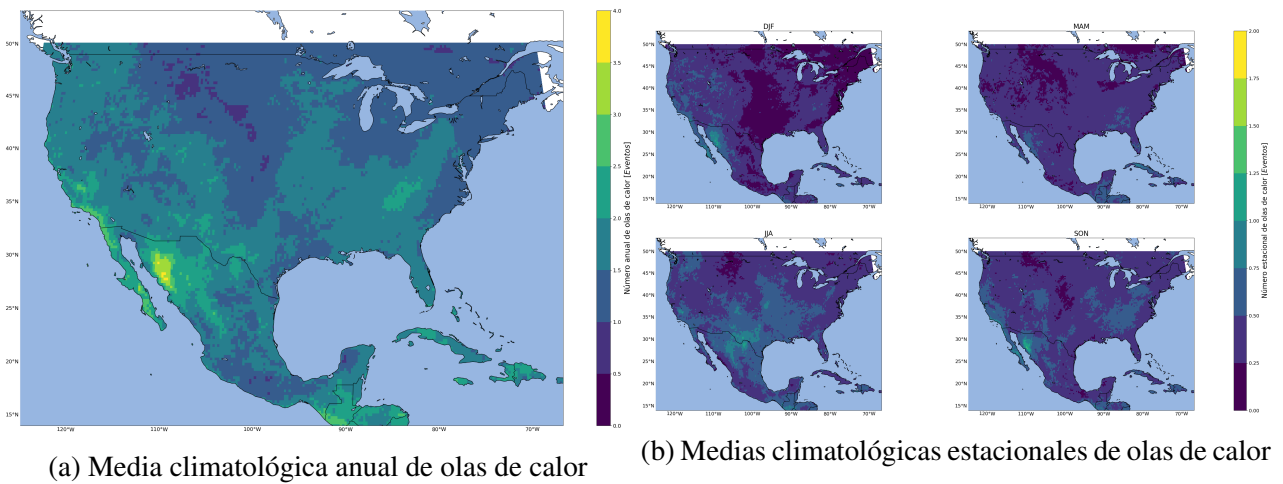


Figura 3: Medias climatológicas anual y estacionales de olas de calor en el sur de Norteamérica

La figura 4, que corresponde al norte de Norteamérica, representa las medias climatológicas de olas de calor que ocurren a lo largo del año o de cada estación. La figura 4a representa la media anual de olas de calor, y podemos ver que, en general, de media hay poco más de una ola de calor al año en la mayor parte del territorio, sobre todo entre 1 y 2. Las regiones con más olas de calor a lo largo del año son el noreste de Canadá y el centro de Alaska. Del mismo modo, hallamos valores intermedios en el resto de Alaska y en todo el oeste y norte de Canadá. Así, las zonas menos afectadas son el centro, sur y este de Canadá.

Si centramos nuestra atención a la media de olas de calor por estación (figura 4b), vemos que, en general, la distribución es similar a la anual, aun-

que cada período tiene sus particularidades. En el período DJF (invierno boreal) los valores intermedios los encontramos en el noroeste de Canadá y en el norte de Alaska, mientras que la práctica totalidad de la región tiene valores relativamente bajos. En el período MAM (primavera boreal) esta distribución sigue igual, aunque las regiones con valores intermedios han disminuido en territorio. En el período JJA (verano boreal), vemos valores intermedios en la práctica totalidad de Alaska, así como en el oeste y noreste de Canadá. Finalmente, el período SON (otoño boreal) es el que tiene los valores más altos, con valores intermedios en Alaska y gran parte del oeste de Canadá, así como pequeñas regiones en el centro de este país.

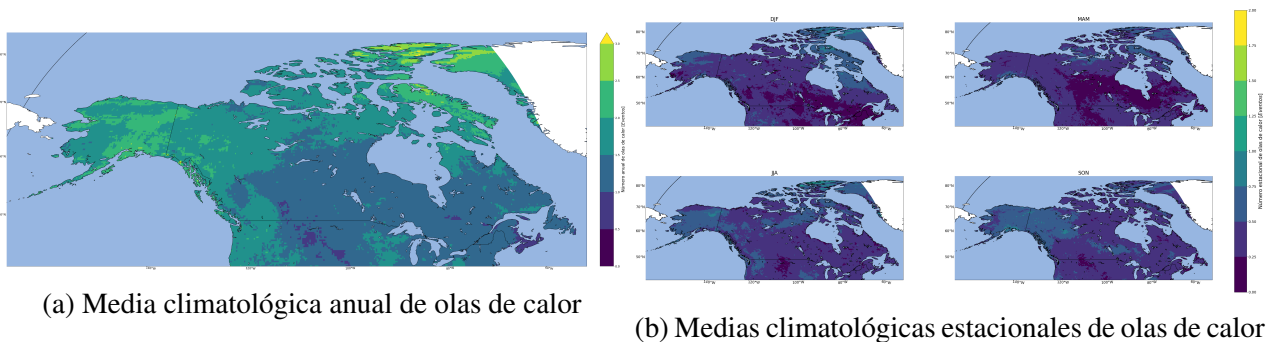


Figura 4: Medias climatológicas anual y estacionales de olas de calor en el norte de Norteamérica

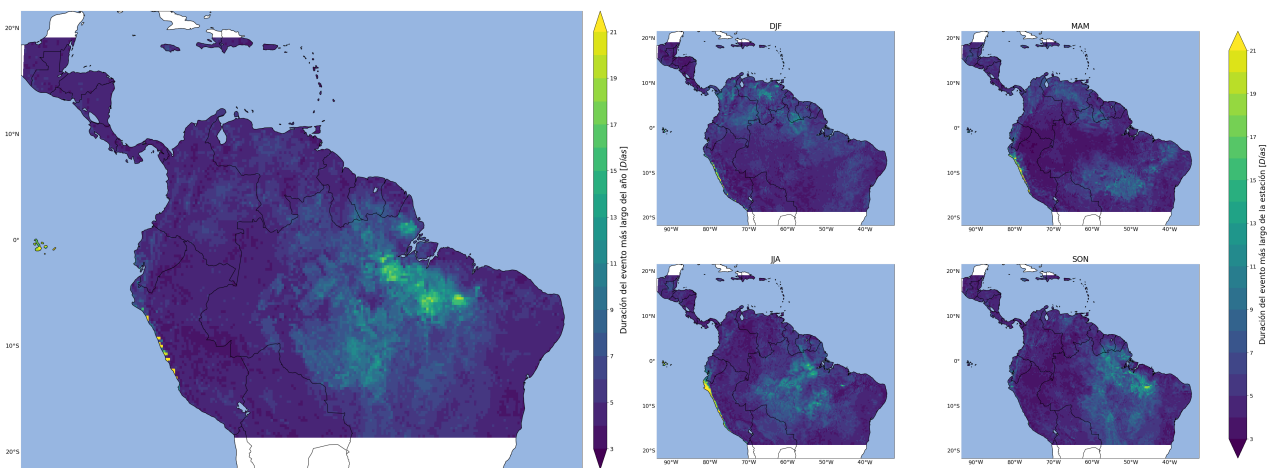
En general, se puede comprobar que el número de olas de calor disminuye a medida que nos alejamos del ecuador, pero no hay una diferencia muy marcada. Del mismo modo, las cordilleras tienen un efecto notable en el número de olas de calor

(sin importar la latitud a la que se encuentren).

### 3.1.2. Duración del evento más largo

En la figura 5, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las medias climatológicas de las olas de calor más largas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 5a, podemos apreciar la distribución de la media de la duración del evento más largo del año: en general, en casi toda esta zona la duración suele ser muy corta (menos de seis días de duración), aunque hay zonas con eventos de gran duración. Por ejemplo, en la zona central de Brasil podemos apreciar que los eventos de olas de calor duran más, con una duración de unos nueve días en las zonas menos afectadas, hasta llegar a zonas de más de 19 días de duración cerca de la cuenca del Amazonas. Del mismo modo, tanto en las islas Galápagos como en algunas zonas de la costa norte y central del Perú, los eventos de mayor duración superan los 21 días de duración.

Respecto a la figura 5b, vemos representadas las duraciones medias del evento más largo de cada estación. Por ejemplo, en el período DJF solo en la costa central del Perú se superan los veinte días, mientras que en Colombia, Venezuela y parte de las Guyanas la duración máxima de las olas de calor ronda los 13 días. El período MAM tiene una distribución similar, con mayor extensión de días máximos de olas de calor hacia de la costa norte de Perú, y con valores intermedios en el centro de Brasil y en Venezuela y parte de las Guyanas. En el período JJA, la duración máxima de más de veinte días se extiende en casi toda la costa del Perú y en las islas Galápagos, así como en centro-norte de Brasil y parte de las Guyanas. Finalmente, en el período SON, las zonas con valores intermedios son el centro-norte de Brasil, donde se alcanzan zonas con unos 19 días de duración máxima de olas de calor.



(a) Media climatológica de las duración del evento más largo del año

(b) Medias climatológicas de las duraciones de los eventos más largos de las estaciones

Figura 5: Medias climatológicas de las duraciones de los eventos más largos del año y de la estaciones en el norte de Sudamérica

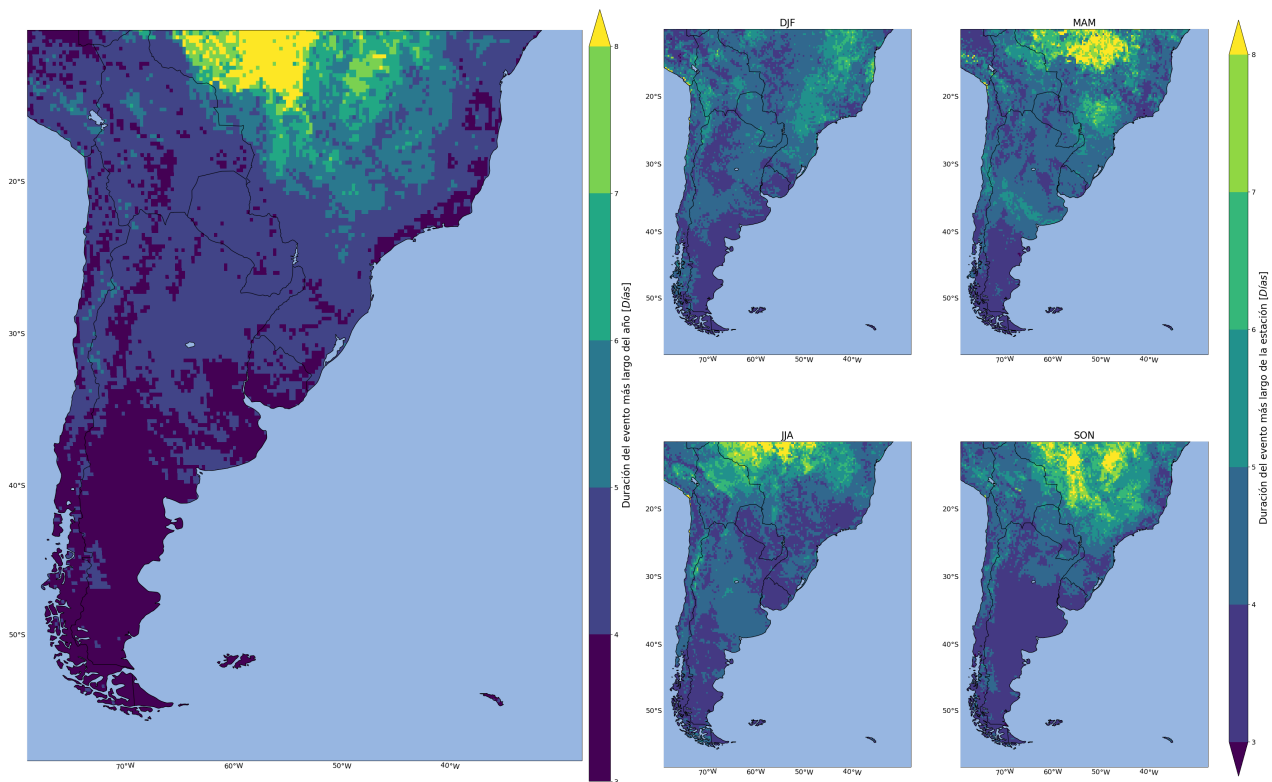
La figura 6, que corresponde al sur de Sudamérica, representa las medias climatológicas de las olas de calor más largas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 6a, podemos apreciar la distribución de la media de la duración del evento más largo del año: en general, podemos apreciar que la duración del evento más largo va disminuyendo a medida que nos desplazamos hacia el sur. Los valores más altos se dan en el centro-sur de Brasil (como habíamos visto en el apartado anterior), y van descendiendo a media

que bajamos hacia el sur. Para casi todo el territorio, las olas de calor más largas constan de cuatro días de duración. Donde menos duran es en la Patagonia y en zonas de los Andes de Argentina y de Bolivia, con solo tres días de duración.

Respecto a la figura 6b, vemos representadas las duraciones medias del evento más largo de cada estación. En el período DJF, vemos que la gran parte del territorio tiene olas de calor cuya duración máxima es de unos cinco días, salvo zonas

de los Andes de Argentina y la Patagonia, así como en Uruguay. Del mismo modo, vemos en el centro-sur de Brasil que tenemos valores un poco más altos de días. En el período MAM, esta distribución es parecida, con la diferencia de que los valores han aumentado en el centro-sur de Brasil, Uruguay, Paraguay y en una pequeña región del centro de Argentina. En el período JJA, las úni-

cas diferencias es que han disminuido los valores en el sur de Brasil, Uruguay y Paraguay y que los valores intermedios ocupan casi toda la parte superior de Argentina. Finalmente, en el período SON vemos que disminuyen los valores en la mayor parte de Argentina, y que en el centro-sur de Brasil han aumentado los días .



(a) Media climatológica de las duraciones de los eventos más largos del año

(b) Medias climatológicas de las duraciones de los eventos más largos de las estaciones

Figura 6: Medias climatológicas de las duraciones de los eventos más largos del año y de las estaciones en el sur de Sudamérica

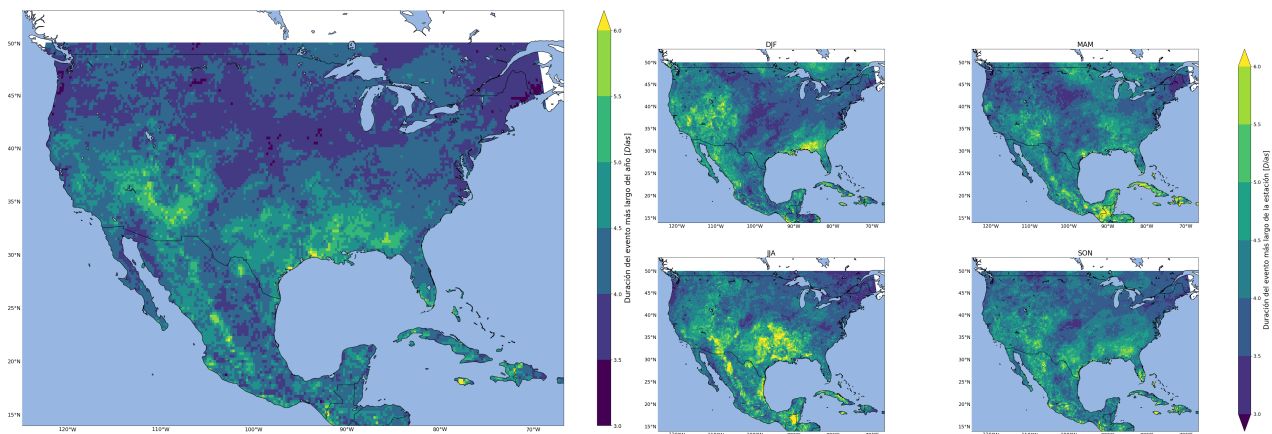
En la figura 7, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las medias climatológicas de las olas de calor más largas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 7a, podemos apreciar la distribución de la media de la duración del evento más largo del año: en general, podemos apreciar que la duración del evento más largo en Estados Unidos alcanza los valores más altos en las costas del Golfo de México y en el suroeste. Del mismo modo, el oeste de México también alcanza valores altos. Las zonas con menos duración del evento más largo se encuentran en el norte de la costa oeste de Estados Unidos, el Medio oeste y el norte de la costa este. El resto

del territorio tiene valores intermedios.

Respecto a la figura 7b, están representadas las duraciones medias del evento más largo de cada estación. En el período DJF, los valores más altos se alcanzan en Estados Unidos en la costa del Golfo de México y al oeste, sobre todo en zonas del interior (en la Cordillera Norteamericana). Del mismo modo, en el oeste de México también se registran valores relativamente altos, así como en islas del Caribe. En el período MAM, los valores más altos se ven a lo largo de la Cordillera Norteamericana en el sur de Estados Unidos y a lo largo de México y en las islas del Caribe, además de tener valores intermedios alrededor de

estas zonas. También se detectan valores intermedios en la costa del Golfo de México y al sur de la costa este, así como en el Medio oeste, alrededor de los Grandes Lagos. En el período JJA es cuando más duración tienen las olas de calor, en las que podemos ver que los valores más altos se dan en el sur de Estados Unidos (en torno al Golfo de México y en la Cordillera Norteamericana),

en la cordillera de México y en Cuba, teniendo valores intermedios a los alrededores. Del mismo modo, estos valores intermedios también los encontramos en el oeste de Estados Unidos y en la Península de Florida, estando los valores más bajos al noreste. Finalmente, en el período SON tenemos una distribución parecida a la de JJA, pero con valores más intermedios



(a) Media climatológica de las duración del evento más largo del año

(b) Duración del evento más largo de la estación

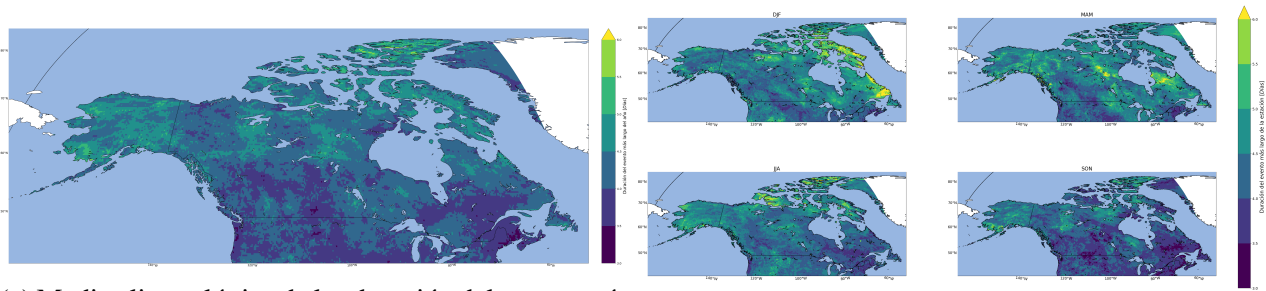
Figura 7: Duración del evento más largo del año y de las estaciones en el sur de Norteamérica

La figura 8, que corresponde al norte de Norteamérica, representa las medias climatológicas de las olas de calor más largas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 8a, podemos apreciar la distribución de la media de la duración del evento más largo del año: en general, podemos apreciar que la duración del evento más largo se concentra en Alaska y en el noreste de Canadá, mientras que en la práctica totalidad de Canadá tenemos valores intermedios, salvo en algunas zonas, como el sureste, en el que hay valores muy bajos.

Respecto a la figura 8b, representa las duraciones medias del evento más largo de cada estación, en los que hay notables diferencias. En el período

DJF, los valores más altos se alcanzan en el este y parte del noreste de Canadá, mientras que en el resto del territorio tenemos valores intermedios. En el período MAM, los valores más altos los encontramos en el este, centro de Canadá, así como regiones al sur de Alaska. Del mismo modo, el resto del territorio posee valores intermedios, salvo el sur de Canadá (a lo largo de la Cordillera Norteamericana). En el período JJA, los valores altos se han desplazado hacia el norte de Canadá, mientras que en el resto del territorio tenemos valores intermedios, salvo en el este de Canadá. Finalmente, en el período SON tenemos valores intermedios en el norte, oeste y una región en sur de Canadá y en Alaska, mientras que en el resto del territorio tenemos valores bajos.





(a) Media climatológica de las duración del evento más largo del año

(b) Medias climatológicas de las duraciones de los eventos más largos de las estaciones

Figura 8: Medias climatológicas de las duraciones de los eventos más largos del año y de la estación en el norte de Norteamérica

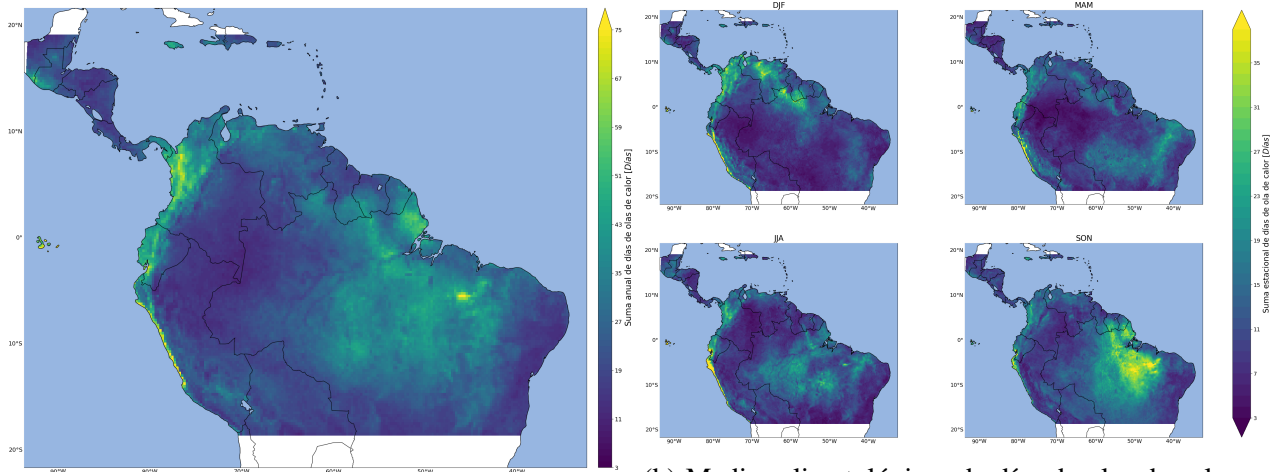
Se puede comprobar que las zonas con olas de calor más largas se encuentran en la zona tropical, mientras que la duración va disminuyendo a medida que nos acercamos a los polos. Sin embargo, hay zonas en el trópico que tienen pocos días de duración.

### 3.1.3. Días de olas de calor

En la figura 9, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación. Si atendemos a la figura 9a, podemos apreciar la distribución de la media de días de olas de calor anual: en general, hay una diferencia muy grande en la media de la suma anual de días de calor en varias zonas de esta región. Los valores más altos (de unos 75 días totales de olas de calor) se alcanzan en la costa central y norte de Perú, las Islas Galápagos, parte de la cordillera de Ecuador, la costa y cordillera central de Colombia y una pequeña región al este de Brasil. En cuanto a valores intermedios (entre unos 35 y 50 días de duración), los encontramos en la mayor parte de Brasil central, el sur de las Guyanas, cordillera de Venezuela, parte de la costa de Colombia, costa de Ecuador, sur de Panamá, Jamaica, el sur de Guatemala y los Andes del sur de Perú y de Bolivia. El resto del territorio tiene pocos días totales

de olas de calor, con menos de treinta días.

Respecto a la figura 9b, está representada la media de los días de olas de calor en cada estación. En el período DJF, los valores más altos se dan a lo largo de la costa y cordillera occidental del Perú, recorriendo la Cordillera de los Andes. Del mismo modo, se dan valores intermedios-altos para la zona al oeste de los Andes en Ecuador y Colombia, así como en las Islas Galápagos. En el norte-centro de Venezuela también se dan valores altos, así como en la frontera de Brasil con las Guyanas. El período MAM sigue este patrón, pero con la diferencia de tener unos valores más bajos. Además, podemos notar que en zonas del centro-este de Brasil hay valores intermedios de días de olas de calor. En el período JJA, las regiones al oeste de los Andes peruanos, ecuatorianos y colombianos tienen valores intermedios-altos (sobre todo el norte del Perú). Del mismo modo, en la zona de Guatemala también notamos estos valores intermedios. Los valores intermedios en el centro-este de Brasil se han expandido y ocupan más territorio en esta estación. Finalmente, el período SON sigue esta misma distribución, con la diferencia de que en el centro-este de Brasil (en las zonas alrededor del delta del Amazonas, entendiéndose al norte y al sur) se alcanzan valores altos de días de olas de calor.



(a) Media climatológica de días de olas de calor al año

(b) Medias climatológicas de días de olas de calor en cada estación

Figura 9: Medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación en el norte de Sudamérica

La figura 10, que corresponde al sur de Sudamérica, representa las medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación. Si atendemos a la figura 10a, podemos apreciar la distribución de la media de los días de olas de calor anual: en general, vemos que a medida que nos desplazamos hacia el sur, el número de días de olas de calor disminuye. Los valores más altos los tenemos en el centro-sur de Brasil y Bolivia, con valores de unos 30 días al año, que disminuyen a medida que vamos hacia el sur. Otro punto de varios días de olas de calor es el centro de Chile, con unos valores similares. Del mismo modo, desde el centro-sur de Chile hasta el norte hay valores intermedios de días de olas de calor (unos 20 días). Las zonas con menos días de olas de calor son el este de la Patagonia Argentina y el este de los Andes de Bolivia y Argentina.

Respecto a la figura 10b, representa la media de los días de olas de calor en cada estación. En el período DJF, los valores más altos de días de olas de calor los encontramos en la costa del centro-sur de Brasil, así como en puntos de la costa del norte de Chile. En casi todo el territorio predominan los valores intermedios, sobre todo en el centro-este de Argentina y gran parte de Chile. El sur de Bolivia tiene valores relativamente altos. En el período MAM, los valores altos se desplazan al centro-sur de Brasil y el sureste de Bolivia, mientras que en el resto del territorio decrecen. En el período JJA esta distribución se mantiene casi intacta, con la diferencia de que los valores en general decrecen. Finalmente, en el período SON aumentan los días de olas de calor en el centro-sur de Brasil, así como en el centro de Chile. Sin embargo, decrecen un poco los valores en el centro-este de Argentina.

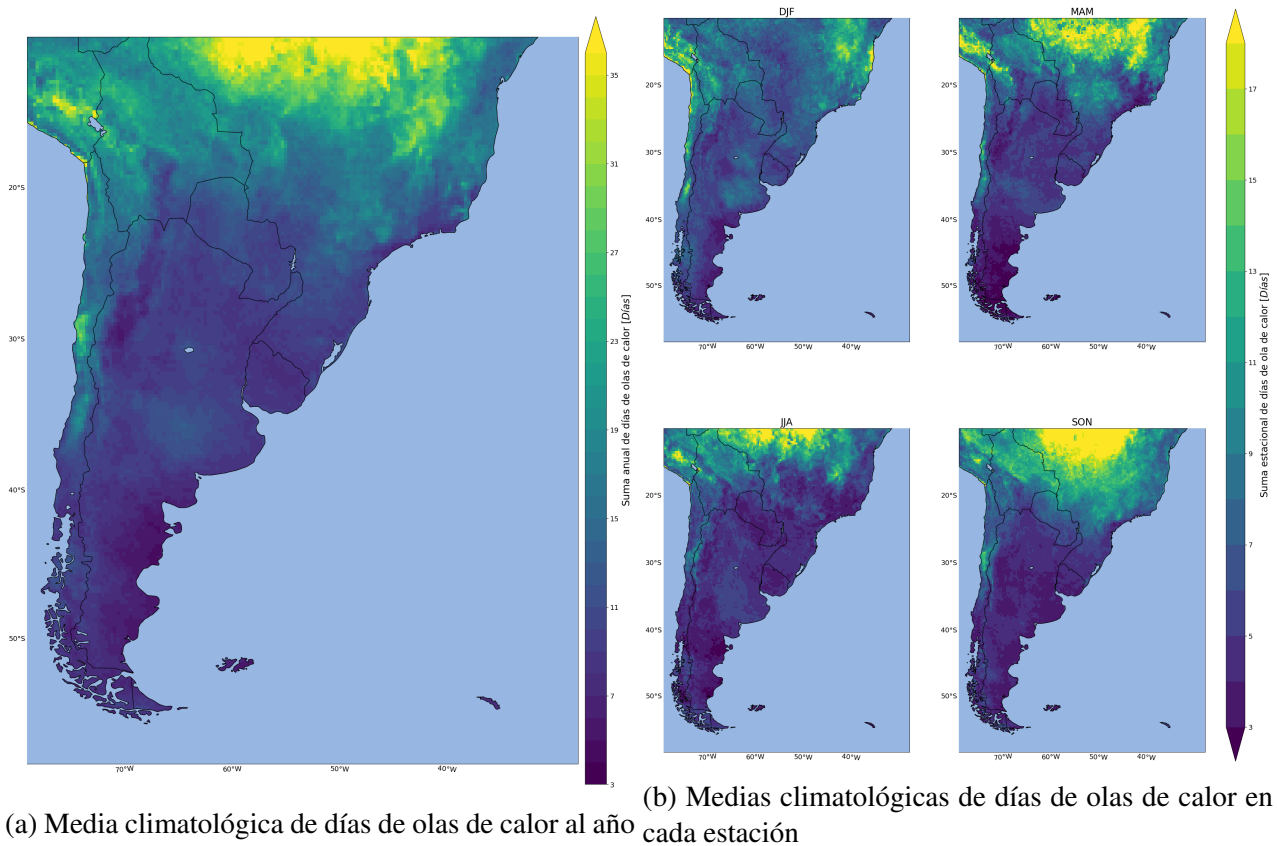


Figura 10: Medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación en el sur de Sudamérica

En la figura 11, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación. Si atendemos a la figura 11a, podemos apreciar la distribución de la media de días de olas de calor anual: en general, vemos que a medida que nos desplazamos hacia el norte, el número de días de olas de calor disminuye. Los valores más altos los tenemos en el sur de México y en algunos puntos de su cordillera en el noroeste, con hasta 27 días de olas de calor anuales. En el resto de México y hasta los 42° N en Estados Unidos tenemos valores intermedios, con algunos valores más altos en el oeste. Además, vemos que en el oeste los valores tienden a ser más altos que en el este.

Respecto a la figura 11b, está representada la media de los días de olas de calor en cada estación. En el período DJF, los valores altos los tenemos

en el oeste de Estados Unidos y de México, siguiendo la Cordillera Norteamericana (al este de esta cordillera tenemos un mínimo de días), así como en islas del Caribe (que concentran días de olas de calor a lo largo de todas las estaciones). En el período MAM, las zonas que concentran días de olas de calor son el sur de Estados Unidos y la cordillera de México, aunque con valores intermedios. En el período JJA, los valores más altos los encontramos alrededor del oeste del Golfo de México, llegando en Estados Unidos hasta parte del interior, así como en la cordillera y en el sur de México. Además, hay una zona con valores altos en el norte de California. Los valores intermedios abarcan gran parte del oeste de los Estados Unidos. Finalmente, en el período SON, vemos valores intermedios en la Península de Florida y en el oeste de Estados Unidos, así como el noroeste de México.



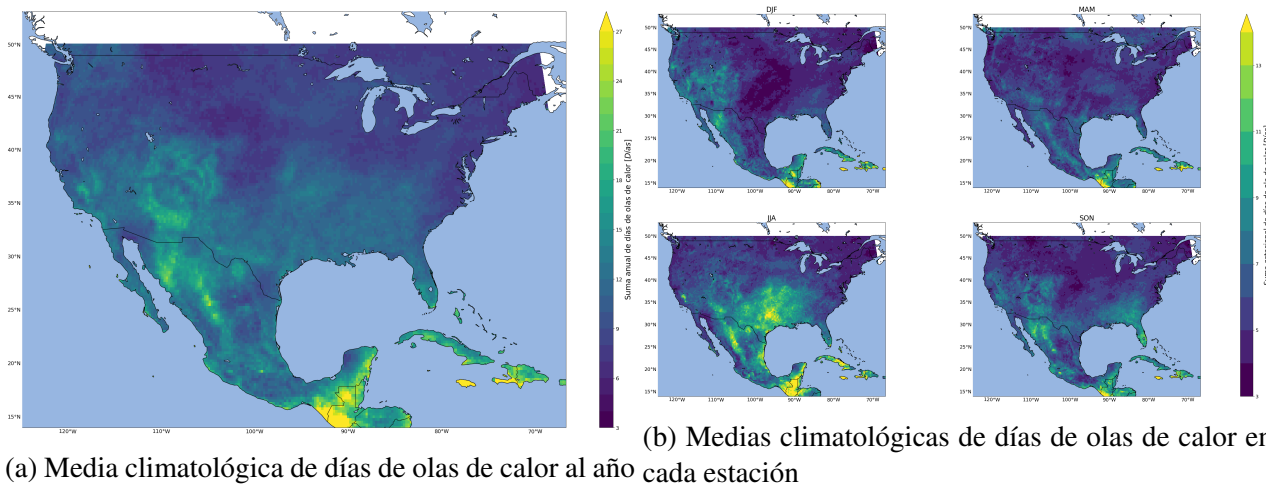


Figura 11: Medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación en el sur de Norteamérica

La figura 12, que corresponde al norte de Norteamérica, representa las medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación. Si atendemos a la figura 12a, podemos apreciar la distribución de la media de días de olas de calor anual: las zonas con valores más altos se encuentran en Alaska (sobre todo el sur) y el oeste, noreste y parte de la costa este de Canadá (en torno a veinte días de olas de calor al año). El resto del territorio tiene valores más bajos, de en torno a ocho días de olas de calor.

Respecto a la figura 12b, representa la media de los días de olas de calor en cada estación. En el período DJF, los valores altos los tenemos en el

este de Canadá, y tenemos valores intermedios en el sur de Alaska y en la costa oeste, norte y noreste de Canadá. En el período MAM, tenemos valores altos en la costa oeste de Canadá, y tenemos valores intermedios en los alrededores, sur de Alaska y noroeste y parte del centro de Canadá. En JJA, los valores altos se localizan en el noreste de Canadá, y tenemos valores intermedios en los alrededores de esa zona, en Alaska y en el oeste de Canadá. Finalmente, en el período SON los valores altos se localizan en el sur de Alaska, y tenemos valores intermedios en casi toda esa región, así como en el oeste y parte del centro de Canadá.

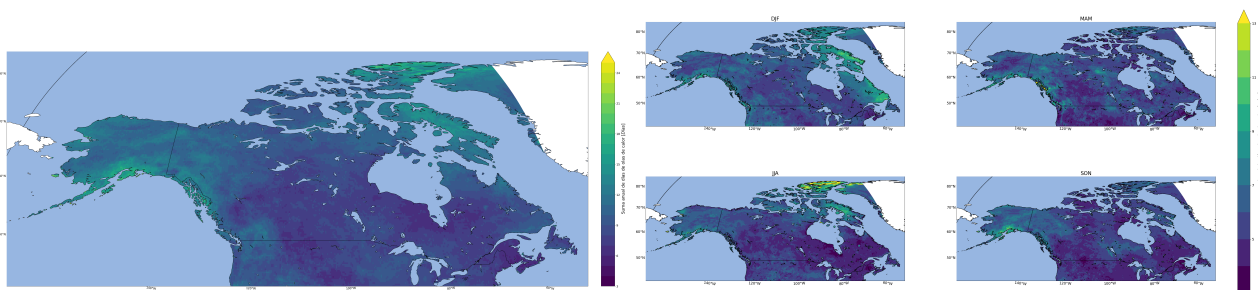


Figura 12: Medias climatológicas de días de olas de calor al año y en cada estación en el norte de Norteamérica

Se puede comprobar que las zonas con más días de olas de calor se hallan en la zona tropical, mientras que la duración va disminuyendo a medida que nos acercamos a los polos de manera

bastante notable. Del mismo modo, también se puede observar que las cordilleras tienen efecto en el número de días de olas de calor.

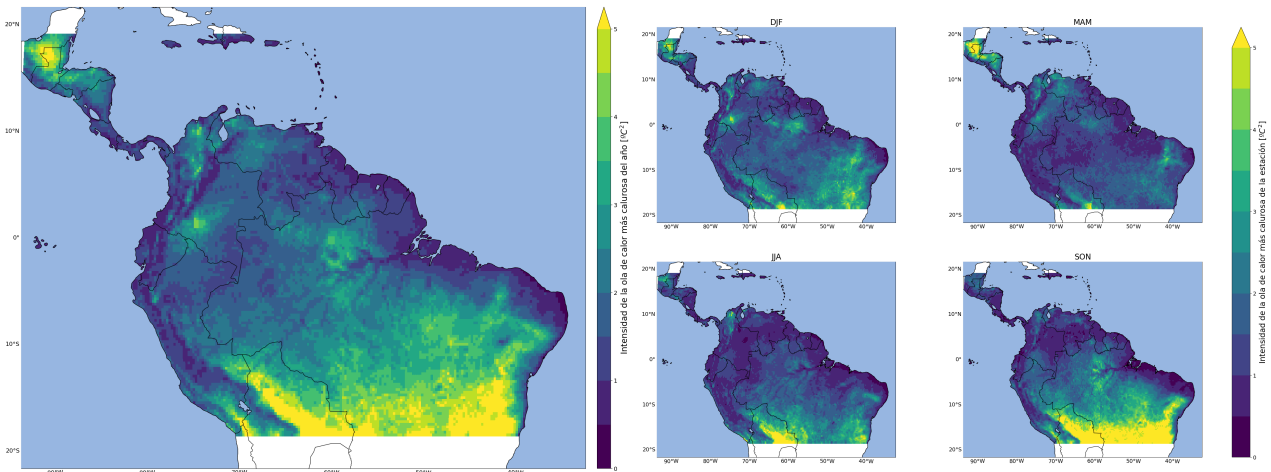
### 3.1.4. Intensidad de las olas de calor

En la figura 13, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 13a, podemos apreciar la distribución de la media de la intensidad del evento más caluroso del año: las zonas con valores más altos se dan en el centro-sur de Brasil y al este de los Andes de Bolivia. Del mismo modo, también se ven valores muy altos al norte de Guatemala (en la frontera norte con México). Respecto a valores intermedios de intensidad, gran parte se da en la mayor parte del resto de Brasil (salvo en las costas, delta del Amazonas y el tramo final del Amazonas y algunos de sus afluentes), el interior de las Guyanas, el sur y la costa y región Andina de Venezuela, y las regiones al este de los Andes de Colombia, Ecuador y Perú. Del mismo modo, también se ven valores intermedios al sur de Guatemala, El Salvador, Honduras y norte de Nicaragua. Del mismo modo, se ven valores muy bajos para el este de los Andes bolivianos, peruanos, ecuatorianos y colombianos.

Respecto a la figura 13b, está representada la me-

dia de la intensidad del evento más caluroso de cada estación. En general, a lo largo de todas las estaciones se sigue la distribución que hemos mencionado para la intensidad del evento más caluroso del año, pero los valores oscilan dependiendo de la estación. En el período DJF, lo que predominan son valores intermedios a lo largo de todo el territorio estudiado, con pocos puntos con valores altos. En cambio, en el período MAM se dan valores muy altos e intermedios en el norte de América Central (Guatemala, El Salvador, Honduras y norte de Nicaragua), mientras que los valores en el resto del territorio han descendido (sobre todo en el centro-sur de Brasil y este de Bolivia). En el período JJA, esa situación se invierte, con los valores descendiendo en América central y subiendo en la mayor parte de Brasil, y sobre todo en regiones del este de Bolivia. Finalmente, en el período SON, se sigue este mismo patrón que en JJA, pero con valores más intensos.

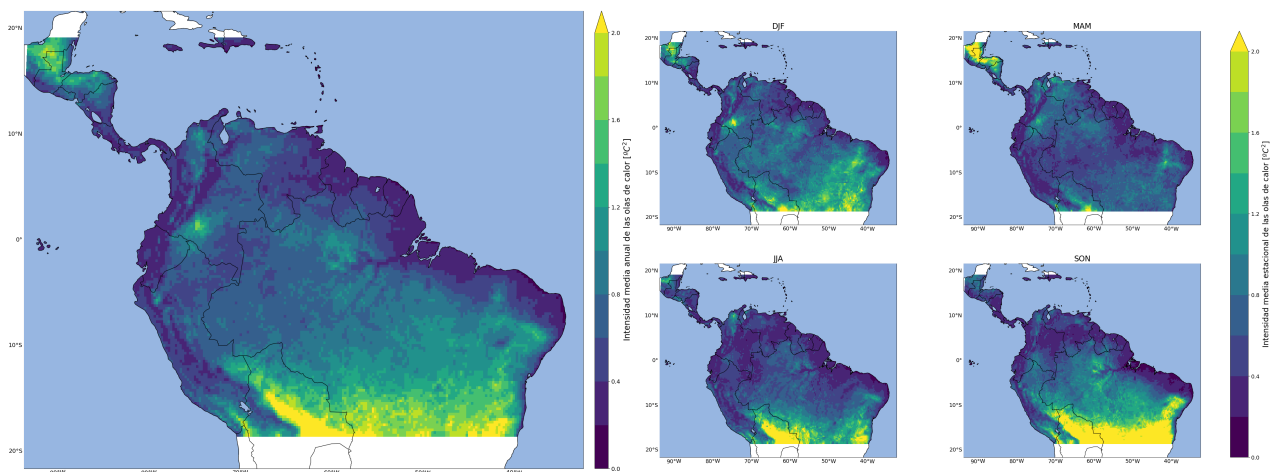
En la figura 14 están representadas las medias climatológicas de las intensidades medias anuales y estacionales de las olas de calor. La distribución, tanto anual como estacional, es la misma que en los casos anteriores, con la diferencia de que los valores no son tan intensos.



(a) Media climatológica de la intensidad de la ola de calor más intensa del año

(b) Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 13: Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el norte de Sudamérica



(a) Media climatológica de la intensidad media anual de las olas de calor (b) Medias climatológicas de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

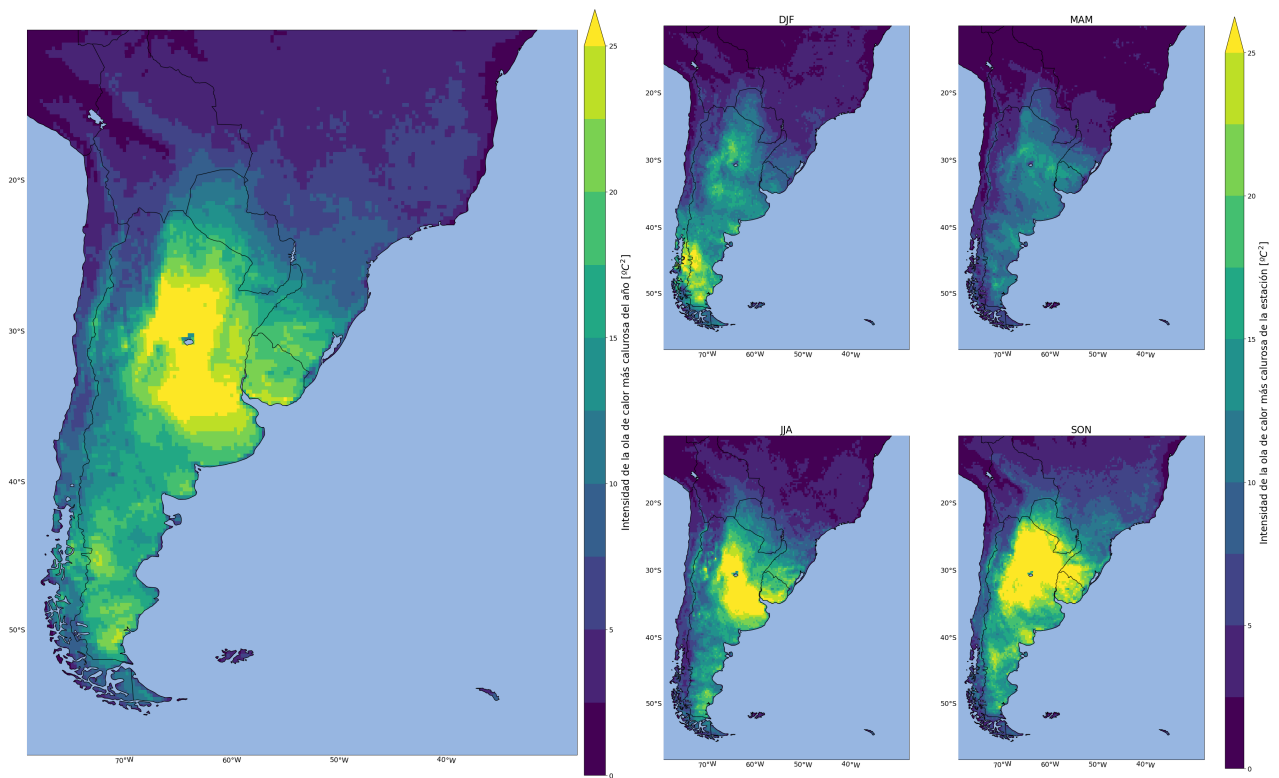
Figura 14: Medias climatológicas de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el norte de Sudamérica

La figura 15, que corresponde al sur de Sudamérica, representa las medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 15a, podemos apreciar la distribución de la media de la intensidad del evento más caluroso del año: podemos ver que las olas de calor se vuelven más intensas a medida de que nos desplazamos hacia el sureste, alcanzando un máximo en el noreste y centro de Argentina (de unos  $25\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ ). En el sur de Paraguay, en Uruguay y en su frontera con Brasil tenemos valores intermedios, en torno  $18\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ . En la Patagonia también tenemos valores intermedios, con valores más altos en el sur y sureste. Finalmente, en las regiones centrales y del norte de Chile los valores tienden a ser bajos, así como en los Andes del norte de Argentina.

Respecto a la figura 15b, representa la media la intensidad del evento más caluroso de cada estación. En general, a lo largo de todas las estaciones se sigue la distribución que hemos mencionado para la intensidad del evento más caluroso del año, pero los valores oscilan dependiendo de la estación, y algunas zonas se vuelven más intensas que otras. En el período DJF predominan los valores intermedios en Argentina, aunque en el suroeste de la Patagonia los valores se vuelven máximos, de hasta  $25\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ . En el período MAM, a nivel general, decrecen considerablemente los va-

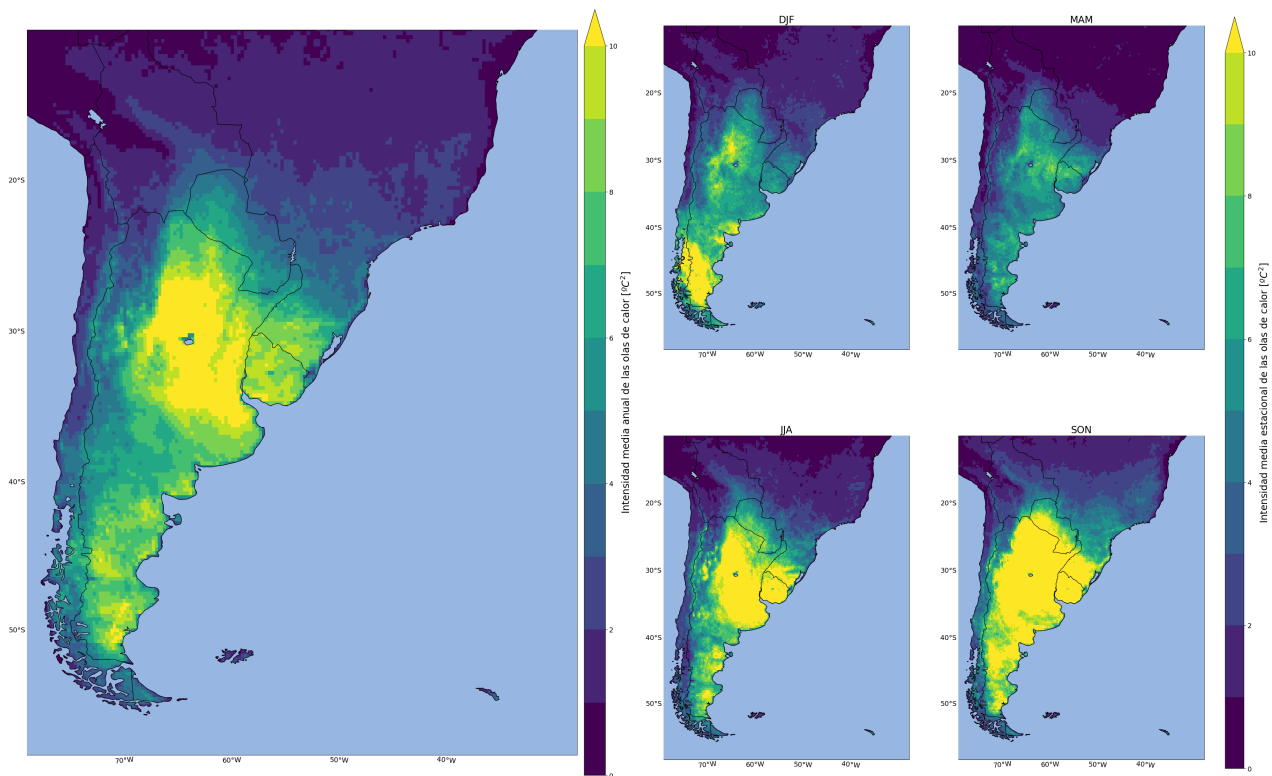
lores en todo el territorio, con valores intermedios en el este de Argentina. En el período JJA podemos ver una distribución prácticamente igual a la anual: máximos en el centro-norte de Argentina y valores intermedios en las zonas circundantes y en la Patagonia. Finalmente, el período SON sigue esta misma distribución, pero los valores se vuelven más intensos: los máximos se extienden por casi todo el norte de Argentina (salvo en los Andes), llegando al sur de Paraguay, Brasil y Uruguay.

La figura 16 representa las medias climatológicas de las intensidades medias anuales y estacionales de las olas de calor. La distribución, tanto anual como estacional, es la misma que en los casos anteriores, con la diferencia de que los valores no son tan intensos, salvo en los períodos DJF, JJA y SON. En el período DJF, el máximo lo seguimos encontrando en el suroeste de la Patagonia, pero abarca más territorio, así como en el centro-oeste de Argentina. En el período JJA, los valores máximos también los encontramos en Uruguay y en su frontera con Brasil, así como en puntos de los Andes argentinos y chilenos y en puntos del sureste de la Patagonia. Finalmente, en el período SON los máximos abarcan prácticamente la totalidad de Argentina, así como toda Uruguay, el sur de Paraguay y el sur de Brasil.



(a) Media climatológica de la intensidad de la ola de calor más intensa del año (b) Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 15: Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el sur de Sudamérica



(a) Media climatológica de la intensidad media anual de las olas de calor (b) Medias climatológicas de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

Figura 16: Medias climatológicas de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el sur de Sudamérica

En la figura 17, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 17a, podemos apreciar la distribución de la media de la intensidad del evento más caluroso del año: vemos que las olas de calor se vuelven más intensas a medida de que nos desplazamos hacia el noreste, alcanzando el máximo en la región de los Grandes Lagos (con valores de hasta  $39\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ ). En la región del Medio oeste, la costa oeste, centro de la costa este y gran parte del centro de Estados Unidos hallamos valores intermedios de intensidad. A medida que vamos hacia el sur vamos hallando valores más bajos.

Respecto a la figura 17b, está representada la media la intensidad del evento más caluroso de cada estación. En general, a lo largo de todas las estaciones se sigue la distribución que hemos mencionado para la intensidad del evento más caluroso del año, pero los valores oscilan dependiendo de la estación, y algunas zonas se vuelven más intensas que otras. En el período DJF predominan

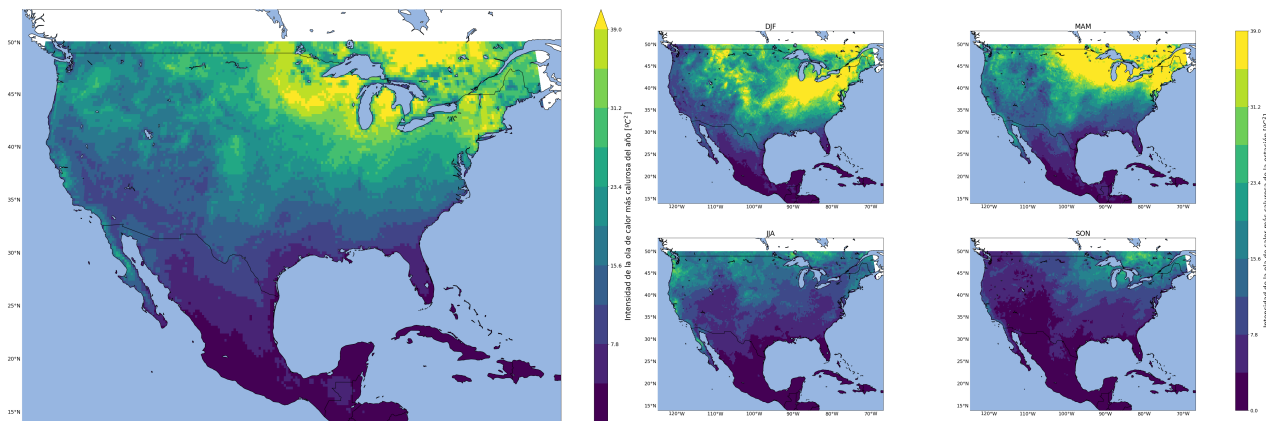
los valores altos al sur y al este de los Grandes Lagos, así como en la zona oeste de la Cordillera Norteamericana en Estados Unidos. En las zonas alrededor de estas regiones hallamos valores intermedios, estando los valores más bajos en toda la costa oeste y en la mayor parte de México. En el período MAM los valores más altos se han expandido en toda la región de los Grandes Lagos y el Medio oeste, y tenemos valores intermedios en casi todo Estados Unidos y en la Península de California. En el período JJA tenemos valores intermedios en la costa oeste de Estados Unidos y en la Península de California, así como en el Medio oeste y el norte de la costa este. En el resto de regiones tenemos valores bajos. Finalmente, en el período SON tenemos valores intermedios en la región de los Grandes Lagos, y los valores bajos abarcan prácticamente todo México y sur de los Estados Unidos. Cabe destacar que las islas del Caribe han tenido valores bajos en todas las estaciones.

En la figura 18 están representadas las medias climatológicas de las intensidades medias anuales y



estacionales de las olas de calor. La distribución, tanto anual como estacional, es la misma que en los casos anteriores, con la diferencia de que los

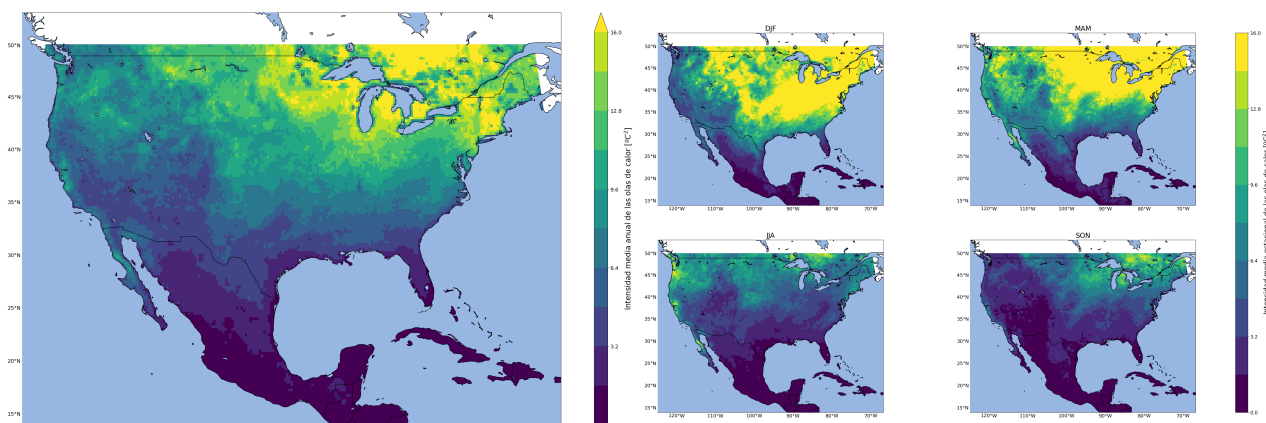
valores no son tan intensos. Además, los valores altos e intermedios cubren más territorio.



(a) Media climatológica de la intensidad de la ola de calor más intensa del año

(b) Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 17: Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el sur de Norteamérica



(a) Media climatológica de la intensidad media anual de las olas de calor

(b) Medias climatológicas de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

Figura 18: Medias climatológicas de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el sur de Norteamérica

En la figura 19, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. Si atendemos a la figura 19a, podemos apreciar la distribución de la media de la intensidad del evento más caluroso del año: podemos ver que las olas de calor se vuelven más intensas a medida de que nos desplazamos hacia el norte, alcanzando el máximo en el noreste de noreste y noroeste de Canadá,

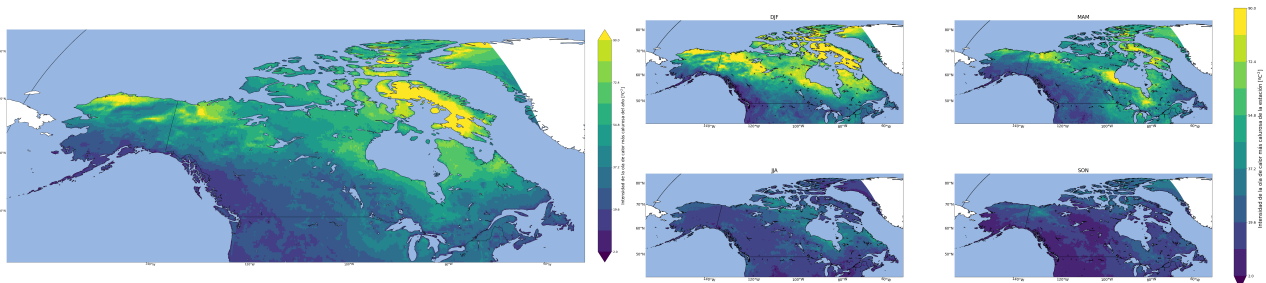
así como en el norte de Alaska (con valores de hasta  $90\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ ). En la mayor parte del resto del territorio tenemos valores intermedios, y vemos que hay una tendencia de los valores a ser más bajos a medida que vamos hacia el oeste (siguiendo la Cordillera Norteamericana desde Alaska hasta el sur de Canadá).

Respecto a la figura 19b, está representada la media la intensidad del evento más caluroso de cada estación. En general, a lo largo de todas las es-

taciones se sigue la distribución que hemos mencionado para la intensidad del evento más caluroso del año, pero los valores oscilan dependiendo de la estación, y algunas zonas se vuelven más intensas que otras. En el período DJF predominan los valores altos en casi todo el norte de Canadá y en el este y norte de Alaska, mientras que tenemos valores intermedios en el resto del territorio (salvo en la Cordillera Norteamericana). En el período MAM, tenemos valores altos en puntos del noreste, centro-sureste y oeste de Canadá, mientras que el resto del territorio tiene valores intermedios, excluyendo las regiones de la Cordillera Norteamericana. En el período JJA solo tenemos

valores intermedios en regiones en el norte, centro y este de Canadá, así como en el norte y este de Alaska. El resto del territorio tiene valores relativamente bajos. Finalmente, en el período SON los valores intermedios se localizan en el noreste y regiones del este de Canadá y en las regiones de la frontera entre Canadá y Alaska.

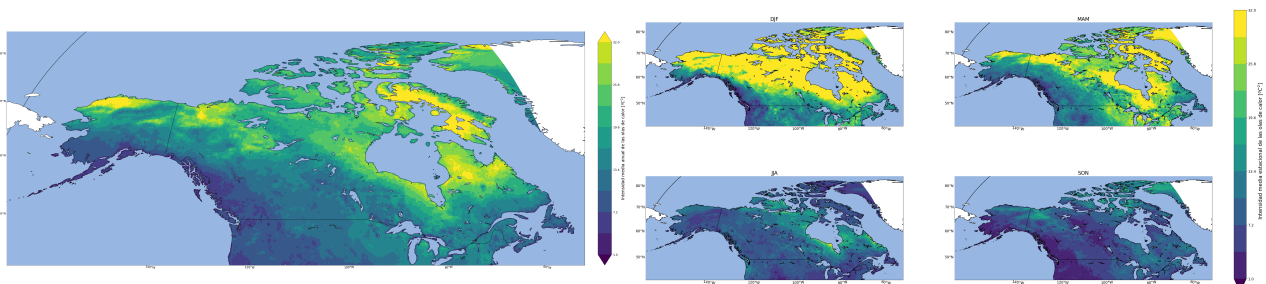
En la figura 20 están representadas las medias climatológicas de las intensidades medias anuales y estacionales de las olas de calor. La distribución, tanto anual como estacional, es la misma que en los casos anteriores, con la diferencia de que los valores no son tan intensos. Además, los valores altos e intermedios cubren más territorio.



(a) Media climatológica de la intensidad de la ola de calor más intensa del año

(b) Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 19: Medias climatológicas de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el norte de Norteamérica



(a) Media climatológica de la intensidad media anual de las olas de calor

(b) Medias climatológicas de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

Figura 20: Medias climatológicas de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el norte de Norteamérica

Podemos comprobar claramente que, a medida que nos alejamos del ecuador y nos acercamos a los polos, las intensidades de las olas de calor aumentan considerablemente. Del mismo modo, las cordilleras tienen un efecto notorio en la distribución de estas intensidades en el territorio.

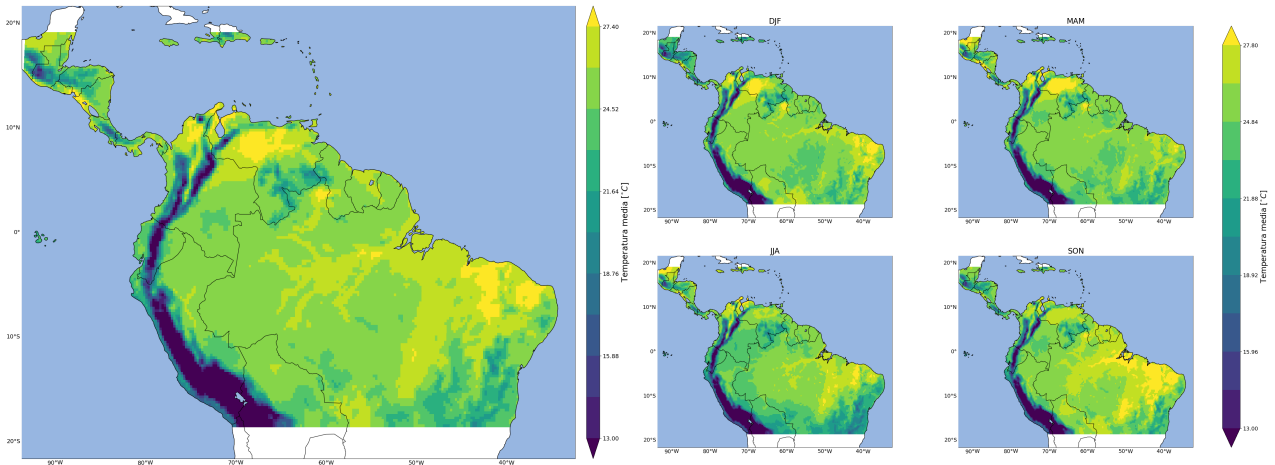
### 3.1.5. Temperatura a dos metros sobre la superficie

En la figura 21, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la

superficie. En la figura 21a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. En general, las temperaturas más altas las podemos localizar en la Amazonía, en la selva y el norte de Sudamérica, así como en Centroamérica. La cordillera Centroamericana y los Andes son claramente visibles por la baja temperatura que poseen. Finalmente, la mayor parte de la costa peruana tiene una temperatu-

ra inferior al de la selva debido al efecto que tiene la corriente de Humboldt.

En la figura 21b están representadas las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución es muy similar a la media anual, con la diferencia de que se puede apreciar el efecto de los meses de verano o de invierno en la temperatura. Sin embargo, la diferencia de temperatura es muy pequeña.



(a) Temperatura media anual a dos metros sobre la superficie

(b) Temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

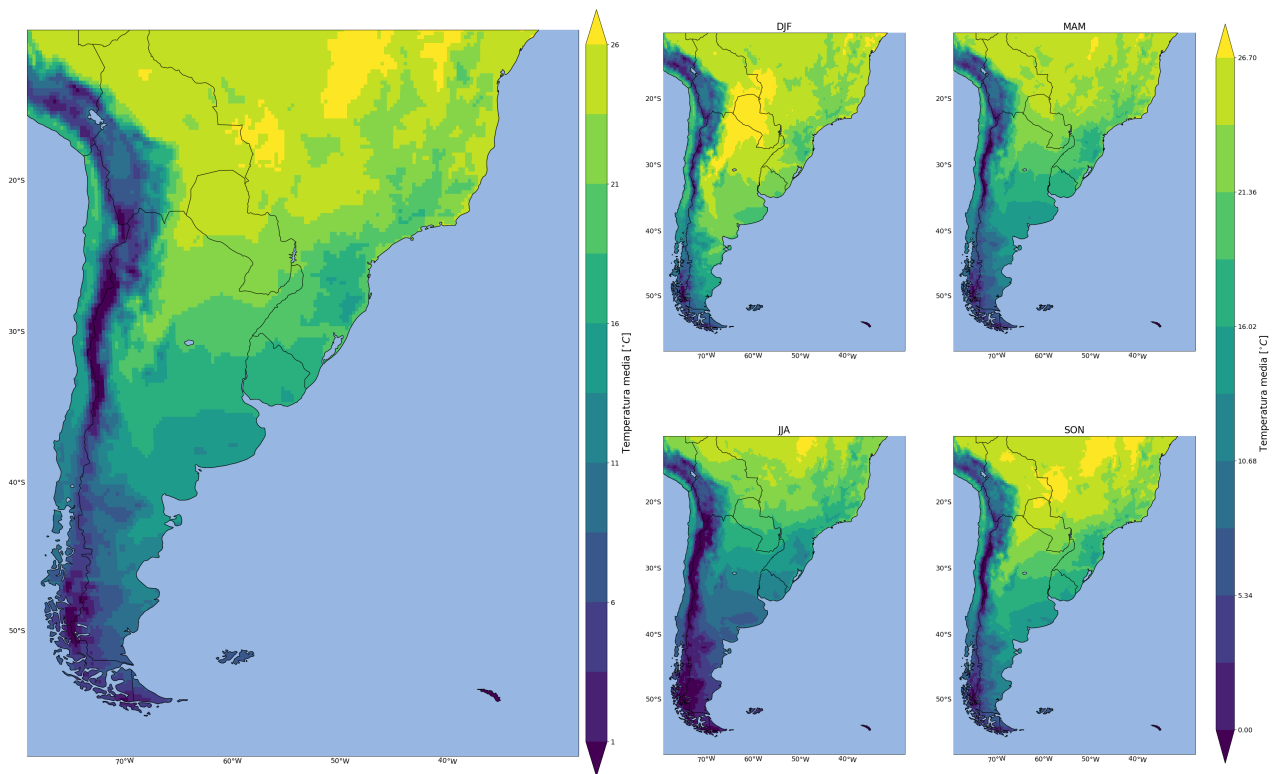
Figura 21: Temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el norte de Sudamérica

En la figura 22, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 22a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. A medida que nos desplazamos hacia el sur va disminuyendo la temperatura media, donde en la Patagonia ronda los 0 °C. Además, se puede apreciar cómo la temperatura cae en los Andes. En el norte de Chile la temperatura es un poco más baja que al oeste de los

Andes en la misma latitud, pero esta diferencia ya no se ve a partir de los 30° S.

En la figura 22b están representadas las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución es muy similar a la media anual, con la diferencia de que se puede apreciar el efecto de los meses de verano o de invierno en la temperatura. A medida que nos desplazamos hacia el sur hay una mayor diferencia de temperatura entre verano e invierno.





(a) Temperatura media anual a dos metros sobre la superficie

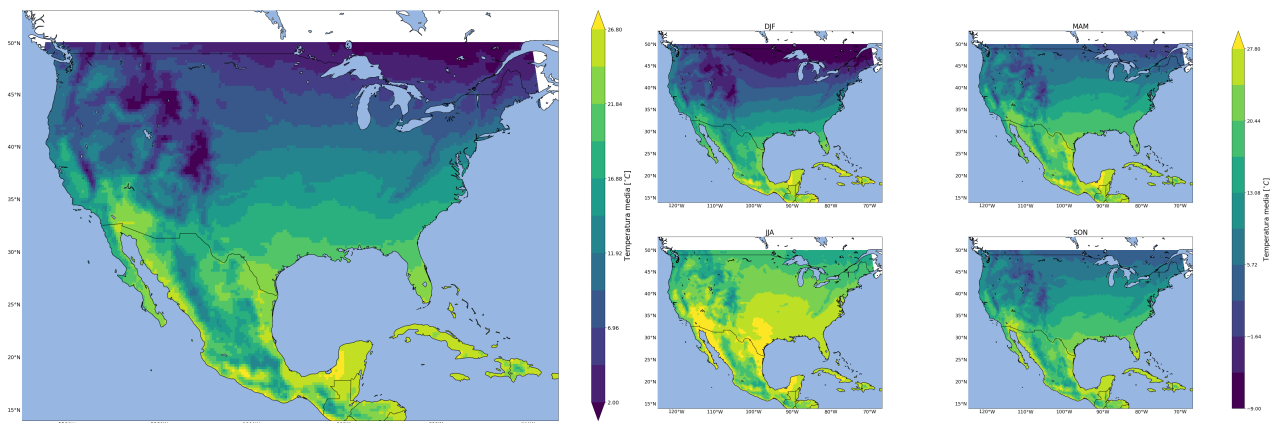
(b) Temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

Figura 22: Temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el sur de Sudamérica

En la figura 23, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 23a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. Las temperaturas máximas las podemos ver en las costas de México y en las islas del Caribe. Además, a medida que nos desplazamos hacia el norte va disminuyendo la temperatura media, donde en la región de los Grandes Lagos llega a  $7^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado, se puede apreciar cómo la temperatura cae en las zonas montañosas, con un claro descenso térmico en la

Cordillera Norteamericana y en las Sierra Madre Occidental y Oriental. En los Montes Apalaches también hay cierto descenso térmico, pero no es tan marcado como en los casos anteriores.

En la figura 23b están representadas las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución es muy similar a la media anual, con la diferencia de que se puede apreciar el efecto de los meses de verano o de invierno en la temperatura. A medida que nos desplazamos hacia el norte hay una mayor diferencia de temperatura entre verano e invierno.



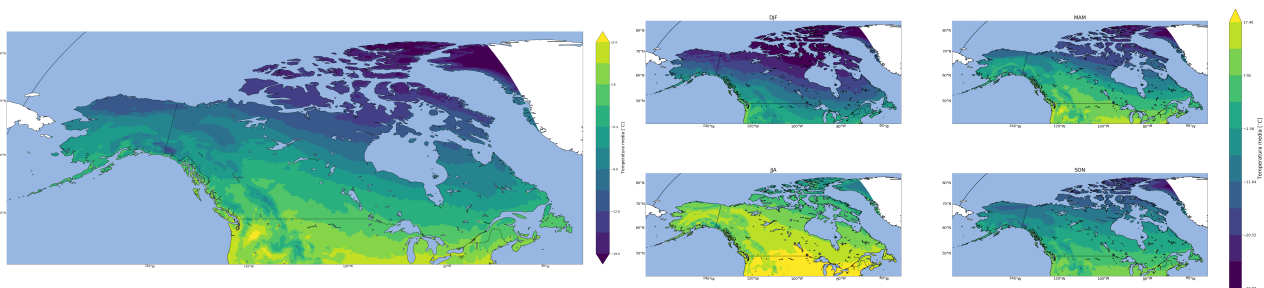
(a) Temperatura media anual a dos metros sobre la superficie (b) Temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

Figura 23: Temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el sur de Norteamérica

En la figura 24, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 24a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. Las temperaturas máximas las podemos ver en el sur de Canadá, y se puede apreciar que la temperatura desciende mucho a medida que nos desplazamos hacia el norte, alcanzando temperaturas de  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$  en las islas al norte de Canadá. Del mismo modo, podemos

apreciar la forma de la Cordillera Norteamericana en Canadá debido al descenso de temperatura con la altura.

En la figura 19 están representadas las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución es muy similar a la media anual, con la diferencia de que se puede apreciar el efecto de los meses de verano o de invierno en la temperatura. A medida que nos desplazamos hacia el norte hay una mayor diferencia de temperatura entre verano e invierno.



(a) Temperatura media anual a dos metros sobre la superficie (b) Temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

Figura 24: Temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el norte de Norteamérica

### 3.1.6. Precipitaciones totales

En la figura 25, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las precipitaciones totales medias anual y estacionales. En la figura 25a se puede apreciar la distribución de la precipitación total media anual. En general, las preci-

pitaciones acumuladas más altas las podemos encontrar en la mayor parte de la costa de Colombia, Andes occidentales de Ecuador, gran parte de los Andes orientales y sur de Venezuela. Del mismo modo, la mayor parte de la selva y del Amazonas tienen precipitaciones acumuladas bastan-

te elevadas, aunque van disminuyendo a medida que nos desplazamos hacia el sur y hacia el oeste. Centroamérica tiene precipitaciones acumuladas relativamente altas, aunque no tanto como la selva. Finalmente, la zona con menos precipitaciones acumuladas es la costa peruana.

En la figura 25b están representadas las precipitaciones totales medias estacionales. La distribución es similar a la media anual, pero en los mapas se puede apreciar claramente el desplazamiento a lo largo del año de la zona de convergencia intertropical (ZCI). La única zona con precipitaciones concentradas durante todo el año son la costa de Colombia o los Andes occidentales de Ecuador, y toda la costa peruana tiene precipitaciones prácticamente nulas durante todo el año. En el periodo DJF, las precipitaciones están muy

concentradas en la selva por debajo del Ecuador, sobre todo en la vertiente oeste de los Andes. Centroamérica y el noroeste de Sudamérica no tienen prácticamente precipitaciones en este período. En marzo la ZCI empieza a desplazarse al norte, por lo que disminuyen las precipitaciones en el sur y aumentan en Centroamérica y el noroeste de Sudamérica. En el período JJA tenemos una imagen inversa al período DJF: las precipitaciones altas se concentran por encima del ecuador, en Centroamérica y en el norte de Sudamérica. También hay precipitaciones relativamente altas hasta unos 3° S, pero más al sur las precipitaciones son muy bajas. En el período SON hay una distribución parecida al período MAM, con precipitaciones más o menos distribuidas en el territorio (aunque con más presencia de precipitaciones en el norte).

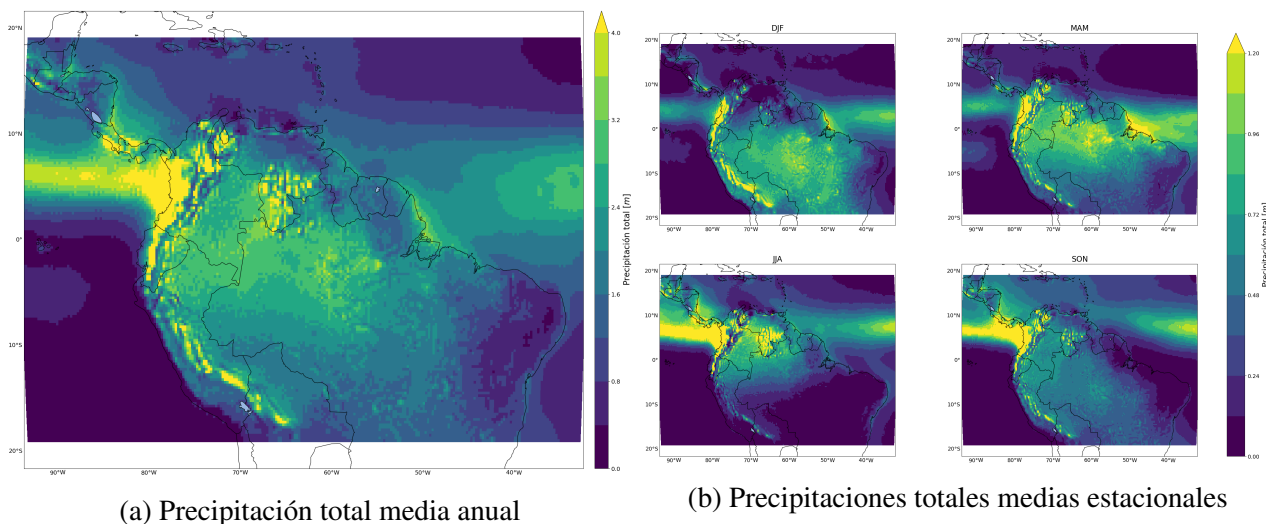


Figura 25: Precipitaciones totales medias anual y estacionales en el norte de Sudamérica

En la figura 26, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las precipitaciones totales medias anual y estacionales. En la figura 26a se puede apreciar la distribución de la precipitación total media anual. En general, las precipitaciones acumuladas más altas las podemos encontrar en pequeñas regiones de los Andes orientales en el norte de Argentina y el oeste de la Patagonia. Además, tenemos valores relativamente altos en el sur de Brasil, Uruguay y gran parte de Paraguay. A medida que vamos descendiendo en Argentina van disminuyendo las precipitaciones, y la Patagonia oriental es la región con menos precipitaciones de la zona, junto con el norte de Chile.

En la figura 26b están representadas las precipitaciones totales medias estacionales. La distribución es similar a la media anual, pero en los mapas se puede apreciar claramente que las precipitaciones son distintas dependiendo de la estación. La única zona con precipitaciones concentradas durante todo el año es la Patagonia occidental, y todo el norte de Chile y la Patagonia oriental tienen precipitaciones prácticamente nulas durante todo el año. En el periodo DJF, las precipitaciones están muy concentradas en el sur de Brasil debido a la ZCI, y también tenemos precipitaciones altas en Paraguay, Uruguay y el norte de Argentina. En el período MAM las precipitaciones empiezan a disminuir en las zonas antes mencionadas, pero

las precipitaciones de la Patagonia occidental se adentran más al norte de Chile. El período JJA es el período con menos precipitaciones en la mayor parte del territorio, con precipitaciones casi nulas en la mayor parte de Argentina (salvo el noreste, con precipitaciones medias). Hay valores rela-

vamente altos en el sur de Brasil, Uruguay y este de Paraguay, y las precipitaciones altas llegan hasta los 30° S. En el período SON las precipitaciones adoptan una distribución similar al período MAM.

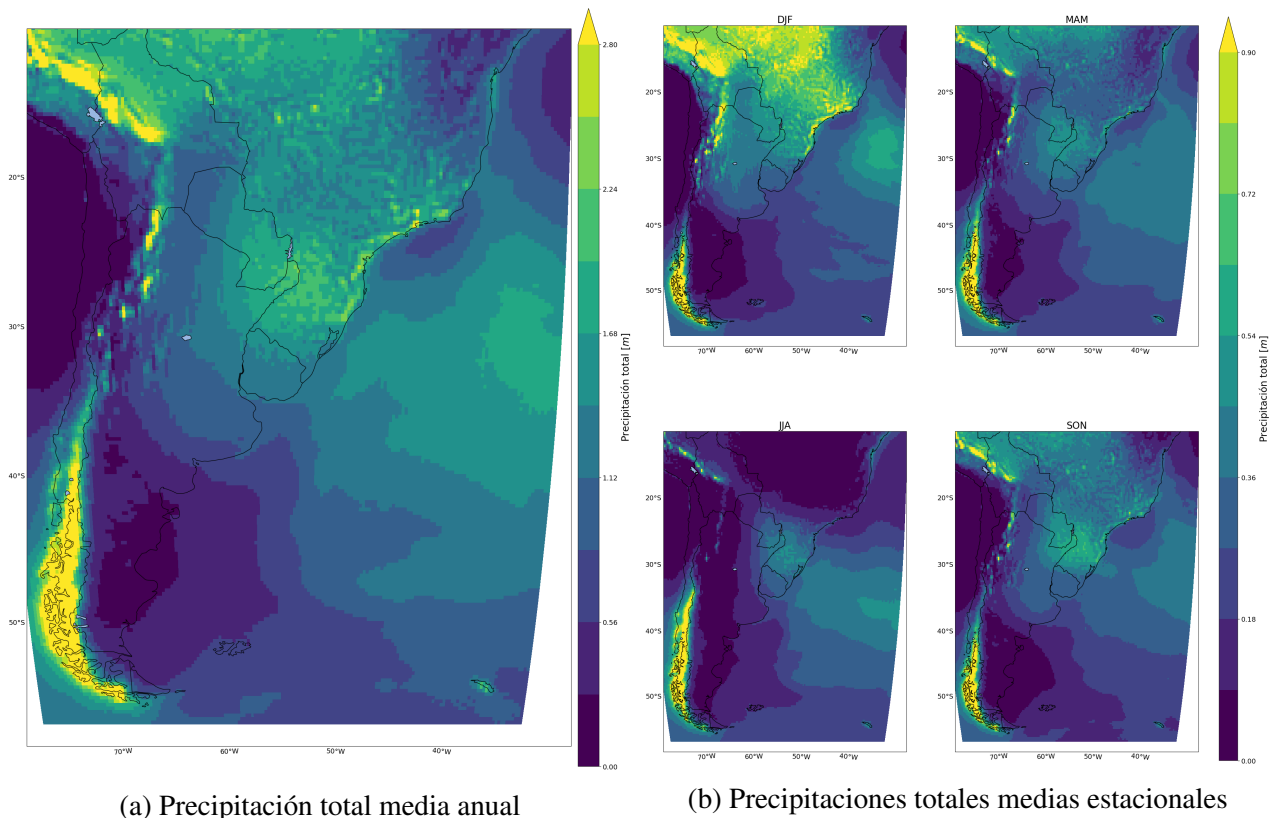


Figura 26: Precipitaciones totales medias anual y estacionales en el sur de Sudamérica

En la figura 27, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las precipitaciones totales medias anual y estacionales. En la figura 27a se puede apreciar la distribución de la precipitación total media anual. En general, las precipitaciones acumuladas más altas se encuentran en la cara oeste de la Sierra Madre Occidental y la cara este de la Sierra Madre Oriental en el sur de México y al norte de la costa oeste en Estados Unidos. Del mismo modo, podemos ver que el este de Estados Unidos tiene muchas más precipitaciones que el oeste, que en general es bastante más seco, junto con el interior de México. Las islas del Caribe tienen precipitaciones altas, mientras que la zona más seca es la Península de California.

En la figura 27b están representadas las precipitaciones totales medias estacionales. La distribu-

ción es similar a la media anual, pero en los mapas se puede apreciar claramente que las precipitaciones son distintas dependiendo de la estación. La única zona con precipitaciones constantes durante todo el año es la Península de California y el suroeste de Estados Unidos, con precipitaciones muy bajas durante todo el año. En el período DJF, la costa oeste de Estados Unidos alcanza el valor máximo de precipitaciones, mientras que la mayor parte de México, islas del Caribe y todo el centro de Estados Unidos tiene precipitaciones muy bajas. La costa este de Estados Unidos tiene precipitaciones relativamente altas, sobre todo en el Golfo de México. En el período MAM han aumentado las precipitaciones en casi todo el territorio, menos en el norte de la costa oeste de Estados Unidos, en la que ha disminuído. En el período JJA la ZCI se ha desplazado hacia el norte, y

tenemos una gran cantidad de precipitaciones en las costas de México. Del mismo modo, las islas del Caribe y la mitad este de Estados Unidos tiene una gran cantidad de precipitaciones, mientras que la costa oeste alcanza el mínimo de precipi-

taciones en este período. En el período SON tenemos una distribución similar al período MAM, pero con más precipitaciones en México, las islas del Caribe y la mitad este de Estados Unidos.

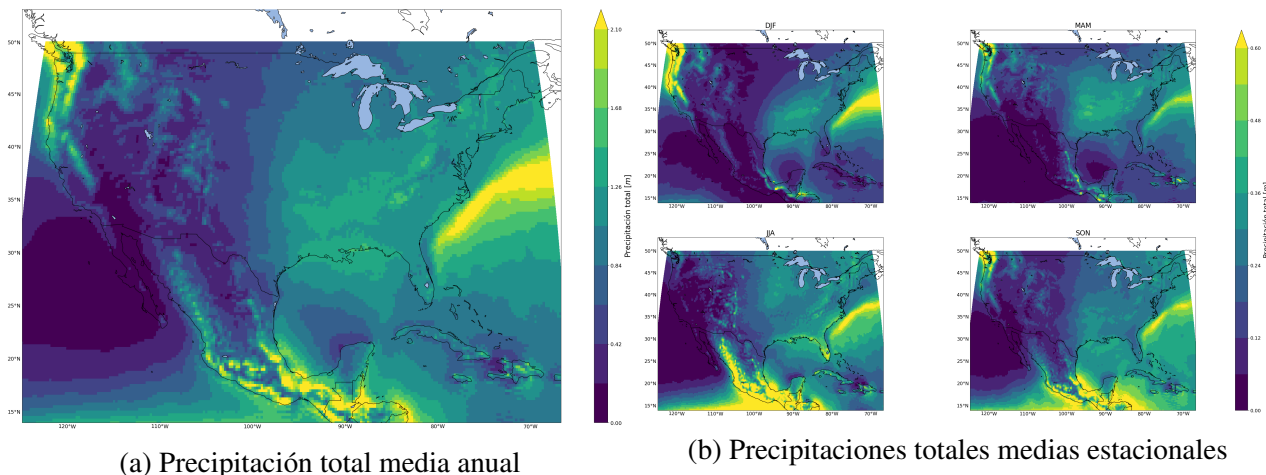


Figura 27: Precipitaciones totales medias anual y estacionales en el sur de Norteamérica

En la figura 28, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las precipitaciones totales medias anual y estacionales. En la figura 28a se puede apreciar la distribución de la precipitación total media anual. En general, las precipitaciones acumuladas más altas se encuentran en la costa oeste de Canadá y sur de Alaska, así como en la cara occidental de la Cordillera Norteamericana. También tenemos valores altos en la costa este de Canadá. A medida que nos acercamos a los polos, las precipitaciones disminuyen considerablemente.

taciones son distintas dependiendo de la estación. La costa oeste de Canadá y del sur de Alaska y la costa este de Canadá tienen precipitaciones altas durante todo el año, pero el área que abarcan cambia a lo largo del año. El período DJF es el más seco con diferencia, con precipitaciones en las costas de Canadá y sur de Alaska, así como en zonas de la Cordillera Norteamericana. El período MAM tiene una distribución parecida, pero las precipitaciones se adentran un poco más en territorio continental. El período JJA es el período más húmedo, con precipitaciones relativamente altas en casi todo el territorio, salvo en las islas al noreste de Canadá. Finalmente, en el período SON las precipitaciones disminuyen, pero sigue siendo un período relativamente húmedo.

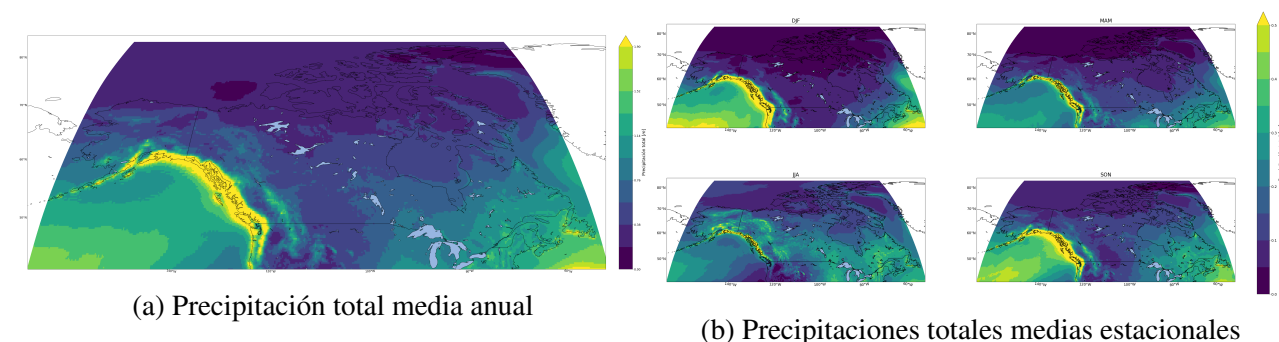


Figura 28: Precipitaciones totales medias anual y estacionales en el norte de Norteamérica

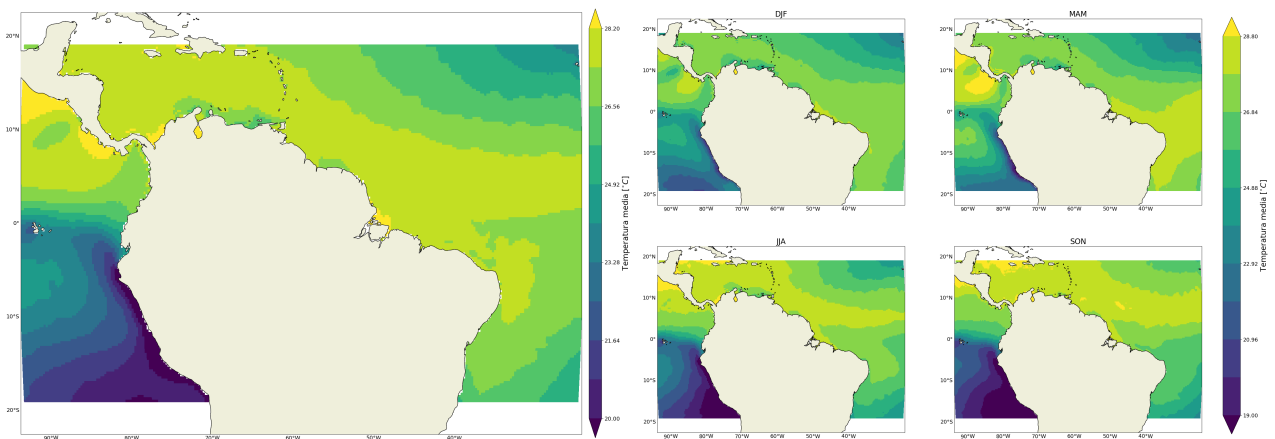


### 3.1.7. Temperatura superficial del océano

En la figura 29, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 29a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual de la superficie del océano. En general, la temperatura es elevada en casi todas las costas de Centroamérica y Sudamérica (con temperaturas de entre 24 °C y 28 °C), con la excepción de la corriente de Humboldt en la costa peruana, en la que llega a ser de

menos de 20 °C.

En la figura 29b están representadas las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero se puede notar el efecto de las estaciones en la distribución de la temperatura. En los períodos DJF y MAM las temperaturas en el hemisferio sur son algo más altas que la media, mientras que las del hemisferio norte son algo más bajas. En los períodos JJA y SON ocurre lo contrario. Aún así, la temperatura varía más en el hemisferio norte que en el hemisferio sur.



(a) Temperatura media anual de la superficie del océano

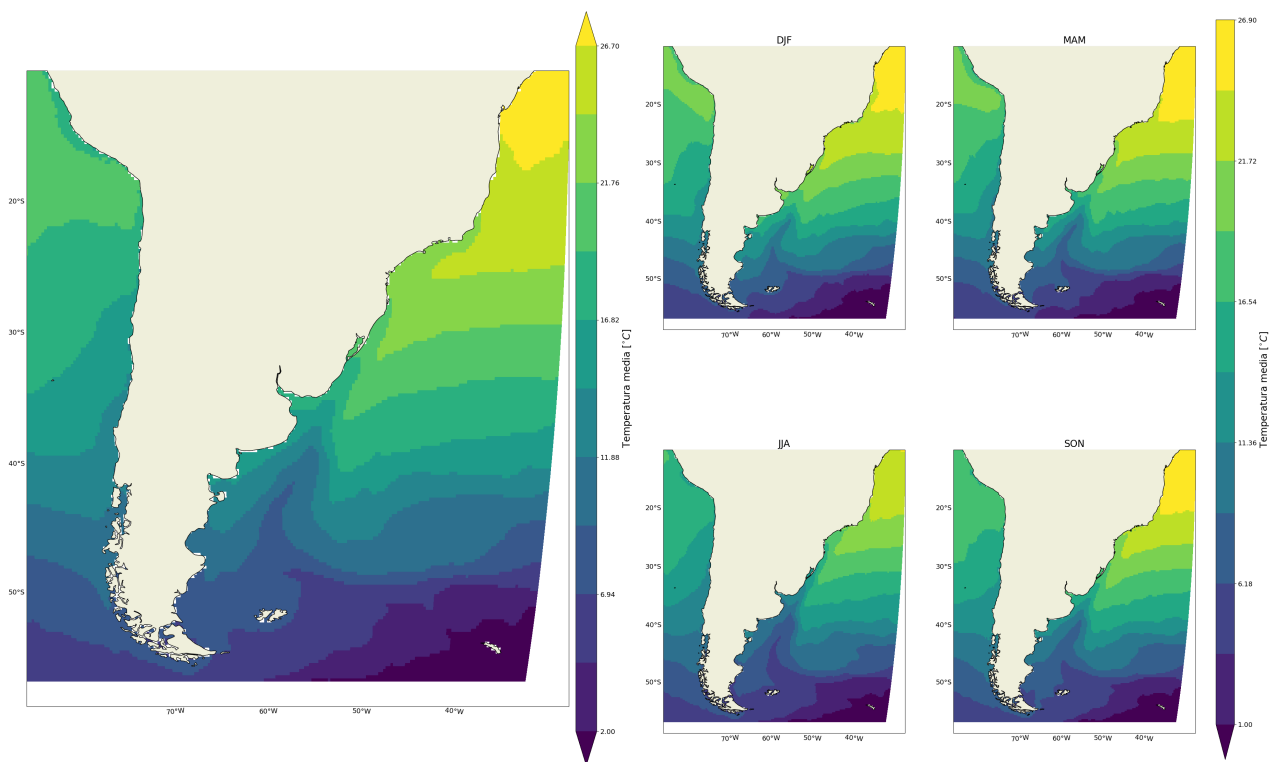
(b) Temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

Figura 29: Temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el norte de Sudamérica

En la figura 30, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 30a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual de la superficie del océano. En general, la temperatura descende a medida que vamos hacia el sur, desde unos 21 °C en las costas del sur de Brasil hasta unos 9 °C en las costas del sur de la Patagonia. Del mismo modo, en latitudes bajas se nota la Corriente de Humboldt, pues las costas del norte de

Chile son más frías que la costa de Brasil en la misma latitud. Esta diferencia de temperatura se vuelve nula a partir de los 35° S aproximadamente.

En la figura 30b están representadas las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero se puede notar el efecto de las estaciones en la distribución de la temperatura.



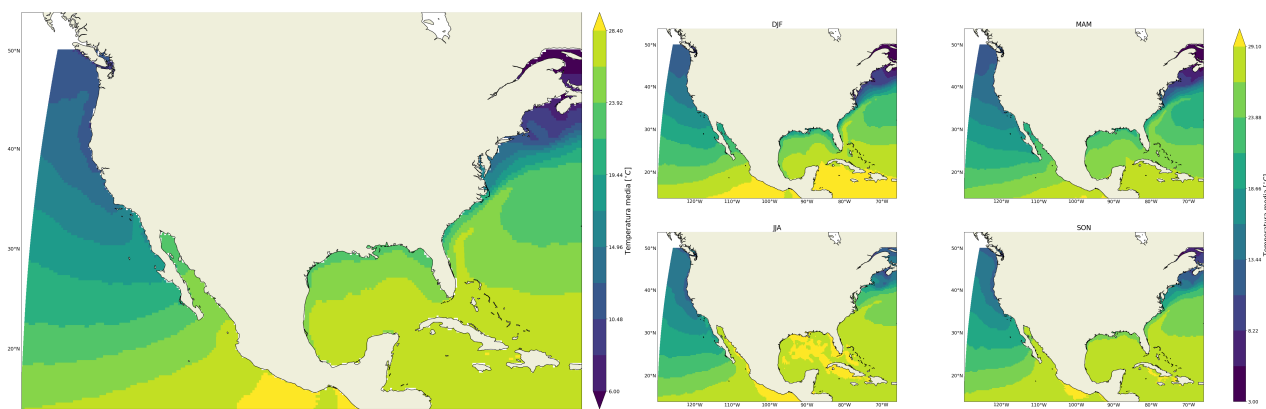
(a) Temperatura media anual de la superficie del océano (b) Temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

Figura 30: Temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el sur de Sudamérica

En la figura 31, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 31a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual de la superficie del océano. En general, la temperatura desciende a medida que vamos hacia el norte, desde unos  $28^{\circ}\text{C}$  en las costas de las Islas del Caribe y México hasta unos  $11^{\circ}\text{C}$  en las costas del noreste de Estados Unidos. Del mismo modo, las temperaturas en la costa este de Estados Unidos son bastante más elevadas que las de la costa oes-

te debido a la Corriente del Golfo. Esta diferencia de temperaturas se equilibra a partir de los  $40^{\circ}\text{N}$  aproximadamente.

En la figura 31b están representadas las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero se puede notar el efecto de las estaciones en la distribución de la temperatura. En la costa oeste de Estados Unidos la temperatura no suele variar mucho a lo largo del año, pero en la costa este sí que hay una mayor variación.



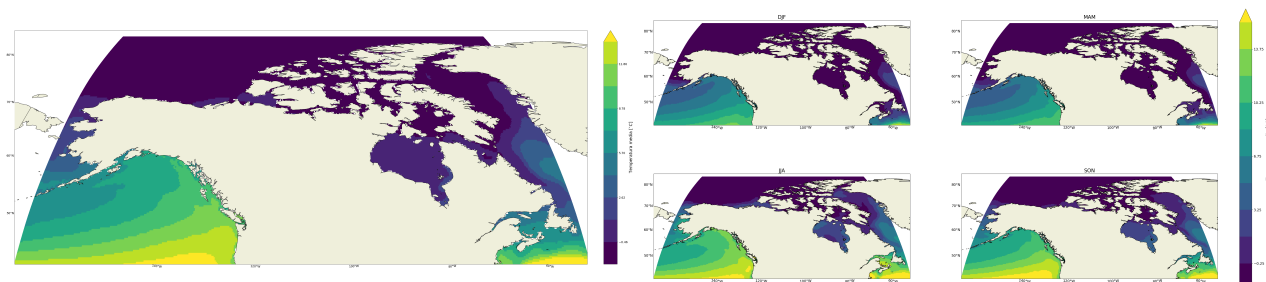
(a) Temperatura media anual de la superficie del océano (b) Temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

Figura 31: Temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el sur de Norteamérica

En la figura 32, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 32a se puede apreciar la distribución de la temperatura media anual de la superficie del océano. En general, la temperatura desciende a medida que vamos hacia el norte, desde unos 10 °C en las costa oeste del sur de Canadá hasta temperaturas bajo cero en el polo. Del mismo modo, las temperaturas en la costa oeste de Canadá y sur de Alaska son bastante más elevadas que la temperatura del océano en la costa este de Canadá a mismas latitudes (como en la Bahía

de Hudson). En el sur de la costa este también hay temperaturas más elevadas, pero descienden rápidamente al ir hacia el norte.

En la figura 32b están representadas las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero se puede notar el efecto de las estaciones en la distribución de la temperatura. Las temperaturas varían considerablemente hasta los 70° N aproximadamente. A partir de ese punto, prácticamente no hay variación de temperatura.



(a) Temperatura media anual de la superficie del océano (b) Temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

Figura 32: Temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el norte de Norteamérica

## 3.2. Tendencias

### 3.2.1. Número de olas de calor

En la figura 33, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las tendencias del

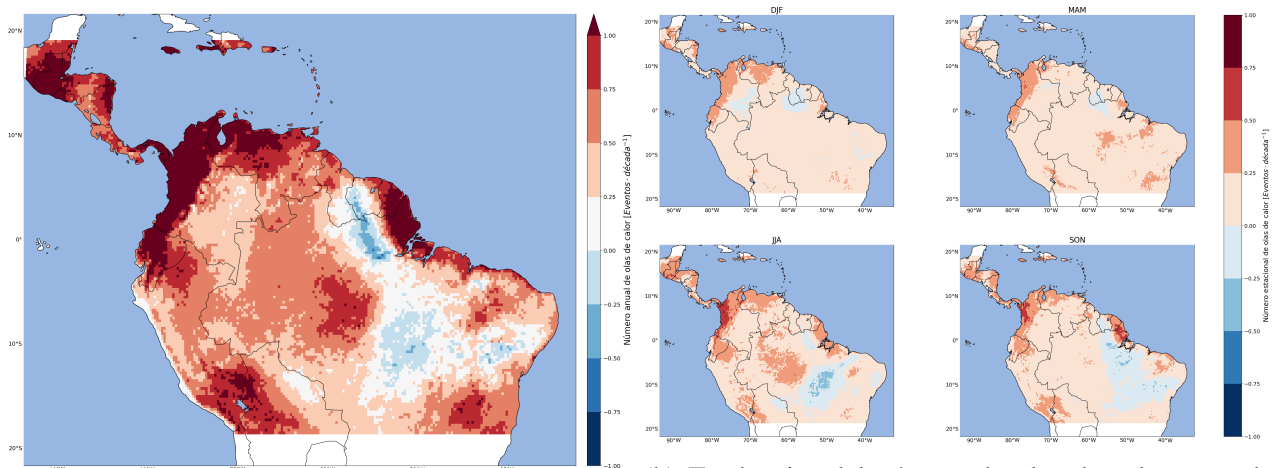
número de olas de calor al año y en cada estación. En la figura 33a tenemos la tendencia del número de olas de calor anual: vemos que las zonas en las que hay un mayor incremento en el número de olas de calor son en todo el norte de dicha zona



(Ecuador, Colombia y el noroeste de Venezuela), el este de la frontera de las Guayanas con Brasil, Guatemala, parte de El Salvador y el este de Nicaragua y Honduras. El resto del territorio tiene un aumento apreciable de número de olas de calor (algunas con más intensidad, como los Andes al sur del Perú y en Bolivia), pero hay zonas en las que no hay un aumento considerable o que, incluso, disminuyen. Tal es el caso de la costa peruana y las Islas Galápagos, en las que no hay un aumento considerable de olas de calor. Del mismo modo, en gran parte del centro-este de Brasil y en el centro de las Guayanas disminuyen las olas de calor, especialmente en el delta del Amazonas, las Guayanas y en regiones del centro de Brasil.

Si prestamos atención a la tendencia del número de olas de calor por estación en la figura 33b, ob-

servamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual, aunque el número de olas de calor en Centroamérica y la frontera este de las Guayanas con Brasil aumenta en los períodos JJA y SON. Las zonas con tendencia negativa varían más a lo largo de los distintos períodos. En el período DJF, estas zonas se dan en el sur de Colombia y el suroeste de las Guayanas. En el período MAM, estas tendencias se ven solo en las zonas de las Guayanas. En el período JJA hay una gran expansión en el territorio que ocupan estas zonas con tendencia negativa, que lo vemos en la frontera del centro de Bolivia con Brasil y en gran parte del centro de Brasil. Finalmente, en SON vemos que las zonas con tendencia negativa ocupan casi todo el centro-este de Brasil, llegando hasta las Guayanas.



(a) Tendencia del número de olas de calor al año

(b) Tendencias del número de olas de calor en cada estación

Figura 33: Tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación en el norte de Sudamérica

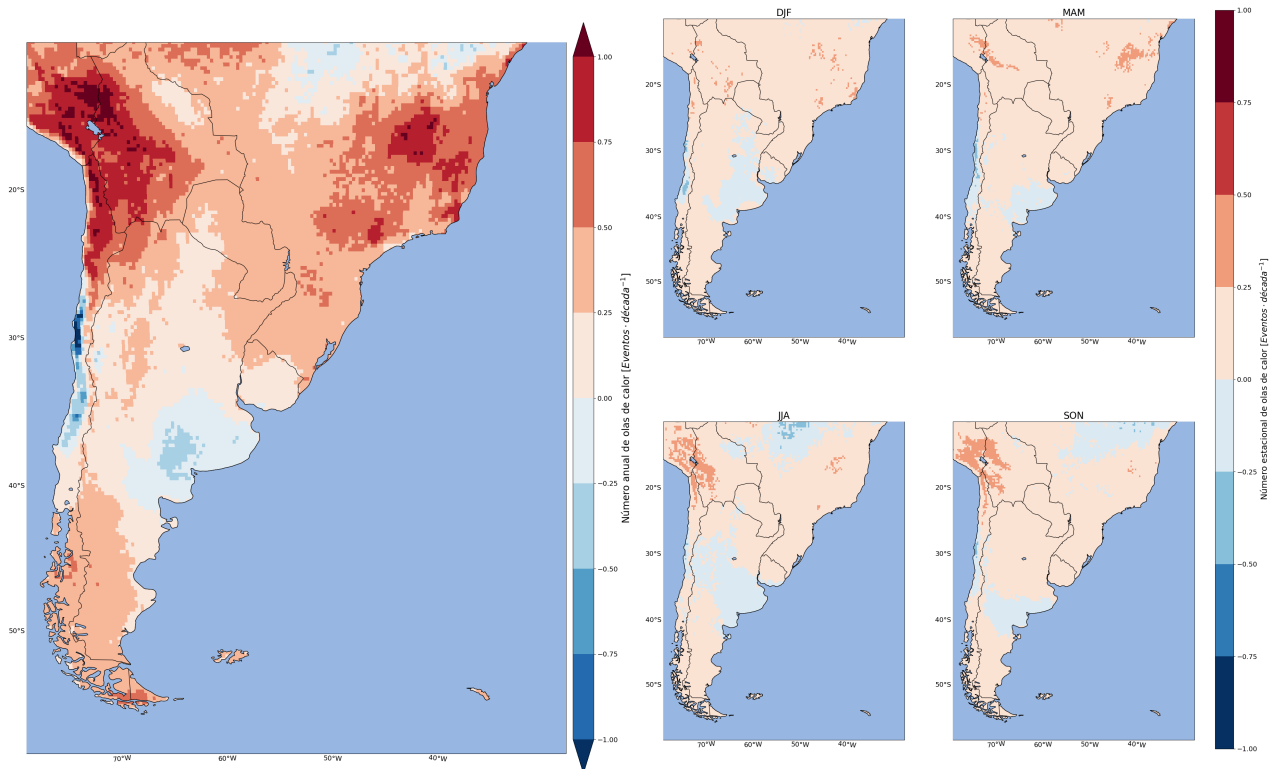
La figura 34, que corresponde al sur de Sudamérica, representa las tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación. En la figura 34a tenemos la tendencia del número de olas de calor anual: vemos que las zonas en las que hay un mayor incremento en el número de olas de calor son en los Andes de Bolivia y el norte de Chile, así como una región en el este de Brasil (que vimos también en el apartado anterior). En casi todo el sur de Brasil, Paraguay, norte de Uruguay y el sur de la Patagonia hay un aumento no muy considerable. Las zonas con tendencias negativas más marcadas se hallan en el centro de Chile, y en la región noreste de la Patagonia hay una tendencia

negativa algo marcada. El resto del territorio tiene una tendencia positiva tenue.

Si prestamos atención a la tendencia del número de olas de calor por estación en la figura 34b, observamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual. Durante todos los períodos, casi todo el territorio tiene una tendencia positiva tenue, por lo que solo nombraremos las tendencias positivas marcadas y las tendencias negativas. En el período DJF (verano austral), las tendencias positivas marcadas las encontramos en puntos aislados de los Andes de Bolivia, Chile y centro-sur de Brasil, mientras que las tendencias negativas se dan en el centro de Chile y en la franja este de

Argentina y en el oeste de Uruguay. En el período MAM (otoño austral) las tendencias positivas marcadas las vemos en los Andes de la frontera de Perú y Bolivia y de regiones del centro-sur de Brasil, mientras que las tendencias negativas las vemos en el centro de Chile y el noreste de la Patagonia. En el período JJA (invierno austral), las tendencias positivas marcadas se dan en Andes de

la frontera de Perú, Chile y Bolivia, mientras que las tendencias negativas se dan en la franja que va del noreste de la Patagonia hasta el oeste de Argentina. Finalmente, en el período SON (primavera austral) se sigue esta misma distribución, con la diferencia de que la región de tendencia negativa está en una región pequeña del centro de Chile y el norte de la Patagonia.



(a) Tendencia del número de olas de calor al año

(b) Tendencias del número de olas de calor en cada estación

Figura 34: Tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación en el sur de Sudamérica

En la figura 35, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación. En la figura 35a tenemos la tendencia del número de olas de calor anual: las zonas con tendencias positivas más altas se dan en el sur de México. Del mismo modo, en la Cordillera Norteamericana del sur de Estados Unidos y norte de México se dan valores relativamente altos de tendencia, así como en la Península de Florida y gran parte de las islas del Caribe. Una cosa a destacar es que en gran parte del norte y este de Estados Unidos tenemos una tendencia muy tenue (la mayoría positiva, aunque con regiones negativas), así como en la Península de California, el oeste de Cuba y norte de Yucatán. El resto del territorio tiene va-

lores positivos relativamente bajos.

Si prestamos atención a la tendencia del número de olas de calor por estación en la figura 35b, observamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual. Durante todos los períodos, casi todo el territorio tiene una tendencia positiva tenue, por lo que solo nombraremos las tendencias positivas marcadas y las tendencias negativas. En el período DJF (invierno boreal), las tendencias positivas marcadas las encontramos en puntos al sur de México y en las islas del Caribe, mientras que las tendencias negativas las encontramos en zonas al noroeste y sureste de Estados Unidos. En el período MAM (primavera boreal), la distribución es bastante similar, con la diferencia de

que los valores son más tenues y las tendencias negativas ocupan menos territorio. En el período JJA (verano boreal), los valores positivos marcados los vemos en regiones en la Cordillera Norteamericana del centro y sur de Estados Unidos y norte de México, así como en el sur de México. En cambio, las tendencias negativas las vemos

en una franja que va del Medio oeste de Estados Unidos al sureste. Finalmente, en el período SON (otoño boreal) tenemos una distribución parecida a la JJA, pero con tendencias positivas marcadas que ocupan mucho menos territorio y tendencias negativas que solo se encuentran en el Medio Oeste de Estados Unidos.

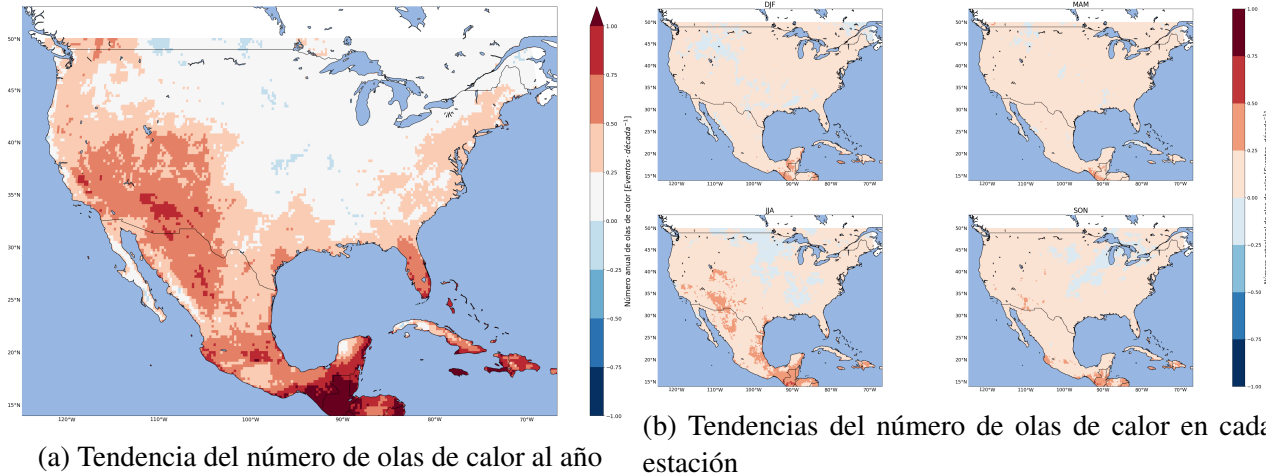
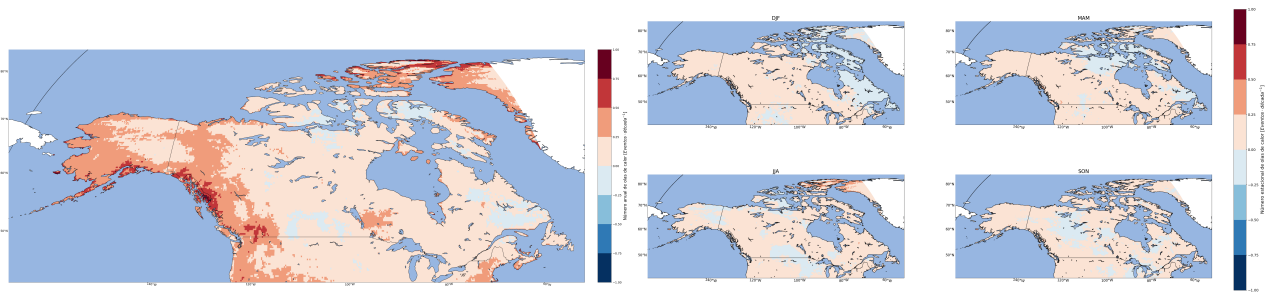


Figura 35: Tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación en el sur de Norteamérica

La figura 36, que corresponde al norte de Norteamérica, representa las tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación. En la figura 36a tenemos la tendencia del número de olas de calor anual: las zonas con tendencias positivas más altas se dan en el oeste y noreste de Canadá y el sur y oeste de Alaska, mientras que la gran parte del territorio tiene valores positivos tenues. Hay tendencias negativas tenues en la frontera central entre Canadá y Estados Unidos, así como en regiones al norte y este de Canadá.

Si prestamos atención a la tendencia del número de olas de calor por estación en la figura 36b, observamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual y en todas las estaciones

las tendencias son tenues, por lo que solo diremos dónde se localizan las tendencias negativas para cada período. En el período DJF (invierno boreal), vemos tendencias negativas en el este y noreste de Canadá. En el período MAM (otoño boreal), tenemos tendencias negativas en el centro de la frontera entre Canadá y Estados Unidos, y en el este y norte de Canadá. En el período JJA (verano boreal), las tendencias negativas se localizan en el centro de la frontera entre Canadá y Estados Unidos, en el centro y norte de Alaska (y su frontera con Canadá) y en regiones al norte de Canadá. Finalmente, en el período SON (otoño boreal) vemos las tendencias negativas en las regiones centrales y este de Canadá.



(a) Tendencia del número de olas de calor al año

(b) Tendencias del número de olas de calor en cada estación

Figura 36: Tendencias del número de olas de calor al año y en cada estación en el norte de Norteamérica

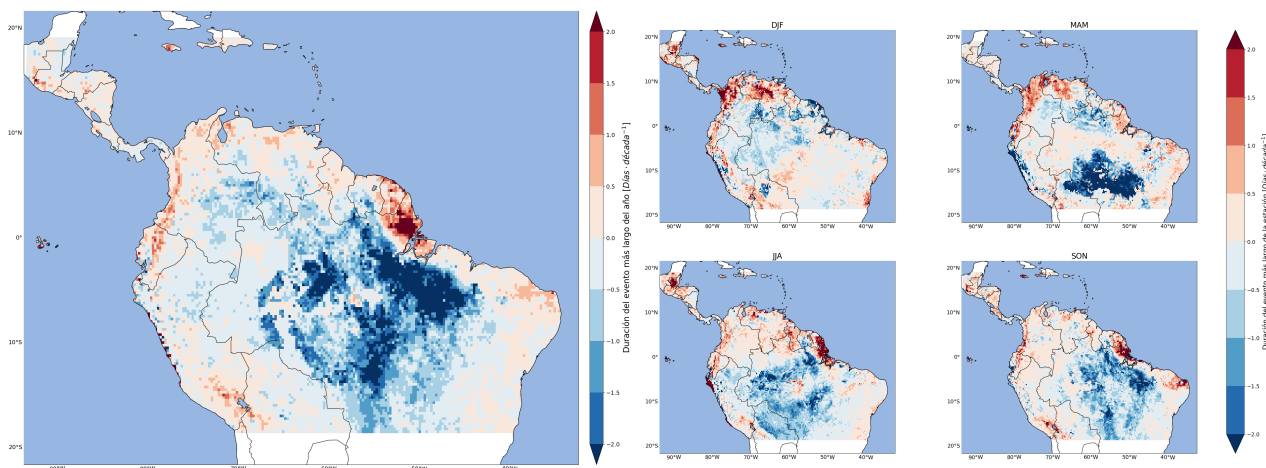
Se puede comprobar que hay una mayor tendencia en el aumento del número de olas de calor cerca del ecuador, y va disminuyendo a medida que nos desplazamos hacia los polos. Por otro lado, hay zonas con tendencias negativas en todas las latitudes.

### 3.2.2. Duración del evento más largo

En la figura 37, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las tendencias de la media de la duración del evento más largo anual o estacional. En la figura 37a tenemos la tendencia de la duración del evento más largo anual: al contrario que con el número de olas de calor, casi no hay zonas en las que aumente considerablemente la duración del evento más largo, pero sí que hay grandes zonas en las que disminuye considerablemente. Las únicas zonas en las que aumenta hasta dos días la duración máxima es en el noreste de Brasil y las Guyanas y en regiones de la costa peruana. Algunos puntos de los Andes de Ecuador y en la costa de Colombia también aumentan, aunque no demasiado. Las zonas en las que disminuye la duración del evento más largo ocupan la mayor parte de Brasil y las regiones de selva de Venezuela, Colombia, Perú y Bolivia. En particular, las regiones en las que más disminuye la duración del evento más largo es el centro y el centro-este de Brasil. En Centroamérica, alrededor de Guatemala también hay una ligera dismi-

nución de duración.

Si prestamos atención a la tendencia del número de olas de calor por estación en la figura 37b, observamos que las tendencias de la duración del evento más largo varía a lo largo de las estaciones. En el período DJF, las zonas con mayor tendencia positiva son la costa y Andes de Colombia y Venezuela, así como ciertas regiones de Guatemala y de la costa y Andes peruanos. Las zonas con tendencia negativa se encuentran en las selvas de Perú, Colombia, Venezuela, las Guyanas y norte de Bolivia, así como el noroeste de Brasil. También hay zonas del centro de Brasil con tendencias negativas, pero no son muy bruscas. En el período MAM, las zonas con mayor tendencia positiva son las mismas, a excepción de la costa y regiones de los Andes del Perú, que tiene una tendencia negativa muy marcada. Del mismo modo, siguen teniendo tendencias negativas las selvas de Colombia, Venezuela y las Guyanas, pero las más marcadas se encuentran en el centro de Brasil y su frontera con Bolivia. En el período JJA, la costa del Perú tiene una tendencia positiva muy alta, así como el extremo noreste de Brasil (en su frontera con las Guyanas), así como el noreste de Guatemala. Las tendencias negativas se concentran en la selvas peruanas, bolivianas y el centro y norte de Brasil. Finalmente, en el período SON tenemos una distribución de tendencias muy similar a la anual.



(a) Tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año (b) Tendencias de la duración de las olas de calor más largas de cada estación

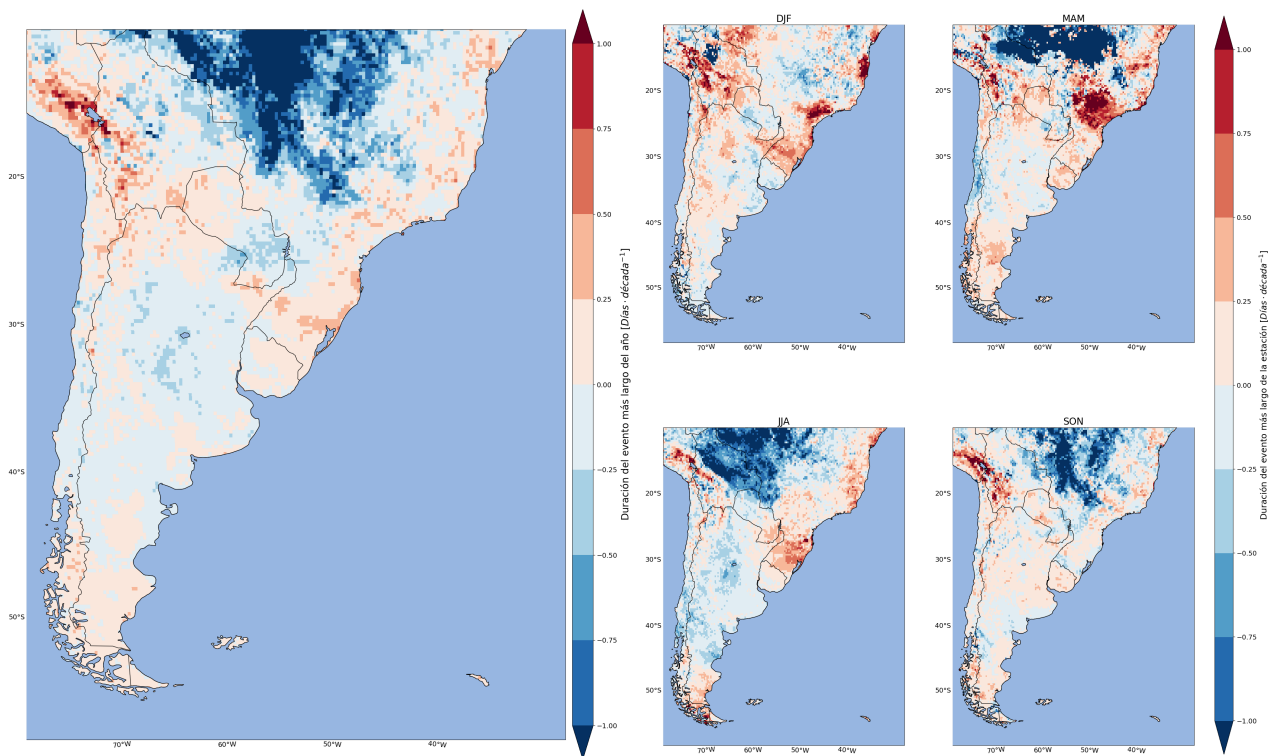
Figura 37: Tendencias de la duración de las olas de calor más largas del año y de cada estación en el norte de Sudamérica

En la figura 38, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las tendencias de la duración de la ola de calor más larga del año y de cada estación. En la figura 38a tenemos la tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año: vemos que las zonas en las que hay una tendencia positiva más alta es en los Andes de la frontera de Perú y Bolivia. Las zonas con tendencias negativas se encuentran en gran parte del centro-sur de Brasil y selva de Bolivia (visto en el apartado anterior), sur de Paraguay, oeste de Uruguay, centro de Argentina y Chile, y las regiones al norte y centro de la Patagonia. El resto del territorio tiene una tendencia positiva tenue.

Si prestamos atención a la tendencia de la duración de la ola de calor más larga de cada estación en la figura 38b, observamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual, pero tienen diferencias según la estación en la que estamos. En el período DJF, la regiones en las que hay una tendencia positiva marcada es casi toda Bolivia (salvo el norte) y regiones de la costa del centro y sur de Brasil. Del mismo modo, hay ten-

dencias relativamente altas en el norte de Chile y Argentina y centro de Argentina. Las tendencias negativas se ven en el centro-sur de Brasil, centro de Paraguay, Uruguay, el este de Argentina y el sur de la Patagonia. En el período MAM, las zonas con tendencias positivas marcadas se encuentran en las mismas regiones, con la diferencia de que en el centro-sur de Brasil hay una región que se ha expandido y se ha vuelto más marcada. Las tendencias negativas se ven en el centro y centro-sur de Brasil, centro de Chile, oeste y una franja en el centro de Argentina. En el período JJA, las regiones con tendencias positivas altas se ven en el sur de Brasil, Andes de Bolivia y sur de la Patagonia. Las tendencias negativas se dan en la selva de Bolivia, oeste de Brasil, centro sur de Chile y casi toda Argentina desde el centro de la Patagonia hasta el norte. Finalmente, en el período SON las tendencias positivas marcadas las vemos en las regiones andinas de Bolivia. En cambio, las tendencias negativas se dan en la selva de Bolivia, centro-sur de Brasil, norte de Argentina y regiones centrales de la Patagonia.





(a) Tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año (b) Tendencias de la duración de las olas de calor más largas de cada estación

Figura 38: Tendencias de la duración de las olas de calor más largas del año y de cada estación en el sur de Sudamérica

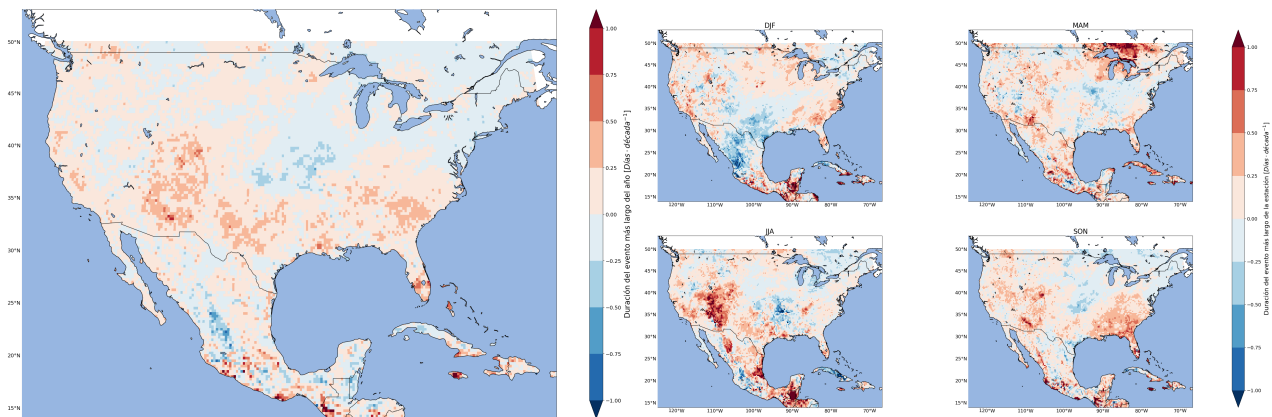
La figura 39, que corresponde al sur de Norteamérica, representa las tendencias de la duración de las olas de calor más largas del año y de cada estación. En la figura 39a tenemos la tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año: en general, vemos que la mayor parte del territorio tiene valores no muy marcados de tendencia. Las tendencias positivas más altas las vemos en puntos en el sur de la costa oeste de México y en Jamaica, mientras que tenemos valores relativamente altos en el centro y sur de Estados Unidos y parte de la Península de Florida. Los valores de tendencia negativa los vemos a lo largo de la Cordillera Norteamericana en México, el Medio Oeste, regiones del norte y costa noreste de Estados Unidos.

Si prestamos atención a la tendencia de la duración de las olas de calor más largas de cada estación en la figura 39b, observamos que las tendencias de olas de calor muy diferentes entre cada estación del año. En el período DJF, los valores positivos más altos los encontramos en el sur de México y regiones de las islas del Caribe, y también encontramos valores relativamente altos en

la costa oeste (así como adentrándose al interior), alrededor de los Grandes Lagos, y el sureste de la Estados Unidos. Por otro lado, las tendencias negativas más marcadas se dan en el este de la Cordillera Norteamericana y en Texas en Estados Unidos, así como en el noroeste y centro de México. En el período MAM, los valores más altos están en la región de los Grandes Lagos, islas del Caribe y regiones de la Cordillera Norteamericana en el sur de Estados Unidos y de México. En cambio, las tendencias negativas las vemos en regiones del oeste y en una franja que va del sur a la región de los Grandes Lagos en Estados Unidos, así como en regiones de la Cordillera Norteamericana en México. En el período JJA, las regiones con tendencias positivas más marcadas las encontramos a lo largo de la Cordillera Norteamericana en el centro y sur de Estados Unidos y México, así como la costa este y sur de México. Tenemos valores negativos en casi toda Cuba, el oeste de México y una región en el centro-este de Estados Unidos. Finalmente, en el período SON los valores positivos más marcados los vemos en puntos en el sur de la costa oeste de México, en el inte-

rior del oeste y el sureste de Estados Unidos. Por otro lado, las tendencias negativas las vemos en una franja que va del Medio Oeste al centro de

Estados Unidos, el sur de Texas y parte de la Cordillera Norteamericana en México.



(a) Tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año

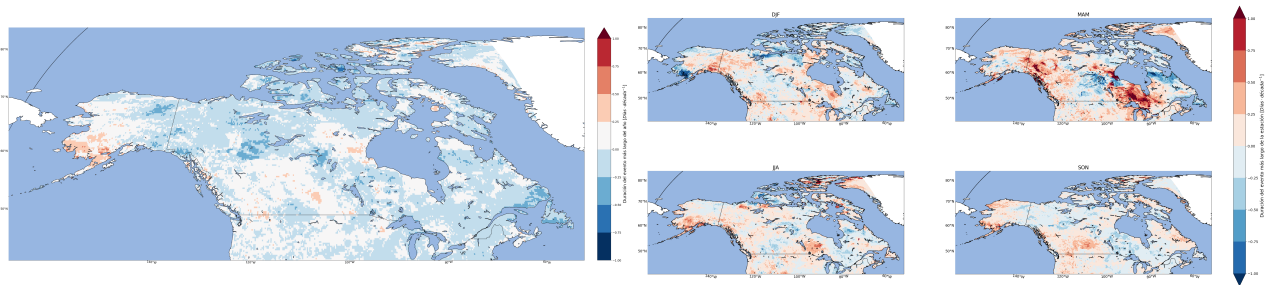
(b) Tendencias de la duración de las olas de calor más largas de cada estación

Figura 39: Tendencias de la duración de las olas de calor más largas del año y de cada estación en el sur de Norteamérica

En la figura 40, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las tendencias de la duración de las olas de calor más largas del año y de cada estación. En la figura 40a tenemos la tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año. Vemos que casi todo el territorio tiene una clara tendencia negativa o ligeramente positiva. Las únicas regiones en las que tenemos una tendencia positiva relativamente marcada están en el suroeste de Alaska y en puntos en el centro y noreste de Canadá.

Si prestamos atención a la tendencia de la duración de las olas de calor más largas de cada estación en la figura 8b, observamos que hay gran variación a lo largo de las estaciones. En el período DJF, tenemos tendencias positivas marcadas en gran parte del oeste y en el este de Canadá, así como en la mayor parte de Alaska (salvo el oeste). Respecto a las tendencias negativas, hay

una franja que va desde las islas del noreste de Canadá hasta la región central de Canadá, también las vemos en el oeste de Alaska y en regiones al este de Canadá. En el período MAM, tenemos tendencias positivas marcadas en todo el oeste y en el centro-este de Canadá, así como en el este de Alaska. En cambio, tenemos tendencias negativas en el centro, el este y el noreste de Canadá y en el sur de Alaska. En el período JJA, los valores son más tenues que en el período anterior. Los valores positivos recorren el oeste y sur de Alaska hasta el oeste de Canadá, y los vemos también en el centro-este y noreste de Canadá. Las tendencias negativas las vemos en el norte de Alaska y el norte, centro y este de Canadá. Finalmente, el período SON tiene valores positivos en el oeste de Alaska y el sur, este y noreste de Canadá. Por otro lado, las tendencias negativas van del este de Alaska, pasando por el norte de Canadá, hasta llegar al sur del país, algo al este.



(a) Tendencia de la duración de la ola de calor más larga del año

(b) Tendencias de la duración de las olas de calor más largas de cada estación

Figura 40: Tendencias de la duración de las olas de calor más largas del año y de cada estación en el norte de Norteamérica

Se comprueba que en gran parte del territorio hay una tendencia negativa en la duración de las olas de calor más largas. Se puede apreciar que las ten-

dencias son más marcadas en la zona tropical, y va menguando a medida que nos desplazamos a los polos.

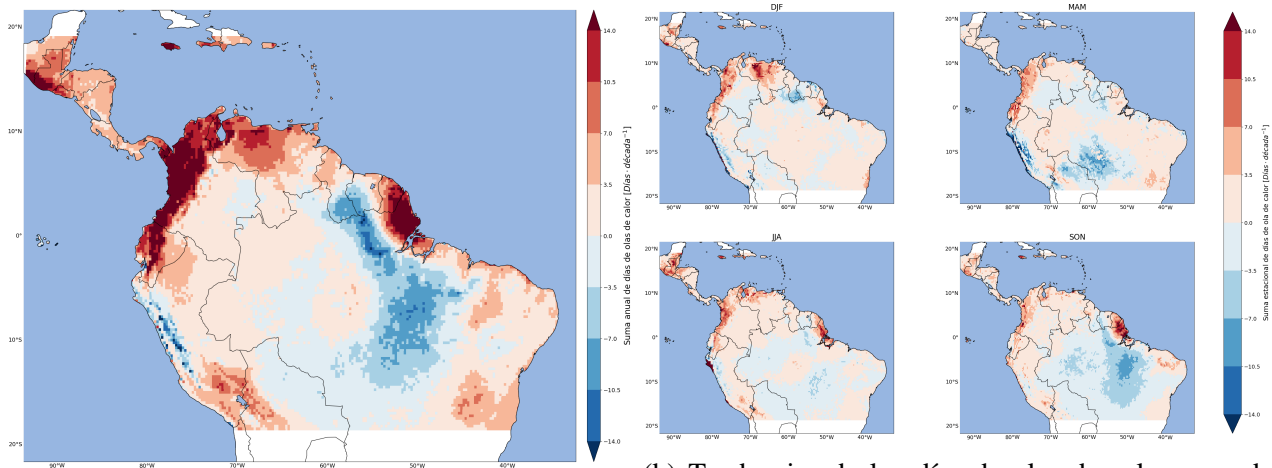
### 3.2.3. Días de olas de calor

La figura 41, que corresponde al norte de Sudamérica, representa las tendencias de la media de días de olas de calor al año y por cada estación. En la figura 41a tenemos la tendencia de los días de olas de calor al año: las regiones con una tendencia positiva más alta son las costas y sierras de Ecuador y Colombia, la frontera este de las Guyanas con Brasil, el sur de Guatemala y Jamaica. El norte de Centroamérica, norte de Venezuela y regiones andinas del sur del Perú y norte de Colombia también tienen valores relativamente altos. Las zonas con tendencias negativas son el centro-este de Brasil, que se extiende hacia el norte hasta llegar al centro-oeste de las Guyanas. Regiones de las selvas de Bolivia y Colombia también tienen tendencias negativas, aunque no muy marcadas. El resto del territorio tienen tendencias positivas relativamente bajas.

Si prestamos atención a la tendencia de días de olas de calor por estación en la figura 41b, observamos que las tendencias de la duración del evento más largo varía a lo largo de las estacio-

nes. En el período DJF, las zonas con mayor tendencia positiva son la costa y Andes de Ecuador y Colombia, así como el norte de Venezuela, regiones de Centroamérica y algunos puntos de la costa peruana. Casi todo el resto del territorio tiene una tendencia positiva o negativa muy tenue, a excepción de los Andes peruanos y el suroeste de las Guyanas. En el período MAM, la distribución es más o menos parecida, pero con una tendencia negativa más marcada en el centro de Brasil y selva de Bolivia, así como en regiones de la costa y Andes peruanos y bolivianos. En el período JJA destacan las tendencias altas en la costa norte y central del Perú y en la frontera de Brasil con las Guyanas, así como que no hay tendencias negativas marcadas. Finalmente, en el período SON, las zonas con tendencias más altas son la frontera noreste de Brasil con las Guyanas, mientras que el resto de tendencias relativamente altas siguen la distribución de otros períodos. Del mismo modo, las tendencias bajas marcadas se dan en el centro-este de Brasil, y tendencias negativas tenues se dan en casi todo Brasil, así como en la selva de Bolivia y suroeste de las Guyanas.





(a) Tendencia de los días de olas de calor al año

(b) Tendencias de los días de olas de calor en cada estación

Figura 41: Tendencias de los días de olas de calor al año y en cada estación en el norte de Sudamérica

En la figura 42, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las tendencias de los días de olas de calor anuales y por cada estación. En la figura 42a tenemos la tendencia de los días de olas de calor anuales: vemos que las zonas en las que hay una tendencia positiva más alta es en los Andes del sur del Perú, Bolivia y norte de Chile, el este y una región en el sureste de Brasil. Del mismo modo, las tendencias negativas se dan en la selva de Bolivia, regiones centrales de Chile y una franja que va del sureste de la Patagonia al centro-este de Argentina. El resto del territorio tiene tendencias positivas tenues.

Si prestamos atención a la tendencia de los días de olas de calor por estaciones en la figura 42b, observamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual, pero tienen diferencias según la estación en la que estemos. En el pe-

ríodo DJF, la región con una tendencia positiva marcada se encuentra en la costa al este de Brasil, mientras que las tendencias negativas se dan en regiones de los Andes bolivianos, selva norte de Bolivia, centro-este de Argentina, sur de Uruguay y centro de Paraguay. En el período MAM, se dan tendencias positivas altas en Andes de la frontera de Perú y Bolivia en el este de Brasil, mientras que las tendencias negativas marcadas están en la selva de Bolivia y oeste de Brasil. En el período JJA, las tendencias altas se dan en los andes de las fronteras de Perú, Bolivia y Chile, mientras que las tendencias negativas se dan en las mismas zonas que en el período anterior. El resto del territorio tiene tendencias muy tenues. Finalmente, el período SON sigue una distribución muy similar a la del período JJA, con una tendencia negativa más marcada en el sur de Brasil.

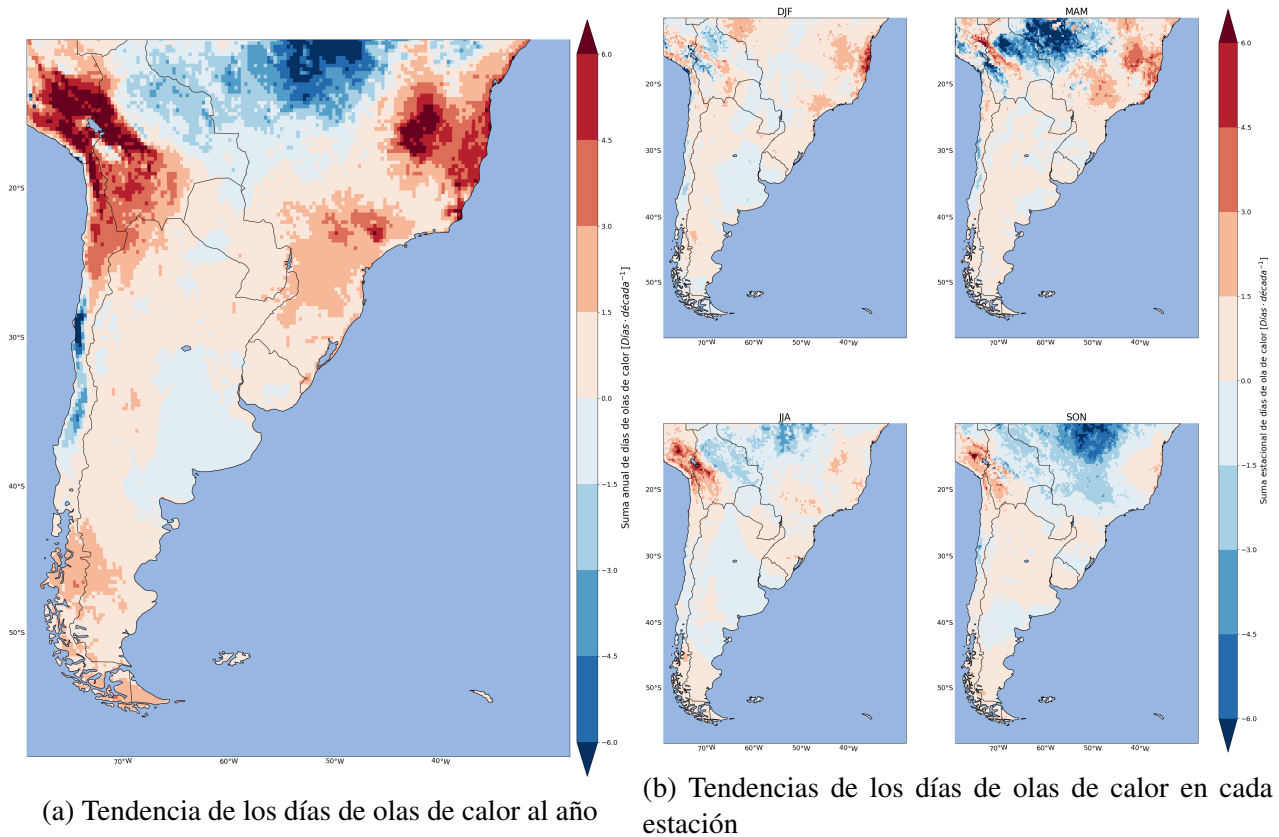


Figura 42: Tendencias de los días de olas de calor al año y en cada estación en el sur de Sudamérica

La figura 43, que corresponde al sur de Norteamérica, representa las tendencias de los días de olas de calor a lo largo del año y en cada estación. En la figura 43a tenemos la tendencia de los días de olas de calor a lo largo del año: en general, los valores aumentan a medida que nos desplazamos al oeste y al sur. Se ve claramente que las tendencias relativamente altas y altas van a lo largo de la Cordillera Norteamericana en el centro y sur de Estados Unidos y México (salvo en sus regiones centrales), y alcanzan los valores máximos en el sur. Del mismo modo, tenemos valores relativamente altos en la Península de Florida y gran parte de las islas del Caribe. Los valores negativos (que son tenues) los encontramos en pequeñas regiones en el Medio Oeste de Estados Unidos y pequeñas regiones en el centro y sur de México. El resto del territorio tiene valores positivos tenues.

Si prestamos atención a la tendencia de los días de olas de calor en cada estación en la figura 43b, observamos que las tendencias de olas de calor son bastante tenues a lo largo de cada estación, por lo que solo nombraremos las tendencias positivas

marcadas y las tendencias negativas. En el período DJF, las tendencias positivas marcadas están en el sur de México y en Jamaica, mientras que las tendencias negativas se encuentran en regiones de la Cordillera Norteamericana, del Medio Oeste y del sur de Estados Unidos, así como en el oeste de México. En el período MAM, vemos tendencias positivas algo marcadas en el sur de México, y las tendencias negativas las tenemos en el oeste de Estados Unidos y algunas regiones de Texas. En el período JJA tenemos tendencias claramente marcadas en el sur de México, y tendencias relativamente altas en el este de México y algunas pequeñas al sur de Estados Unidos. En cambio, las tendencias negativas las vemos en el centro y el Medio oeste de Estados Unidos. Finalmente, en el período SON tenemos tendencias positivas marcadas en el sur de México y en la Península de Florida, mientras que casi todo el territorio tiene un aumento muy tenue de días de olas de calor. Vemos las tendencias negativas en el Medio Oeste y en regiones dispersas del norte de Estados Unidos.

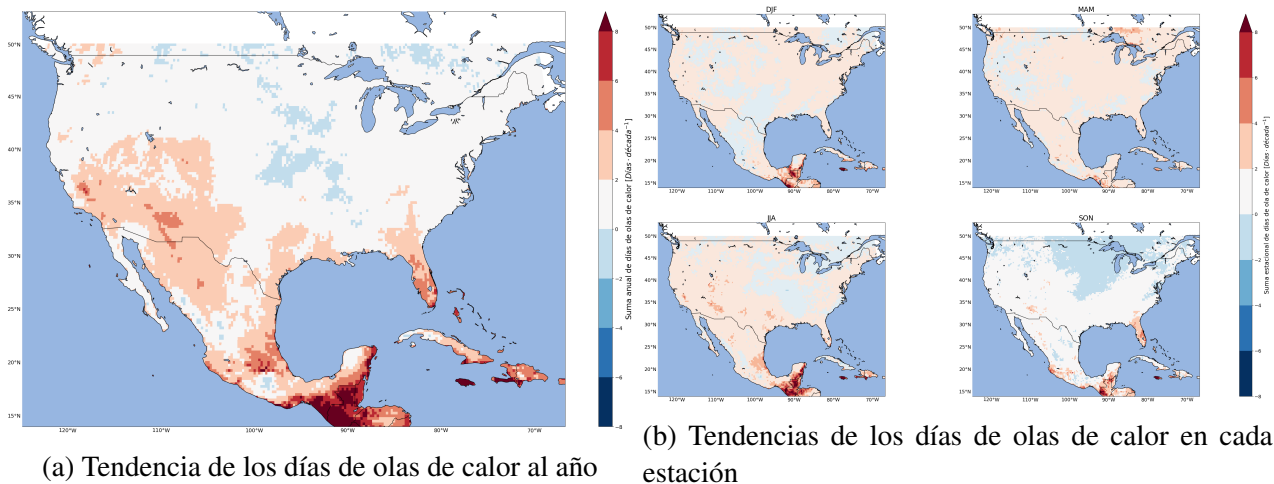


Figura 43: Tendencias de los días de olas de calor al año y en cada estación en el sur de Norteamérica

En la figura 44, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las tendencias de los días de olas de calor al año y en cada estación. En la figura 44a tenemos la tendencia de los días de olas de calor al año. Podemos comprobar que tiene una distribución similar a la tendencia de HWD, pero con sus particularidades. Casi todo el territorio tiene valores positivos muy tenues, los valores positivos relativamente marcados los podemos ver en el oeste y sur de Alaska y la costa oeste y las islas más al norte de Canadá. Las tendencias negativas las encontramos en pequeñas regiones en la mitad este de Canadá, sobre todo cuanto más al este vamos.

Si prestamos atención a la tendencia de los días de olas de calor en cada estación en la figura 44b, observamos que cada estación tiene sus particularidades. En el período DJF, la mayor parte del territorio tiene tendencias positivas relativamente

marcadas, y las tendencias negativas las vemos en el oeste y norte de Alaska y en regiones al norte, centro y este de Canadá. En el período MAM la mayor parte del territorio tiene tendencias positivas tenues: solo vemos tendencias marcadas en el oeste y el centro-este de Canadá. En cambio, vemos tendencias negativas en el centro de Alaska, en una franja que va del noreste de Canadá hasta el centro de la frontera con Estados Unidos y el este de Canadá. En el período JJA, casi todo el territorio tiene tendencias positivas relativamente marcadas, y vemos tendencias más altas en las islas más al norte de Canadá. Las tendencias negativas las vemos al norte de Alaska y en regiones al norte, centro y este de Canadá. Finalmente, en el período SON casi todo el territorio tiene tendencias negativas, solo hallamos tendencias positivas tenues en casi todo Alaska (salvo la frontera con Canadá) y la costa oeste, centro-sur, este y noreste de Canadá.

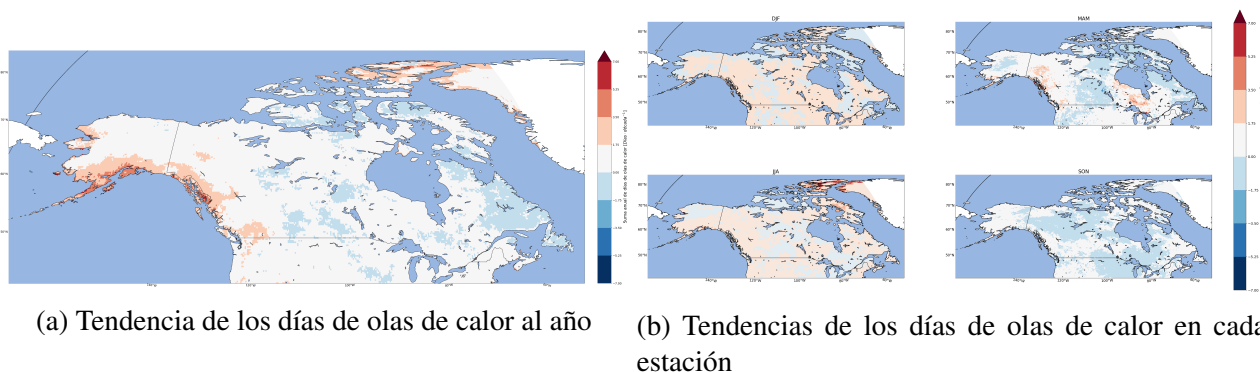


Figura 44: Tendencias de los días de olas de calor al año y en cada estación en el norte de Norteamérica

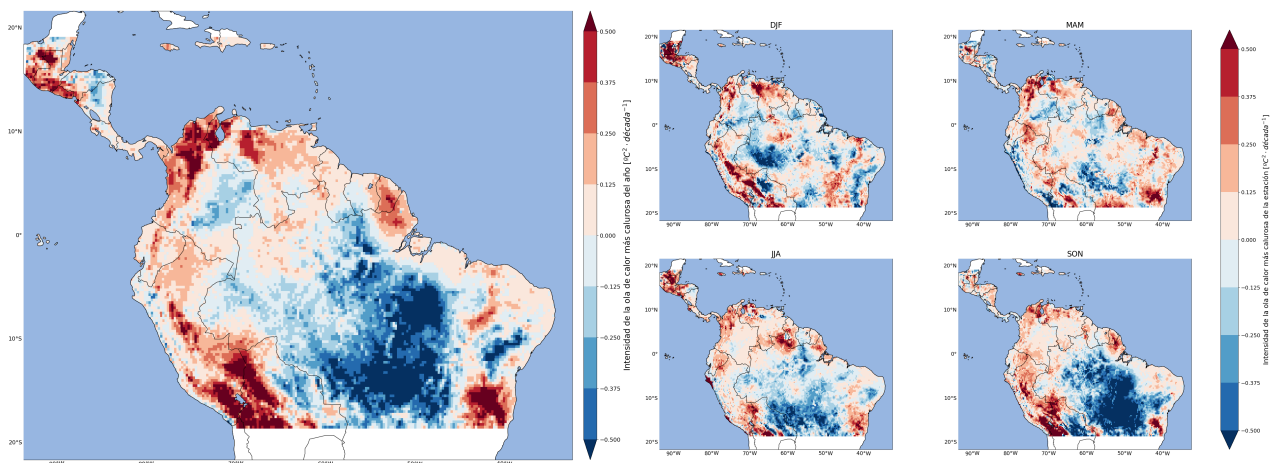
Se puede apreciar que tenemos tendencias marcadas (tanto positivas como negativas) en las zonas tropicales, que van menguando a medida que nos acercamos a los polos (sobre todo en el hemisferio norte).

#### **3.2.4. Intensidad de las olas de calor**

En la figura 45, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las tendencias de la intensidad de las olas de calor más intensas anual y estacionales. En la figura 45a tenemos la tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa anual: las zonas con una tendencia positiva más alta se dan en los Andes peruanos y bolivianos, el noreste de Colombia, Guatemala, El Salvador y una región en el centro-este de Brasil. En la frontera este entre las Guyanas y Brasil, Ecuador, regiones de la selva del Perú y Venezuela también se dan valores relativamente altos. Ahora bien, en la mayor parte del territorio visible de Brasil tenemos una tendencia negativa bastante marcada, sobre todo en las regiones centrales y al este de este país, así como en la selva boliviana. En las regiones al oeste de Brasil no tenemos una tendencia negativa tan marcada, y en las regiones al norte de Brasil tenemos una tendencia positiva tenue.

Si prestamos atención a la tendencia de la intensidad de las olas de calor más intensas por estación en la figura 45b, observamos que las tendencias varían bastante a lo largo del año. En el período DJF, las zonas con mayor tendencia positiva son los Andes peruanos y bolivianos, el norte de Cen-

troamérica costa norte y Andes de Colombia y el centro norte de Venezuela. También encontramos valores relativamente altos en la costa y el sur del Perú, y una franja al este de Brasil. Respecto a las tendencias negativas, se dan en las regiones de selva y sabana en América del Sur, pero de manera discontinua. Las tendencias más marcadas se dan en el oeste y en una región de la costa en el este de Brasil (así como diversos puntos aislados en la región central) y el norte de la selva boliviana. En el período MAM, las regiones con tendencias altas se dan en los Andes al norte de Colombia y en Bolivia, así como en el sur y sureste de Brasil. En cambio, los valores más marcados de tendencias negativas se dan en los Andes de la frontera de Perú, Chile y Bolivia, la costa y Andes norte del Perú, zonas de la selva de Bolivia y una región en el centro de Brasil. En el período JJA, las regiones con tendencias más altas se ven en unas regiones de la costa norte y sur del Perú, frontera norte entre Perú y Bolivia, Andes bolivianos, el centro-este de Brasil, la zona fronteriza de Venezuela, las Guyanas y Brasil y el norte de Centroamérica. Los territorios con tendencia negativa más marcada se encuentran en el centro de Brasil y selva de Bolivia, así como en el delta del Amazonas (el resto de Brasil tiene valores negativos más tenues). Finalmente, el período SON tiene una tendencia similar a la anterior, solo que mucho más marcada: las tendencias negativas ocupan casi toda la región visible de Brasil y la selva boliviana, mientras que los valores altos se ven en las regiones fronterizas de Perú y Bolivia y la región al este de Brasil.



(a) Tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año

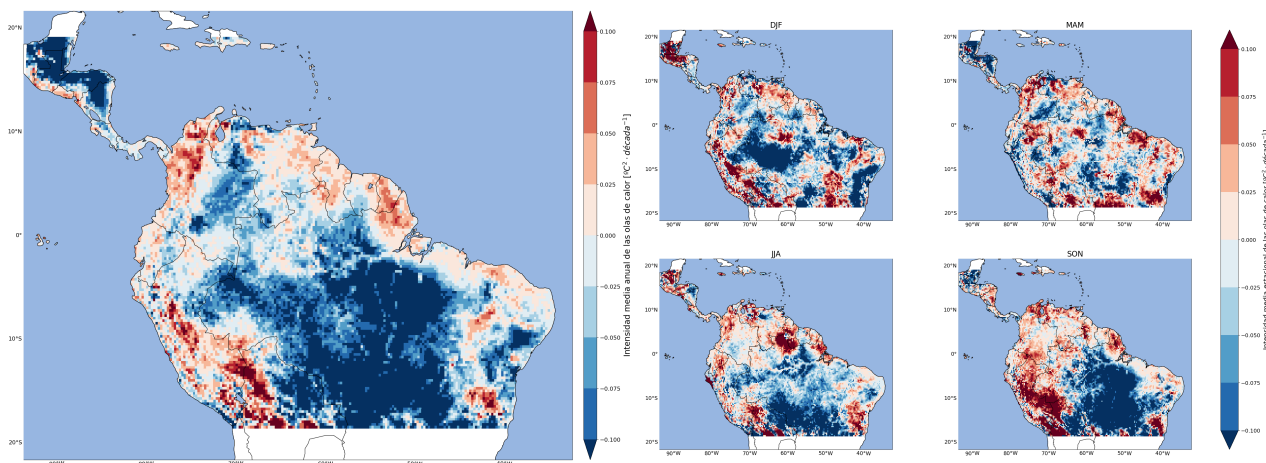
(b) Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 45: Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el norte de Sudamérica

La figura 46, que corresponde al norte de Sudamérica, representa las tendencias de la media de las intensidades de las olas de calor anuales y estacionales. En la figura 46a tenemos la tendencia de la media de las intensidades de las olas de calor anuales: la distribución de tendencias es muy similar a la de la intensidad de la ola de calor más intensa, pero con algunas diferencias notables. En primer lugar, las tendencias positivas y negativas son menos marcadas, y hay zonas en las que la intensidad de la ola de calor más intensa es positiva, pero la intensidad media de las olas de calor se vuelve negativa. El ejemplo más notorio de lo segundo se da en la mayor parte de Centroamérica, en la que produce un descenso en la intensidad en

la zona este de esta región. Del mismo modo, zonas de la selva de Sudamérica en las que la intensidad del evento más intenso tenían una tendencia positiva tenue, ahora tienen una tendencia negativa. Prácticamente la totalidad de selva y sabana sudamericana tiene una tendencia negativa, salvo una franja que va desde el centro-este de Brasil hasta las Guayanas y Venezuela.

Si prestamos atención a la tendencia de la media de las intensidades de las olas de calor estacionales en la figura 46b, observamos que las tendencias varían a lo largo del año de una manera bastante similar a como lo hace la intensidad del evento más intenso del año (con las particularidades que hemos comentado de esta magnitud).



(a) Tendencia de la intensidad media anual de las olas de calor

(b) Tendencias de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

Figura 46: Tendencias de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el norte de Sudamérica

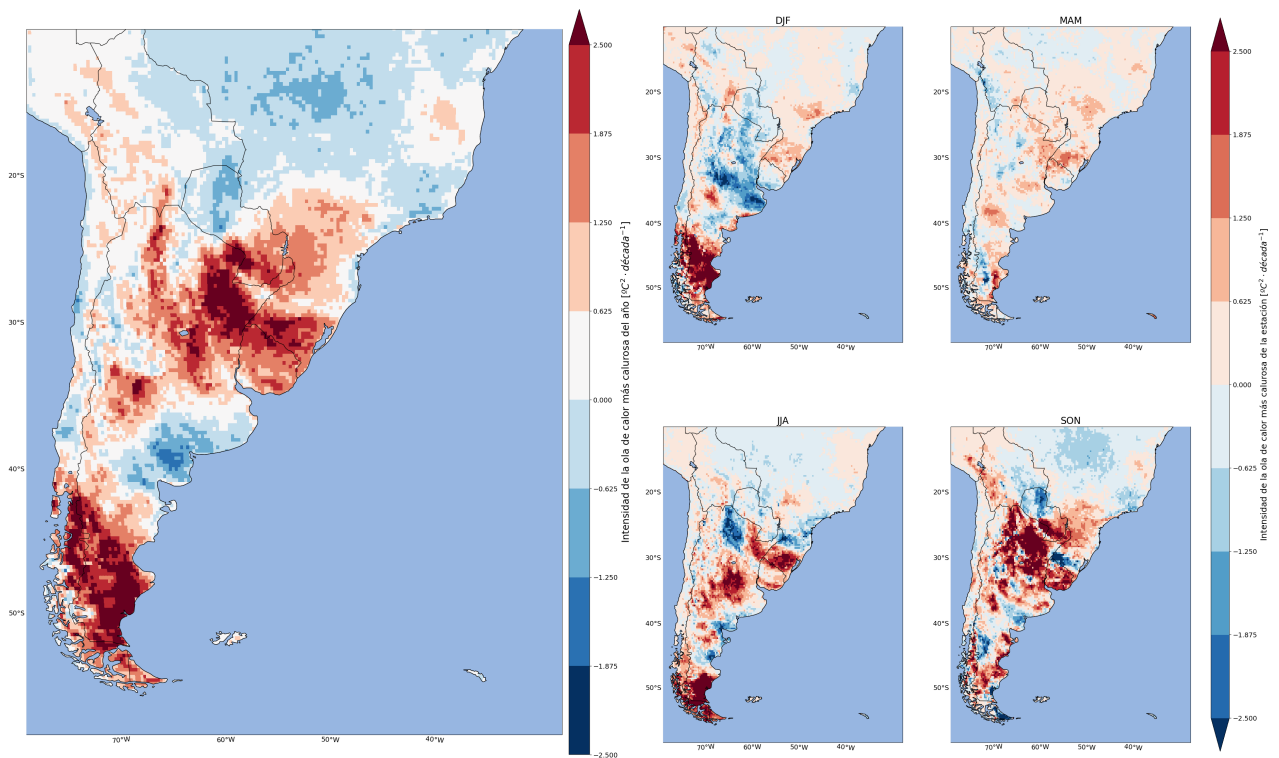
En la figura 47, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las tendencias de la intensidad de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. En la figura 47a tenemos la tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año: las tendencias positivas más altas las tenemos en el sur de la Patagonia y en una región que comprende Uruguay, sur de Brasil, sur de Paraguay y casi todo el noreste de Argentina (llegando hasta regiones centrales). Por otro lado, las regiones con tendencias negativas se encuentran en la selva de Bolivia, norte de Paraguay y su frontera con Argentina, costa en el centro-este de Brasil, centro de Chile, noreste de la Patagonia y una región de los Andes argentinos al norte. El resto del territorio tiene una tendencia tenue.

Si prestamos atención a la tendencia de la intensidad de las olas de calor más intensas de cada estación en la figura 47b, observamos que las tendencias de olas de calor son similares a la anual, pero tienen diferencias según la estación en la que estemos. En el período DJF, las tendencias positivas más altas se concentran en el sur de la Patagonia, mientras que las tendencias negativas se dan en la gran parte del centro y norte de Argen-

tina, sur de Uruguay, Paraguay, y algunas zonas de los Andes de Bolivia. En el período MAM, no hay tendencias muy marcadas en gran parte del territorio (las tendencias positivas ocupan casi todo el territorio). En el período JJA, las tendencias altas se dan en el sur de la Patagonia, centro de Argentina, y la zona fronteriza entre Argentina, Uruguay y Brasil. Las tendencias negativas las podemos ver en regiones al este de la Patagonia, sur de Brasil y el norte de Argentina. En el período SON, las tendencias altas se dan en una pequeña región al sur de la Patagonia y en casi todo el centro y norte de Argentina, Uruguay, sur de Paraguay y zonas del sur de Brasil. Las tendencias negativas ocupan poco territorio, y se encuentran en el norte de Paraguay, frontera entre Uruguay y Brasil y unas pequeñas regiones en el sureste, el oeste y el noreste de la Patagonia.

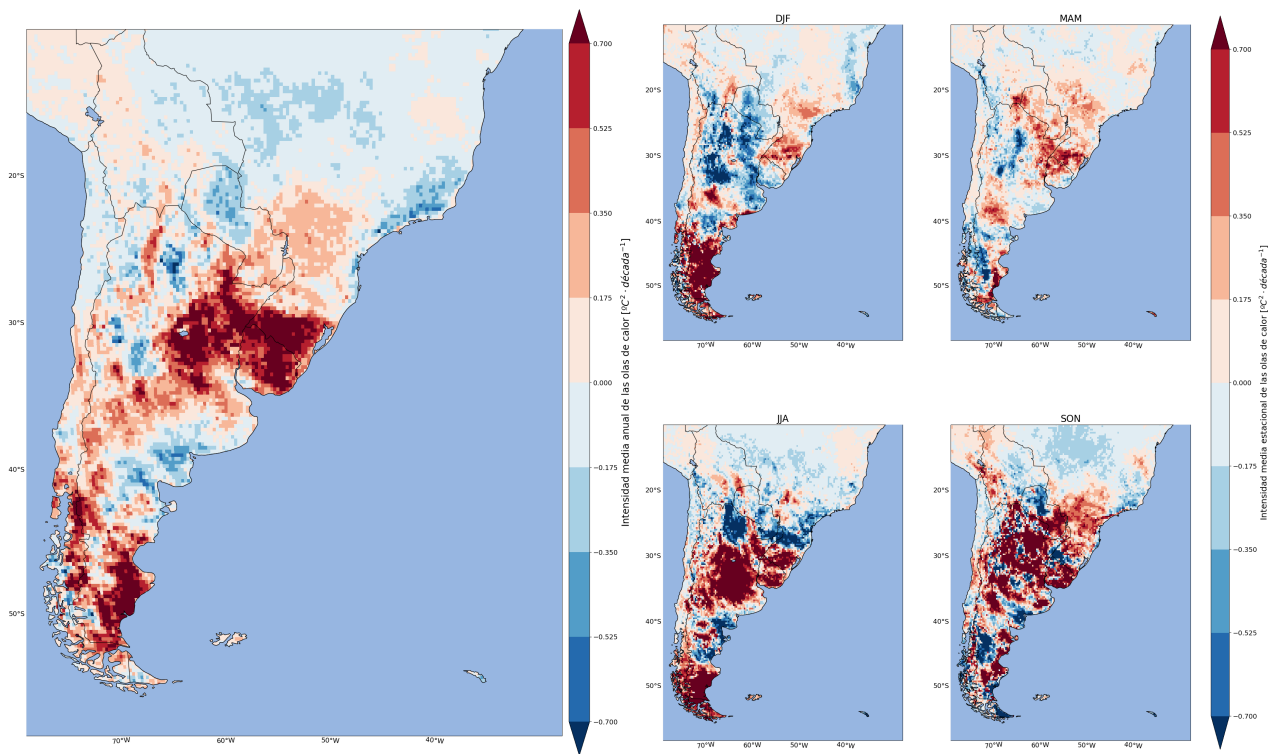
En la figura 48 tenemos las tendencias de la media de las intensidades de las olas de calor anuales y de cada estación. La distribución es prácticamente la misma, con la diferencia de que las tendencias se ven más marcadas (al ser la escala más pequeña).





(a) Tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año (b) Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 47: Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el sur de Sudamérica



(a) Tendencia de la intensidad media anual de las olas de calor (b) Tendencias de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

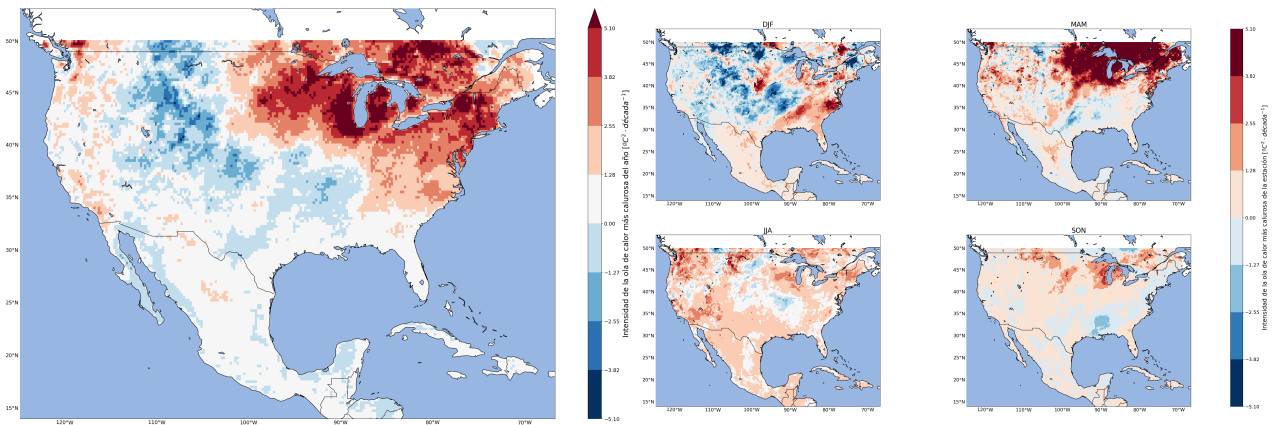
Figura 48: Tendencias de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el sur de Sudamérica

La figura 49, que corresponde al sur de Norteamérica, representa las tendencias de la intensidad de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. En la figura 49a tenemos la tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año: en general, vemos que los valores aumentan a medida que nos desplazamos al noreste. Se ve claramente que las tendencias relativamente altas y altas se dan en la región al noreste de los Estados Unidos, abarcando el Medio Oeste, la región de los Grandes Lagos y gran parte de la costa este. Del mismo modo, en la costa oeste de los Estados Unidos (introduciéndose al interior hasta el oeste de la Cordillera Norteamericana) tenemos valores relativamente altos. Por otro lado, en Estados Unidos tenemos valores negativos marcados a lo largo de la Cordillera Norteamericana (sobre todo en el centro-norte) llegando hasta el centro del país. Del mismo modo, tenemos tendencias negativas en la Península de California, costa oeste y sur de México (además de puntos desperdigados por el país) y algunos puntos en islas del Caribe. El resto del territorio tiene valores positivos muy tenues.

Si prestamos atención a la tendencia de la intensidad de las olas de calor más intensas de cada estación en la figura 49b, observamos que cada estación es muy diferente al resto. En el período DJF, las tendencias positivas marcadas las vemos en una pequeña en una región del Medio Oeste, en los Grandes Lagos, costa este y sureste de los Estados Unidos. El resto del país tiene valores negativos, especialmente marcados en las regiones centrales, y se vuelve más tenue a medida que vamos al oeste y al sur. En el período MAM, tenemos valores positivos muy altos en el Medio Oeste, la región de los Grandes lagos y el norte de la costa este de Estados Unidos, así como valores relativamente altos en el oeste del país. Las tendencias negativas las encontramos en pequeñas regiones en el norte y el sur de Estados Unidos. En el período JJA, la mayor parte de todo el territorio tiene concentraciones positivas relativamente altas, con tendencias algo marcadas alrededor de los Grandes Lagos y en el oeste de Estados Unidos. Las tendencias negativas se dan en el oeste del Medio Oeste y en el centro de Estados Unidos. Finalmente, en el período SON tenemos va-

lores tenues (para tendencias positivas positivas y negativas) en casi todo el territorio. Tenemos tendencias positivas marcadas en el Medio Oeste y norte de Estados Unidos, y tendencias negativas en el sur de Estados Unidos.

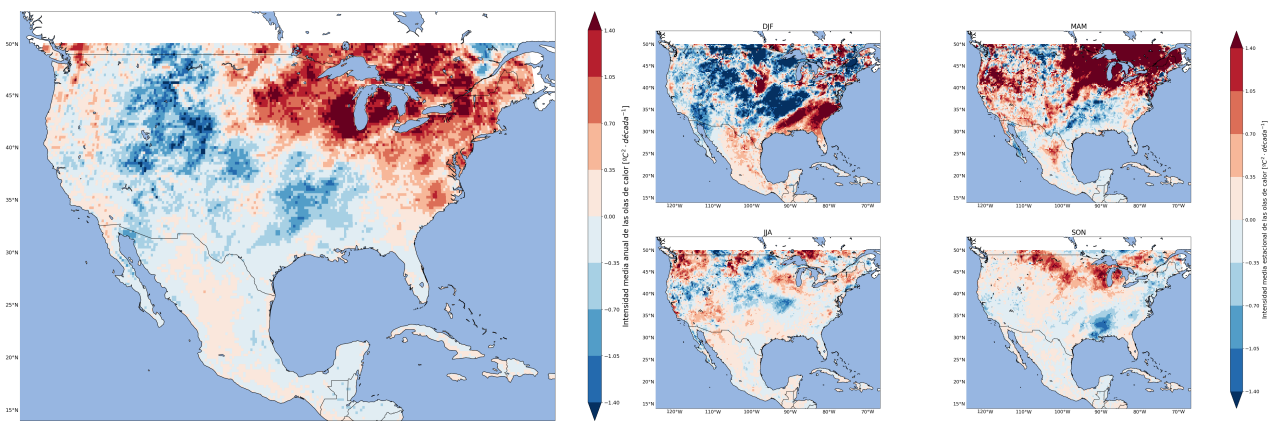
En la figura 50 tenemos las tendencias de la intensidad media de las olas de calor anuales y de cada estación. La distribución que siguen es similar a la de la intensidad de la ola de calor más intensa, con la diferencia de que en el mapa se ve más marcado (pues la escala es más pequeña).



(a) Tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año

(b) Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 49: Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el sur de Norteamérica



(a) Tendencia de la intensidad media anual de las olas de calor

(b) Tendencias de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

Figura 50: Tendencias de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el sur de Norteamérica

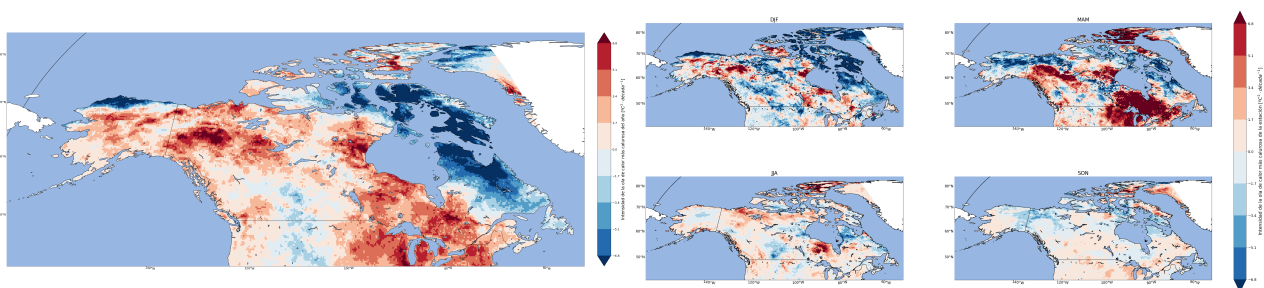
En la figura 51, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación. En la figura 51a tenemos la tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año. Vemos que hay tendencias muy marcadas en una franja que va desde Alaska

hasta todo el noroeste de Canadá, así como en las regiones al oeste y sur de la Bahía de Hudson y las islas más al norte de Canadá. En cambio, vemos valores negativos en el centro de la frontera de Estados Unidos con Canadá, el norte de Alaska, el este y norte de la Bahía de Hudson y algunas islas al norte de Canadá.

Si prestamos atención a la tendencia de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación en la figura 51b, observamos que varía enormemente en función de la estación. En el período DJF, tenemos tendencias negativas marcadas en gran parte del territorio. Las tendencias positivas las vemos en la mayor parte de Alaska y el oeste de Canadá, así como el oeste y sur de la Bahía de Hudson y una isla del norte de Canadá. Las tendencias negativas las vemos en el norte de Alaska, norte, centro e islas al noreste de Canadá y el este y norte de la Bahía de Hudson. En el período MAM las tendencias positivas marcadas las hallamos en el oeste, parte del norte y las islas más al norte de Canadá y en el oeste, parte del sur y este de la Bahía de Hudson. Las tendencias negativas las vemos en una franja que va de Alaska hasta el noroeste de Canadá, una región en el centro de Canadá y la parte norte del este y el norte de la Bahía de Hudson, así como una isla al norte de Canadá. En el período JJA, las tendencias se vuelven más tenues. Las tendencias positivas marcadas las vemos en las islas más al norte y

en el noroeste de Canadá, así como en el sur de la Bahía de Hudson. Las tendencias negativas las vemos en el centro y en una isla al norte de Canadá y en el oeste y este de la Bahía de Hudson. Finalmente, en el período SON tenemos valores poco marcados. Las tendencias positivas relativamente altas las vemos en las islas más al norte de Canadá, mientras que las tendencias negativas las vemos en una franja que va del este de Alaska al noroeste de Canadá y al norte de la Bahía de Hudson.

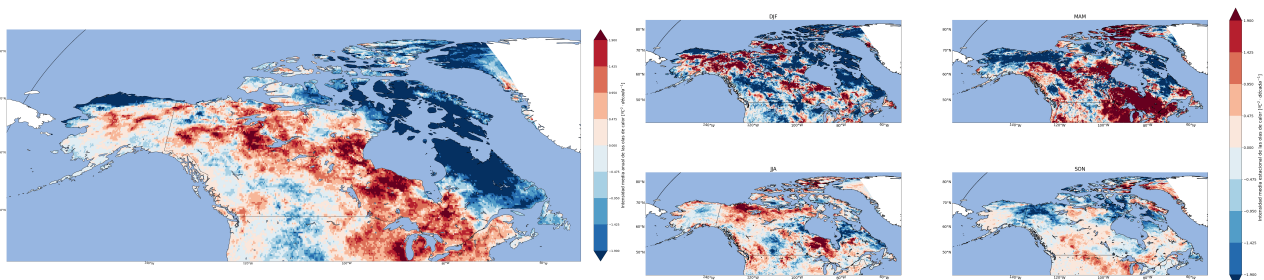
En la figura 52 tenemos la tendencia de la media de las intensidades de las olas de calor al año y por estación. Son muy similares respecto al HWA, pero vemos las tendencias bastante más marcadas. Del mismo modo, en la tendencia de las intensidades de las olas de calor al año, vemos que hay zonas que, mientras que en el HWA eran positivas, en este caso son negativas. Eso lo vemos en el oeste y sur de Alaska, regiones en el noroeste y oeste de Canadá y la mayor parte de las islas del norte de Canadá.



(a) Tendencia de la intensidad de la ola de calor más intensa del año

(b) Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas de cada estación

Figura 51: Tendencias de las intensidades de las olas de calor más intensas del año y de cada estación en el norte de Norteamérica



(a) Tendencia de la intensidad media anual de las olas de calor

(b) Tendencias de las intensidades medias estacionales de las olas de calor

Figura 52: Tendencias de las intensidades medias anual y estacionales de las olas de calor en el norte de Norteamérica

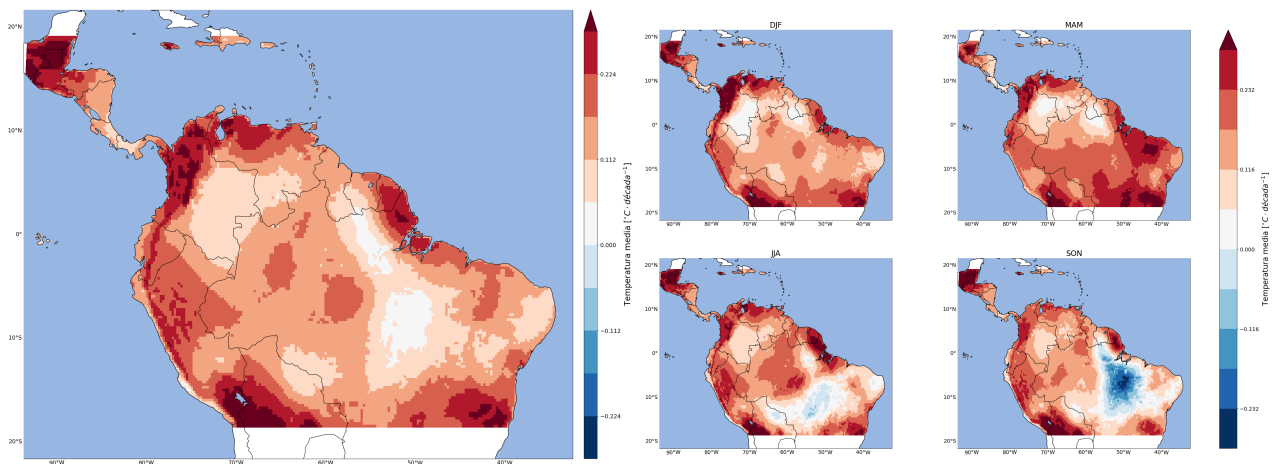
Podemos comprobar que las tendencias de la intensidad son más tenues en la zona tropical, y van aumentando enormemente a medida que nos acercamos a los polos (tanto la tendencia positiva como la negativa). La localización de tendencias negativas o positivas no parece depender de la latitud.

### 3.2.5. Temperatura a dos metros sobre la superficie

En la figura 53, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 53a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la su-

perficie. En general, en todo el territorio van a subir considerablemente las temperaturas, salvo en la mitad oeste de Colombia, sur de Venezuela, sur de Centroamérica y en especial en una franja al oeste de Brasil.

En la figura 53b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución es muy similar a la media anual, con la diferencia de que se puede apreciar el efecto de los meses de verano o de invierno en la temperatura. Se puede comprobar que en la franja de Brasil en la que no hay un aumento práctico de temperatura, en los períodos DJF y MAM sí que tiene un incremento de temperatura, pero en los períodos JJA y SON la temperatura media tiende a disminuir de manera considerable.



(a) Tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie

(b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

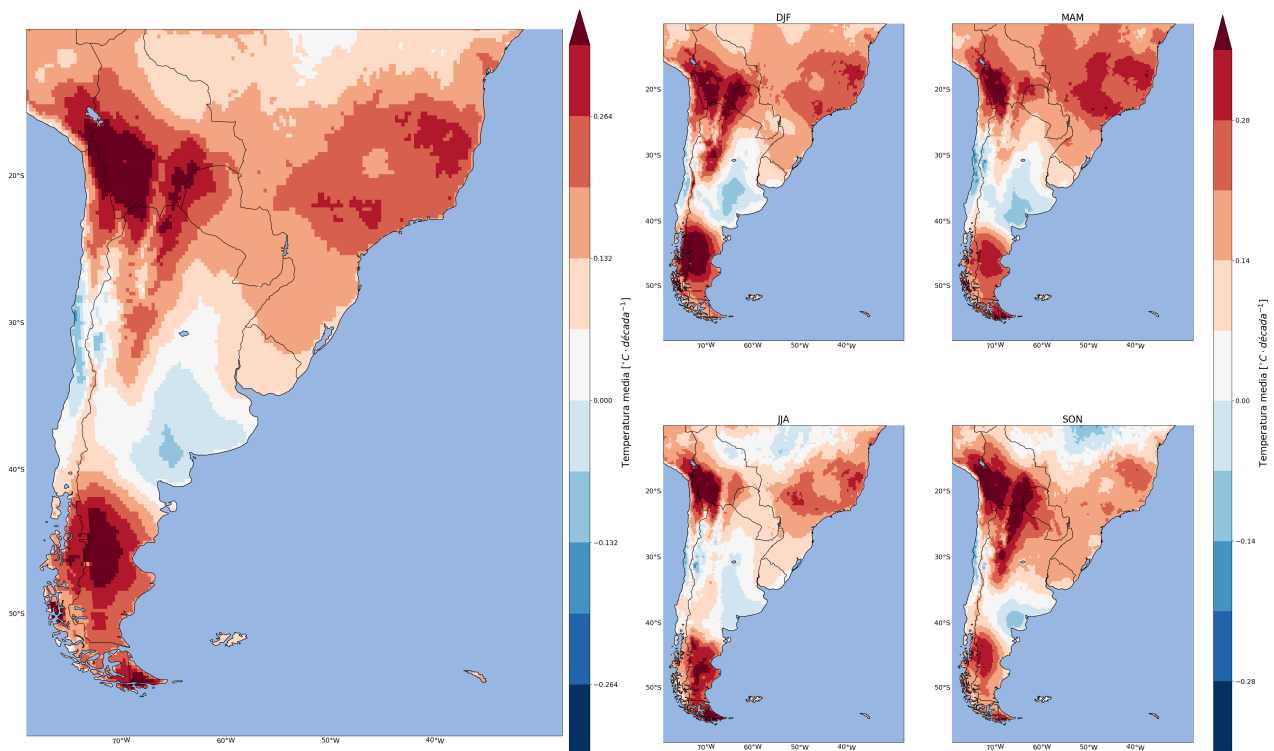
Figura 53: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el norte de Sudamérica

En la figura 54, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 54a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. En casi todo el territorio la tendencia es positiva, sobre todo en el sur de la Patagonia y suroeste de Bolivia, pero en el centro de Chile y noreste de la Patagonia las tendencias son negativas (esta última está rodeada de zonas que no tiene un aumento o disminución marcada de temperatura).

En la figura 54b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución es muy similar a la media anual, con la diferencia de que se puede apreciar el efecto de los meses de verano o de invierno en la temperatura. Respecto a las tendencias positivas marcadas, las del sur de Bolivia se expanden hacia el este de Paraguay y hacia Argentina en los períodos SON Y DJF, mientras que en los períodos MAM y JJA cubre menos territorio. La tendencia negativa del norte de la Patagonia no varía mucho en extensión salvo en el período SON (en la que tiene menos territorio),



pero tiene más intensidad en los períodos DJF y MAM.



(a) Tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie

(b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

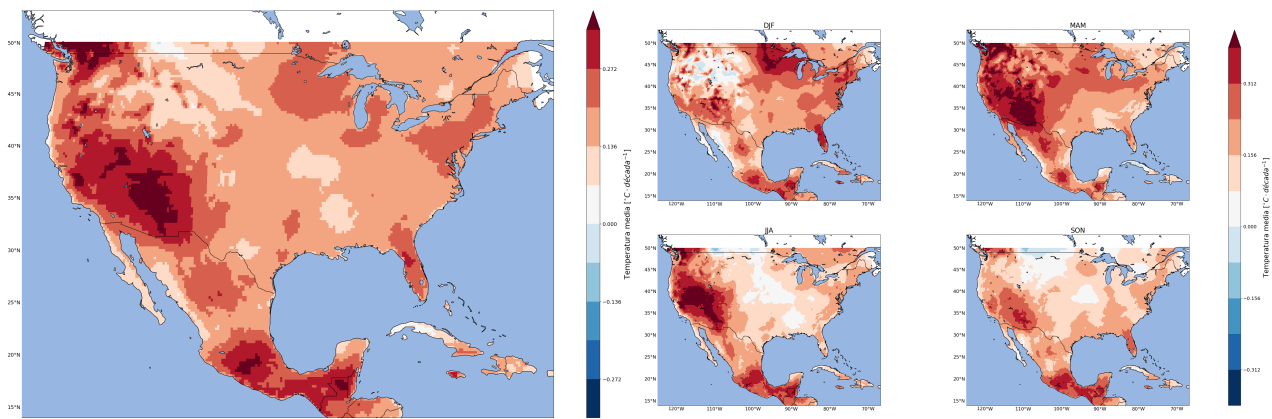
Figura 54: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el sur de Sudamérica

En la figura 55, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 55a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. Observamos que en todo el territorio la temperatura tiene una tendencia positiva, sobre todo en la Cordillera Norteamericana, el norte de la costa oeste de Estados Unidos y el sur de México.

En la figura 55b están representadas las tenden-

cias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie, y hay variación de tendencias dependiendo de la estación. En la mitad oeste de Estados Unidos, el período DJF tiene zonas de tendencia negativa en el norte y de tendencia positiva en el sur, mientras que el resto tiene tendencia positiva media. En cambio, en los períodos MAM y JJA la mitad oeste de Estados Unidos tiene una tendencia positiva muy marcada, mientras que en el período SON es menos intensa. El resto de Estados Unidos tiene tendencias poco marcadas en el período JJA y SON.





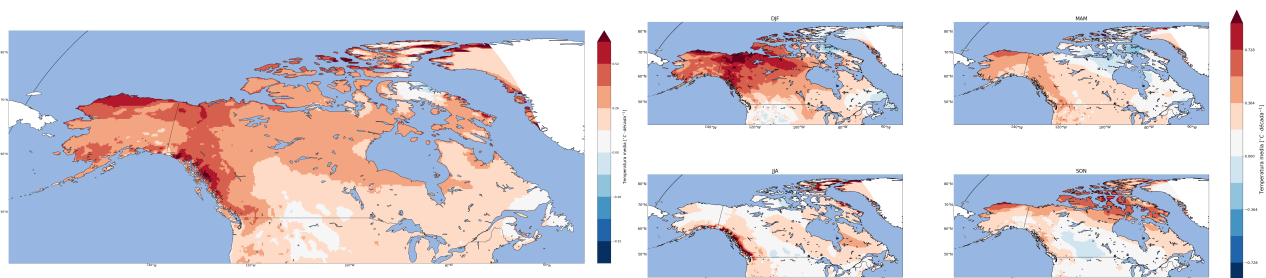
(a) Tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie (b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

Figura 55: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el sur de Norteamérica

En la figura 56, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie. En la figura 56a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie. En general, la tendencia es positiva en todo el territorio, sobre todo en la costa oeste de Canadá, norte de Alaska y algunas regiones de las islas al noreste de Canadá. En estas mismas islas, también hay regiones con tendencia negativa tenue.

En la figura 56b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie. La distribución e intensidad varían mucho a lo largo del año. En las islas al Noreste de Canadá, hay regiones con tendencias negativas en los períodos DJF y MAM, y también hay tendencias negativas tenues en el sur de la costa este de Canadá. Por otro lado, en el período DJF tenemos las tendencias positivas más marcadas en la mitad oeste de Canadá, mientras que el período JJA es el menos intenso en general (con las excepciones de la costa oeste de Canadá y regiones de las islas al noreste de Canadá, con tendencias positivas intensas).

En la figura 56b están representadas las tenden-



(a) Tendencia de la temperatura media anual a dos metros sobre la superficie (b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales a dos metros sobre la superficie

Figura 56: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales a dos metros sobre la superficie en el norte de Norteamérica

### 3.2.6. Precipitaciones totales

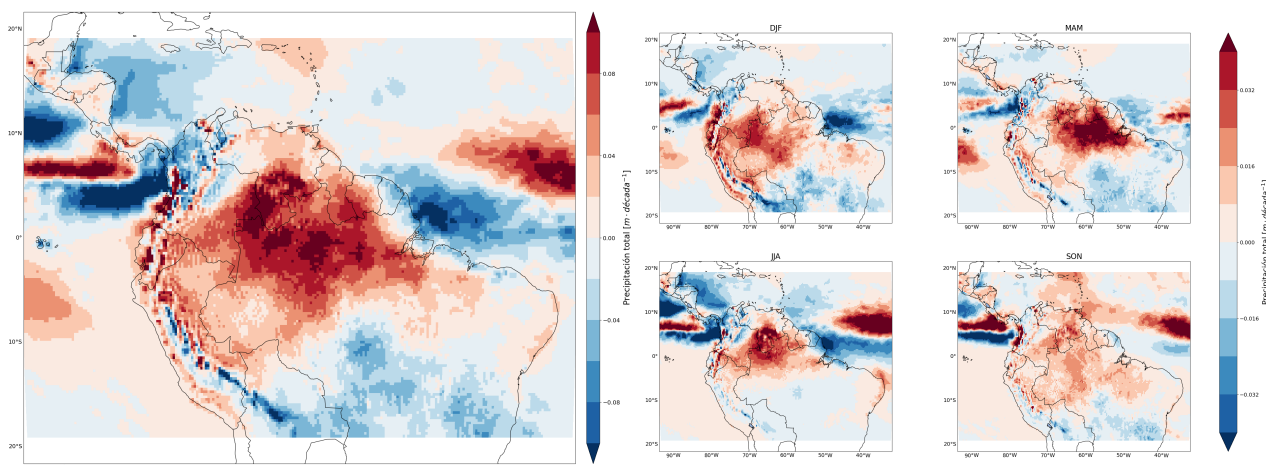
En la figura 57, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las tendencias de las precipitaciones totales medias anual y estaciona-

les. En la figura 57a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la precipitación total media anual. En general, en gran parte del territorio aumentan las precipitaciones, sobre todo en el sur de la costa colombiana, la costa ecuatoriana y la

costa peruana, así como en la selva de Perú, sur de Colombia y Venezuela, las Guayanas y noroeste de Brasil. Sin embargo, también hay zonas con tendencias negativas, como pueden ser los Andes peruanos, gran parte de Bolivia, centro de Brasil, una pequeña región al noreste de Brasil y el norte de Colombia.

En la figura 57b están representadas las tenden-

cias de las precipitaciones totales medias estacionales. La distribución es similar a la media anual, pero tiene algunas variaciones a lo largo de las estaciones. Por ejemplo, las tendencias positivas en las regiones al oeste y sur de los Andes son más intensas en los períodos MAM y JJA, mientras que las tendencias al sur del ecuador son muy tenues en el período JJA.



(a) Tendencia de la precipitación acumulada media anual

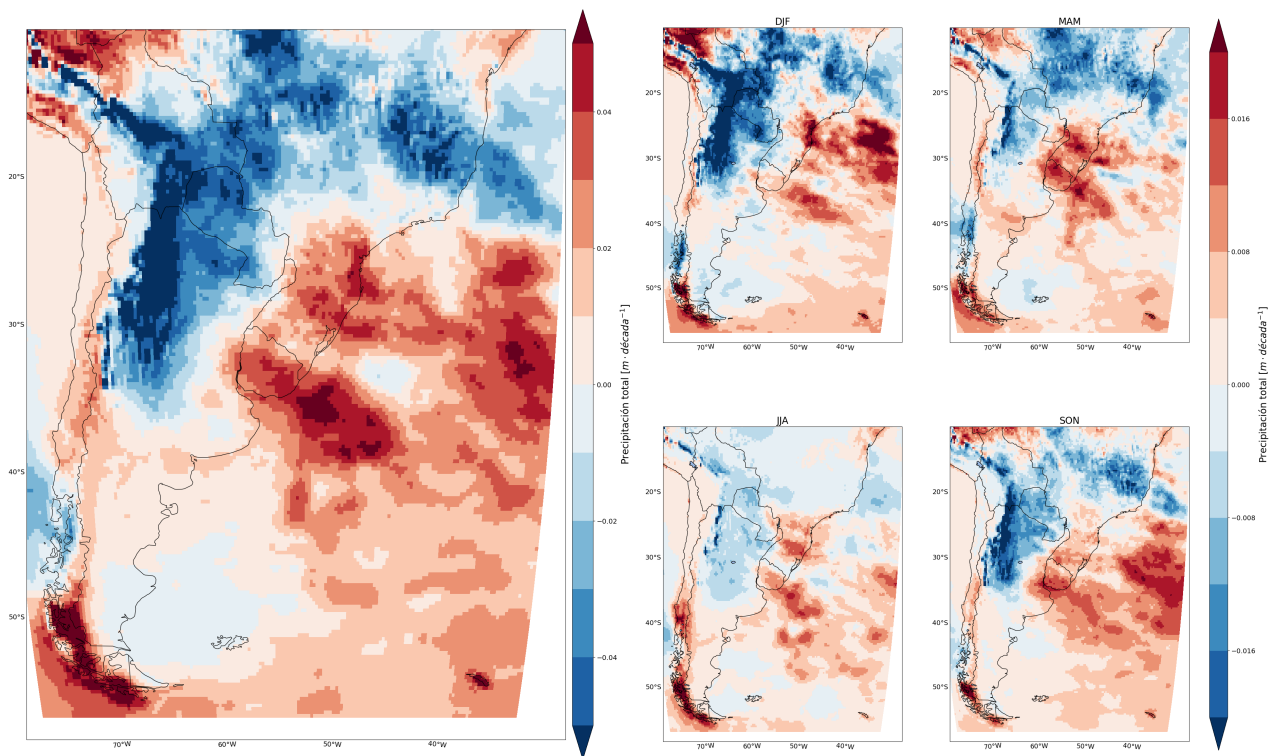
(b) Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias estacionales

Figura 57: Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias anual y estacionales en el norte de Sudamérica

En la figura 58, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las tendencias de las precipitaciones totales medias anual y estacionales. En la figura 58a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la precipitación total media anual. Observamos que en gran parte de Bolivia, Paraguay y noroeste de Argentina hay tendencias negativas muy intensas, así como tendencias negativas más tenues entre los 40 °S y 50 °S

en la costa de Chile. El resto del territorio tiene tendencias positivas, especialmente en el sur de Brasil, Uruguay y suroeste de la Patagonia.

En la figura 58b están representadas las precipitaciones totales medias estacionales. La distribución es similar a la media anual, aunque en el período JJA las tendencias son más tenues que en el resto de estaciones.



(a) Tendencia de la precipitación acumulada media anual

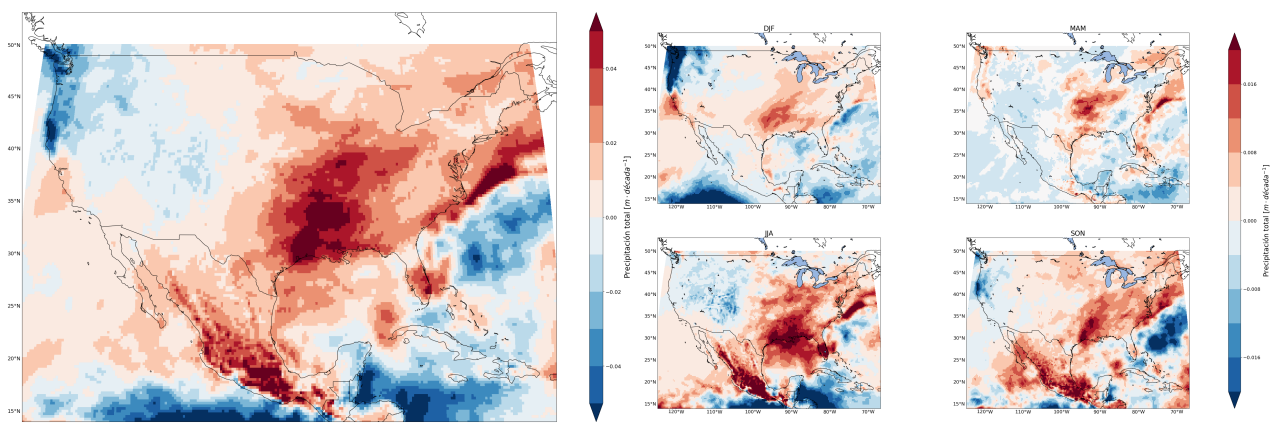
(b) Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias estacionales

Figura 58: Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias anual y estacionales en el sur de Sudamérica

En la figura 59, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las tendencias de las precipitaciones acumuladas medias anual y estacionales. En la figura 59a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la precipitación acumulada media anual. En general, las precipitaciones acumuladas tienden a aumentar en la mayor parte de México y mitad este de Estados Unidos (con especial intensidad en el Golfo de México), mientras que la tendencia es negativa en las islas del Caribe, suroeste de México y gran parte de la mitad oeste de Estados Unidos (sobre todo en las

costas de Oregón y Washington).

En la figura 59b están representadas las tendencias de las precipitaciones totales medias estacionales. La distribución es similar a la media anual, aunque la intensidad varía bastante a lo largo de las estaciones. El período DJF es bastante tenue en casi todo el territorio salvo en las costas de Oregón y Washington, con especial tendencia negativa. En cambio, las tendencias positivas alrededor del Golfo de México son especialmente marcadas en los períodos JJA y SON.

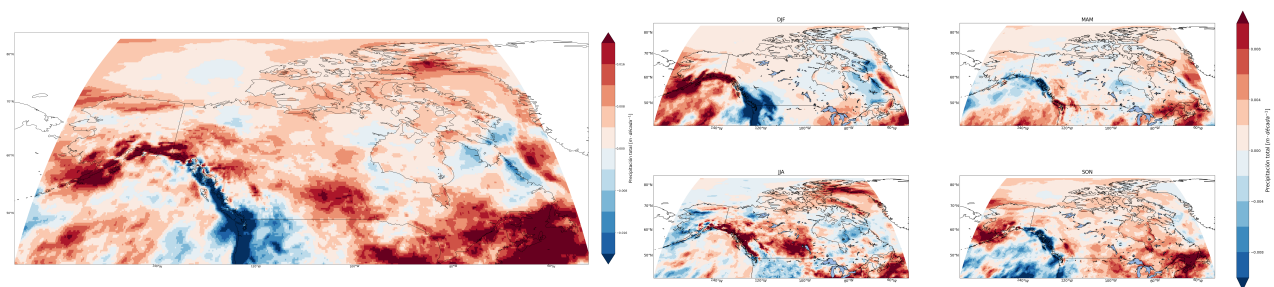


(a) Tendencia de la precipitación acumulada media anual (b) Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias estacionales

Figura 59: Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias anual y estacionales en el sur de Norteamérica

En la figura 60, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las tendencias de las precipitaciones totales medias anual y estacionales. En la figura 60a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la precipitación total media anual. En general, la tendencia de las precipitaciones es positiva en casi todo el territorio, especialmente en el sur de Alaska, costa este y centro de Canadá. Ahora bien, la costa oeste de Canadá y la región al oeste de la Bahía de Hudson tienen tendencias negativas.

En la figura 60b están representadas las tendencias de las precipitaciones totales medias estacionales. La distribución es similar a la media anual, aunque hay algunos cambios dependiendo de la estación. Por ejemplo, la costa oeste de Canadá tiene tendencia negativa casi todo el año, salvo en el período JJA, en la que tiene tendencia positiva intensa. Lo contrario ocurre en Alaska, con tendencia positiva todo el año menos en el período JJA.



(a) Tendencia de la precipitación acumulada media anual (b) Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias estacionales

Figura 60: Tendencias de las precipitaciones acumuladas medias anual y estacionales en el norte de Norteamérica

### 3.2.7. Temperatura superficial del océano

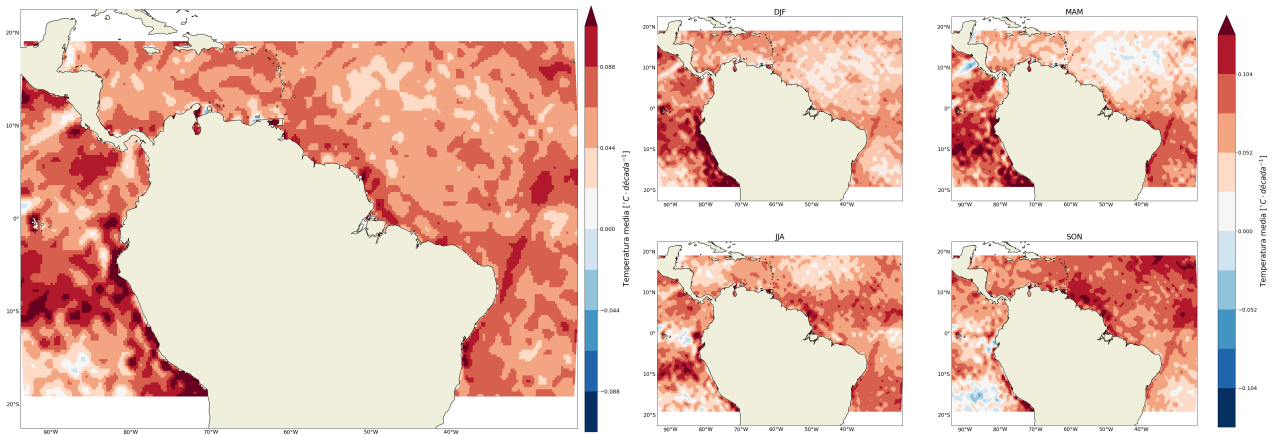
En la figura 61, que corresponde al norte de Sudamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 61a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la tem-

peratura media anual de la superficie del océano. En todo el territorio la tendencia es positiva, sobre todo en las costas ecuatoriana y peruana.

En la figura 61b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es similar

a la media anual. En el Pacífico, las tendencias son más intensas en los períodos DJF y MAM, mientras que en el Atlántico lo son en los períodos JJA y SON. Del mismo modo, en el período

MAM hay una pequeña región en el Pacífico en Centroamérica con tendencias negativas, así como en Ecuador y Perú en el período SON.



(a) Tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano

(b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

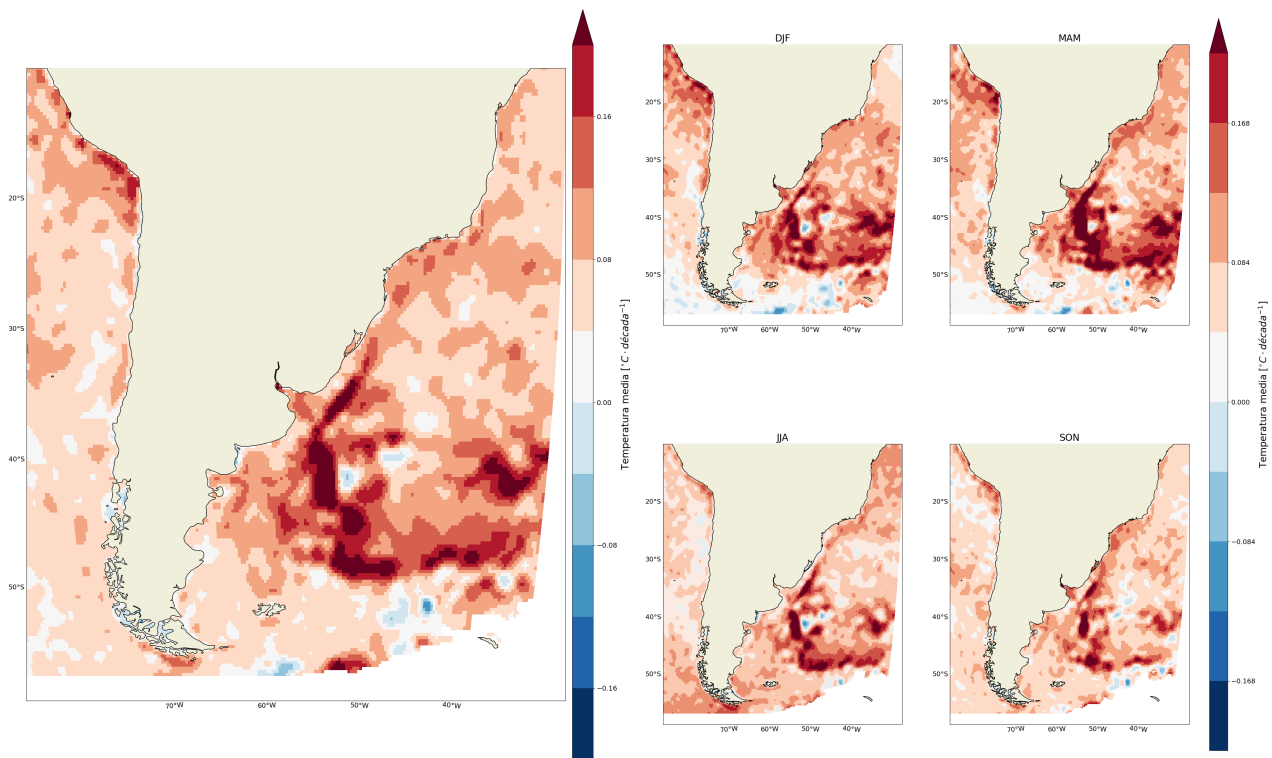
Figura 61: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el norte de Sudamérica

En la figura 62, que corresponde al sur de Sudamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 62a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano. En casi todo el territorio la tendencia es positiva, sobre todo en el Atlántico entre los 30 °S y los 50 °S. Hay algunas pequeñas regiones con tendencias negativas en esta zona y al sureste de la

Patagonia.

En la figura 62b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero en general las tendencias son más intensas en los períodos DJF y MAM. En el suroeste de la Patagonia las tendencias son más tenues en los períodos DJF y MAM, mientras que el período más intenso es el JJA.





(a) Tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano

(b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

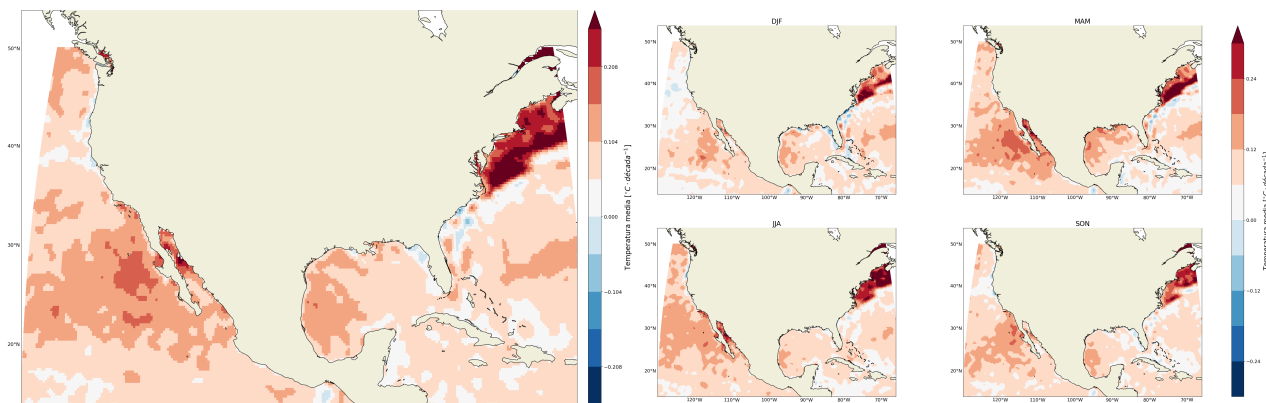
Figura 62: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el sur de Sudamérica

En la figura 63, que corresponde al sur de Norteamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 63a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano. En general, las tendencias son positivas en todo el territorio, especialmente en el norte de la costa este de Estados Unidos. Hay pequeñas regiones con

tendencias negativas en el sur de la costa este de Estados Unidos, costa oeste de Florida y la costa oeste.

En la figura 63b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero se puede notar el efecto de las estaciones en la distribución de la temperatura.





(a) Tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano

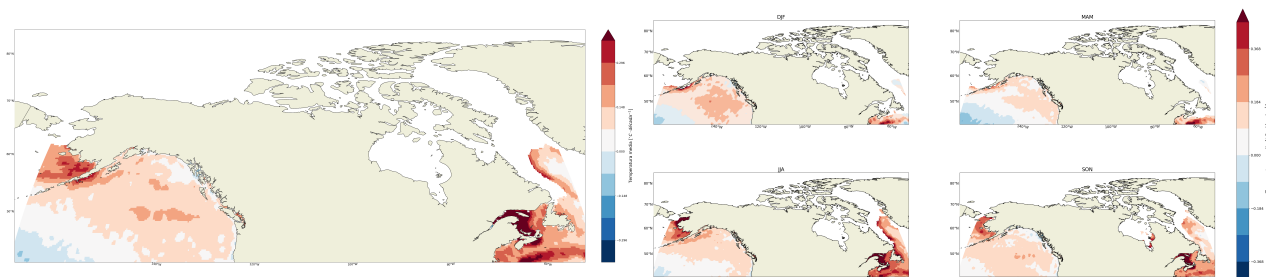
(b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

Figura 63: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el sur de Norteamérica

En la figura 64, que corresponde al norte de Norteamérica, están representadas las tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano. En la figura 64a se puede apreciar la distribución de la tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano. En general, la tendencia es positiva en todo el territorio, especialmente en la costa este de Canadá. Vemos tendencias negativas mar adentro en la

costa oeste de Canadá.

En la figura 64b están representadas las tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano. La distribución es prácticamente igual a la media anual, pero las tendencias positivas son especialmente intensas en los períodos JJA y SON. En cambio, las tendencias negativas son más marcadas en el período MAM.



(a) Tendencia de la temperatura media anual de la superficie del océano

(b) Tendencias de las temperaturas medias estacionales de la superficie del océano

Figura 64: Tendencias de las temperaturas medias anual y estacionales de la superficie del océano en el norte de Norteamérica

### 3.3. Casos de olas de calor en la América tropical

En este apartado hacemos un estudio preliminar de algunas olas de calor en la América tropical durante el período 1951-2020. Hemos seleccionado algunos años en los que las olas de calor en el norte de Sudamérica fueron muy intensas y/o abarcaron gran parte del territorio. El objetivo es intentar relacionar la intensidad máxima de

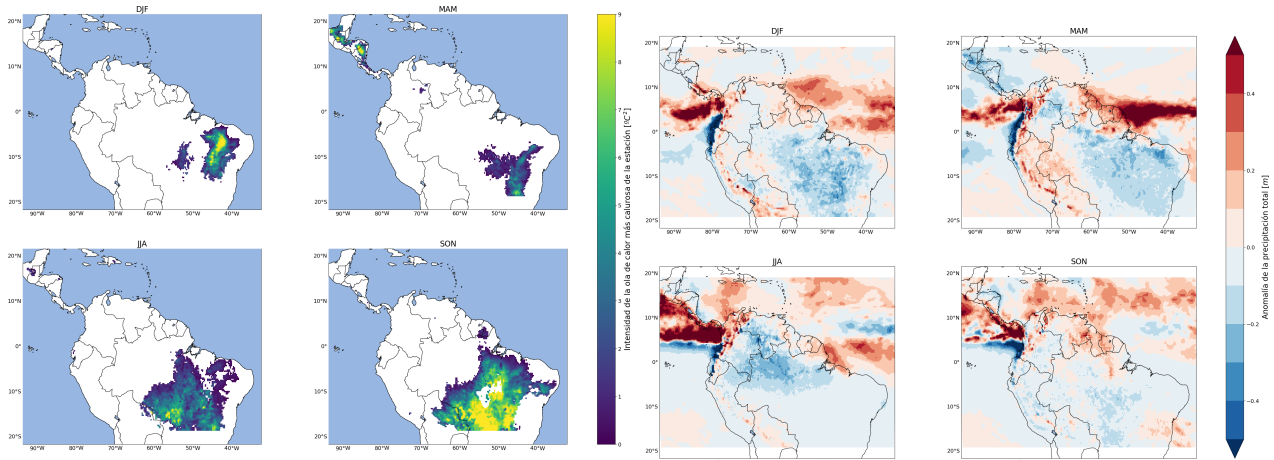
las olas de calor con las anomalías en las precipitaciones durante el año en el que ocurren, así como anomalías en la temperatura superficial del océano en el año en el que ocurren y el anterior.

#### 3.3.1. Olas de calor de 1955

En la figura 65 podemos ver las olas de calor en 1955. En la figura ?? se puede observar que afectó, sobre todo, al sureste del territorio duran-

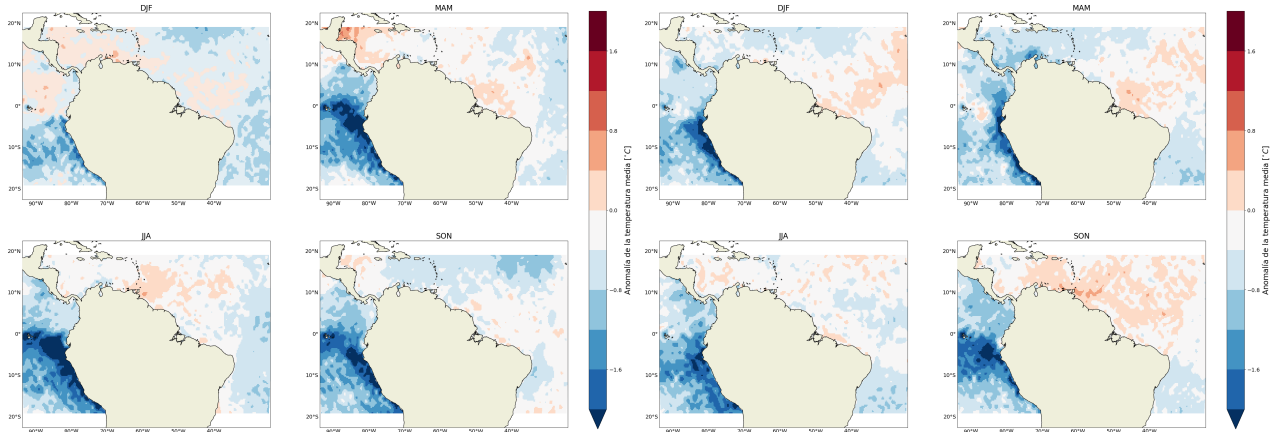
te todo el año, pero fue especialmente intenso en el período SON. Sin embargo, también afectó a América Central en el período MAM. En la figura 65b se puede comprobar las anomalías de precipitaciones en cada estación, y se puede comprobar que hubo un déficit de precipitaciones en gran parte de Brasil durante todos los períodos (a excepción del período SON, en el que hay zonas con más precipitaciones que la media). Del mismo modo, en América Central hubo sequía en las zonas afectadas en los períodos DJF y MAM, y algunas zonas continuaron con sequía en los pe-

ríodos JJA y SON. Finalmente, en las figuras 65c y 65d podemos ver las anomalías de temperatura superficial del océano en 1954 y 1955, respectivamente. En América Central, podemos ver que en ambas costas la temperatura era menor a la media en los períodos DJF y MAM de 1955, y en la costa oeste esa situación venía dada desde el período MAM de 1954. Del mismo modo, el sur de la costa oeste de Sudamérica (y en ocasiones, el norte también) ha tenido una temperatura inferior a la media en todas las estaciones desde 1954.



(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 1955

(b) Anomalías estacionales de precipitación en 1955



(c) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1954

(d) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1955

Figura 65: Olas de calor en 1955

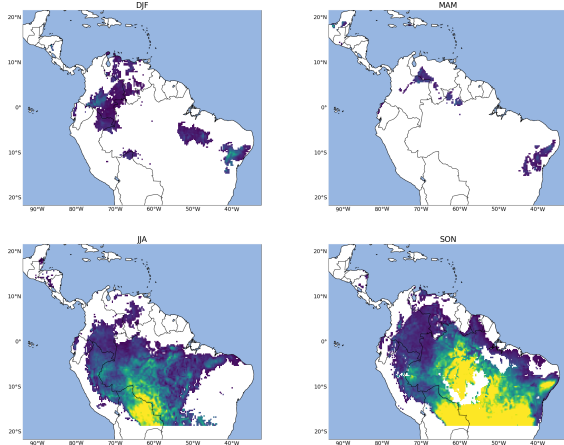
### 3.3.2. Olas de calor de 1963

En la figura 66 podemos ver las olas de calor en 1963. En la figura ?? se puede observar que afectó a gran parte de la selva al este y sur de los Andes en los períodos JJA y SON. En la figura 66b

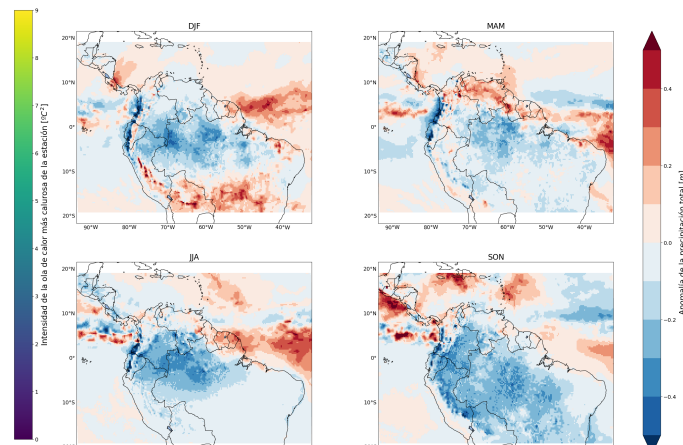
se puede comprobar las anomalías de precipitaciones en cada estación, y se puede comprobar que hubo un déficit de precipitaciones en casi todo el territorio afectado en todas las estaciones (con una sequía especialmente intensa en el período SON), con la excepción de la selva del Perú

y sur de Brasil, que tuvo superávit de precipitaciones en el período DJF. Finalmente, en las figuras 66c y 66d podemos ver las anomalías de temperatura superficial del océano en 1962 y 1963, respectivamente. En la costa oeste de Sudamérica la anomalía de temperatura ha variado a lo largo de las estaciones, con períodos cálidos y otros

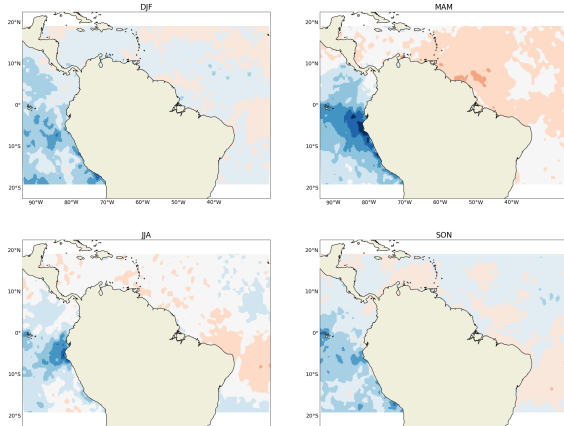
más fríos. En el año 1962 los períodos MAM y JJA fueron algo más cálidos que la media, mientras que los períodos DJF y SON fueron algo más fríos. En el año 1963, el período DJF, MAM y SON fueron más cálidos de lo normal, mientras que en el período JJA las costas fueron algo más frías.



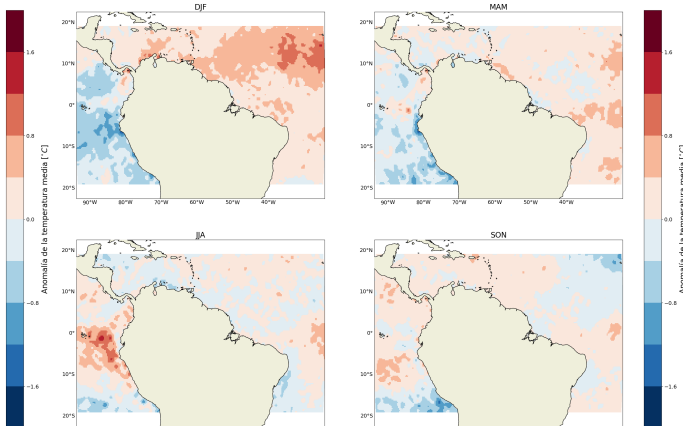
(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 1963



(b) Anomalías estacionales de precipitación en 1963



(c) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1962



(d) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1963

Figura 66: Olas de calor en 1963

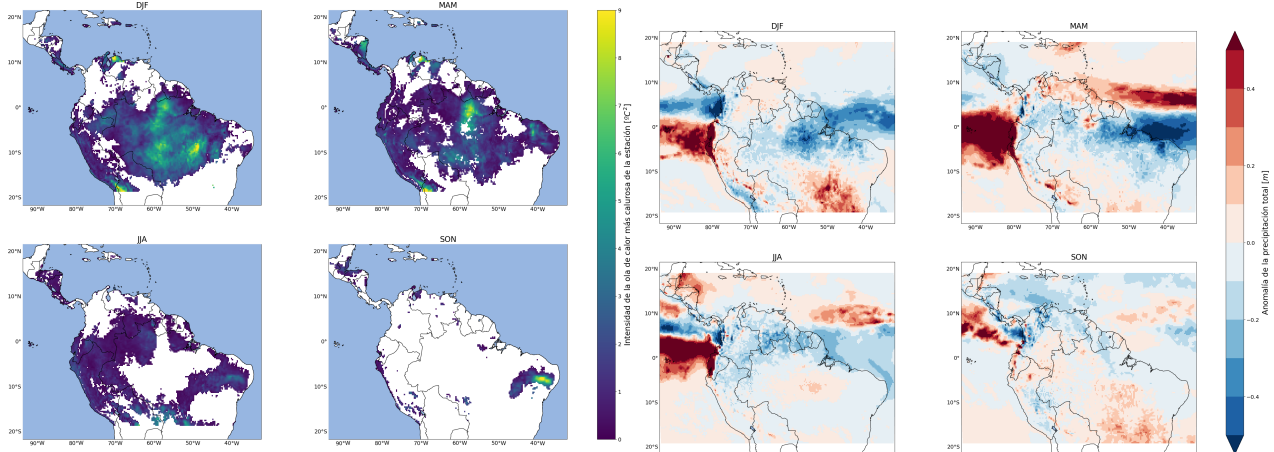
### 3.3.3. Olas de calor de 1983

En la figura 67 podemos ver las olas de calor en 1983. En la figura ?? se puede observar que afectó a gran parte de la selva de Sudamérica al este y sur de los Andes, gran parte de Ecuador y costas de Perú y Centroamérica, sobre todo en los períodos DJF, MAM y JJA. En la figura 67b se puede comprobar las anomalías de precipitaciones en cada estación, podemos notar que en la costa oeste de Colombia hubo déficit de precipitaciones todo el

año, mientras que en las costas de Ecuador y Perú hubo superávit. En la selva al este y al sur de los Andes las precipitaciones son escasas en la parte norte en los períodos DJF, MAM y JJA, mientras que en el centro y sur de Brasil las precipitaciones son abundantes o dentro de la media en esos períodos (las zonas con superávit de precipitaciones no tuvieron ola de calor en el período siguiente). Finalmente, en las figuras 67c y 67d podemos ver las anomalías de temperatura superficial del océano en 1982 y 1983, respectivamente. En la

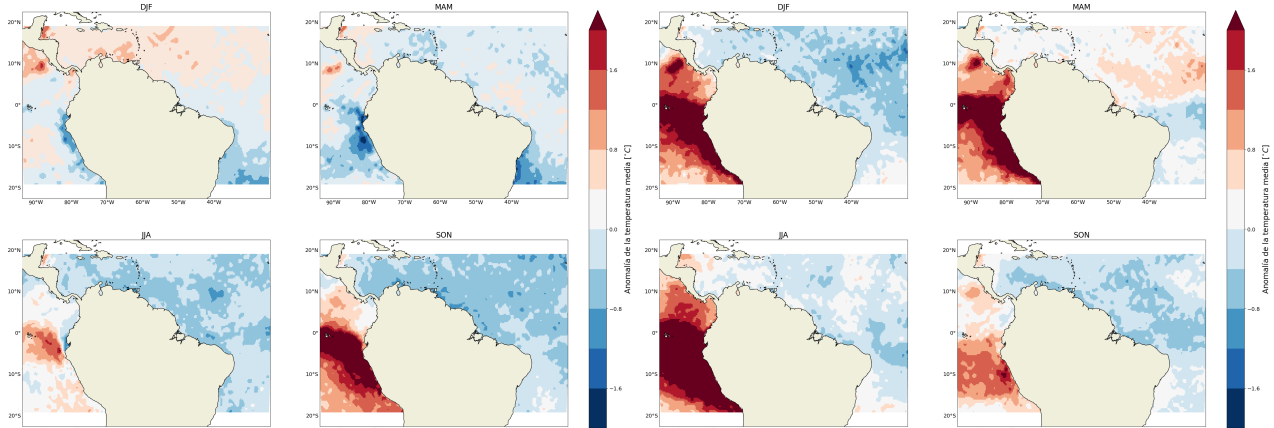
costa oeste de Sudamérica, podemos ver la entrada de agua muy caliente (Corriente del Niño) en las costas de Ecuador, Colombia, Centroamérica y Perú a partir del período JJA de 1982, que se extiende hasta el período SON de 1983 (alcanza su máximo en los períodos MAM y JJA de 1983). En la costa este, por el contrario, la temperatura del

océano ha sido menor de lo normal desde JJA de 1982. Cabe destacar que en las costas de Ecuador y Perú hubo olas de calor aún con un alto superávit de precipitaciones, así como en Centroamérica (que tuvo déficit en períodos anteriores, por lo que no se puede afirmar con la misma rotundidad).



(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 1983

(b) Anomalías estacionales de precipitación en 1983



(c) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1982

(d) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1983

Figura 67: Olas de calor en 1983

### 3.3.4. Olas de calor de 1997 y 1998

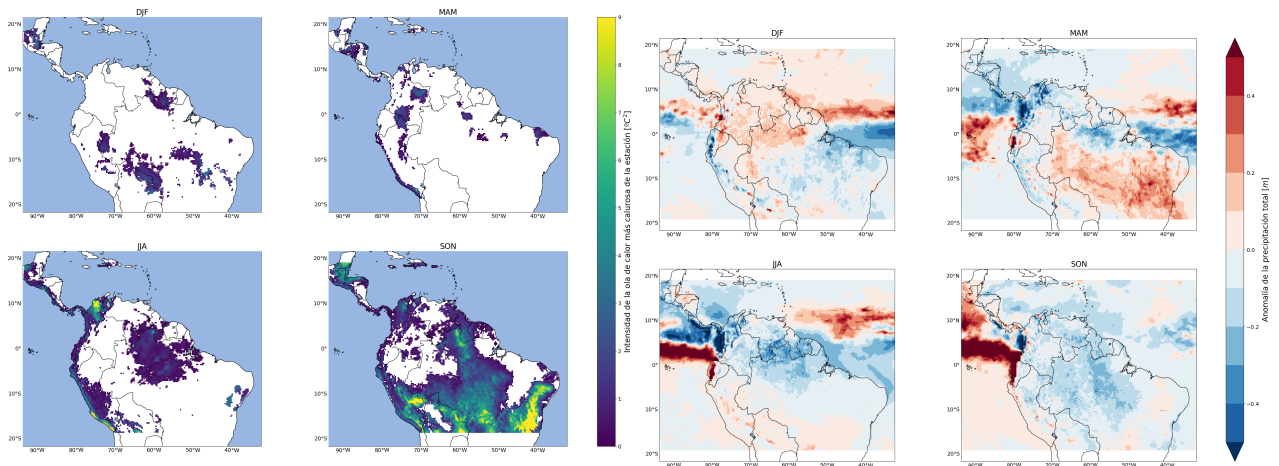
En las figuras 68 y 69 podemos ver las olas de calor en 1997 y 1998, respectivamente. En las figuras ?? y ?? se puede observar que afectó prácticamente a todo el territorio en su período de máxima extensión (estaciones DJF y MAM) salvo la selva del este de Ecuador, noreste de Perú y sur de Colombia. En la costa oeste las olas de calor empiezan en el período MAM de 1997 y se extienden hasta el período MAM del año siguiente. El resto

del territorio empieza a tener olas de calor considerables a partir del período SON de 1982 hasta el período MAM de 1983, aunque en los períodos JJA y SON todavía quedan zonas afectadas. En las figuras 68b y 69b se puede comprobar las anomalías de precipitaciones en cada estación en los años 1997 y 1998, respectivamente. Las costas de Perú tienen superávit de precipitaciones desde el período MAM de 1997 hasta el período MAM de 1998, y lo contrario ocurre con la costa oeste de Colombia. Centroamérica tiene déficits y su-



perávits en varios períodos durante este lapso de tiempo. En la selva al este y sur de los Andes hay una sequía importante desde MAM de 1997, que se va extendiendo por el territorio hasta el período DJF de 1998, en la que hay menos precipitaciones. En el período siguiente (MAM de 1998) se dan más precipitaciones en la parte norte, y en el período SON hay superávit de precipitaciones en casi todo el territorio. Es importante notar en esta zona que, en los períodos que hubo superávit de precipitaciones las olas de calor remitieron. Final-

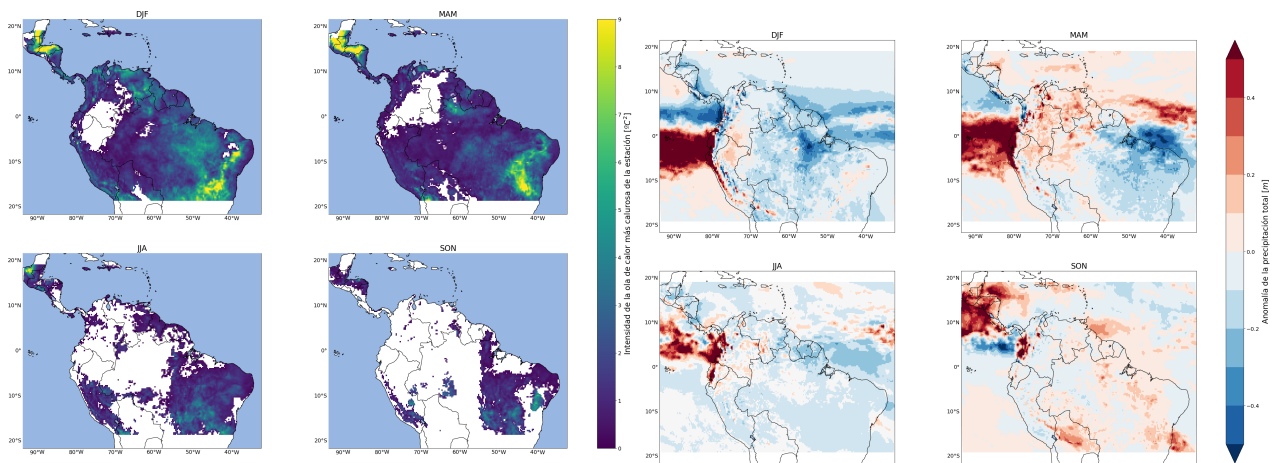
mente, en las figuras 69c y 69d podemos ver las anomalías de temperatura superficial del océano en 1997 y 1998, respectivamente. Se puede comprobar la entrada de una masa de agua muy cálida (Corriente del Niño) a partir del período MAM de 1997 en la costa oeste de América, con su apogeo en el período DJF de 1998. Por otro lado, los períodos MAM, JJA y SON de 1997 fueron períodos fríos en la costa este de América, pero esta situación se revirtió a partir del comienzo de 1998.



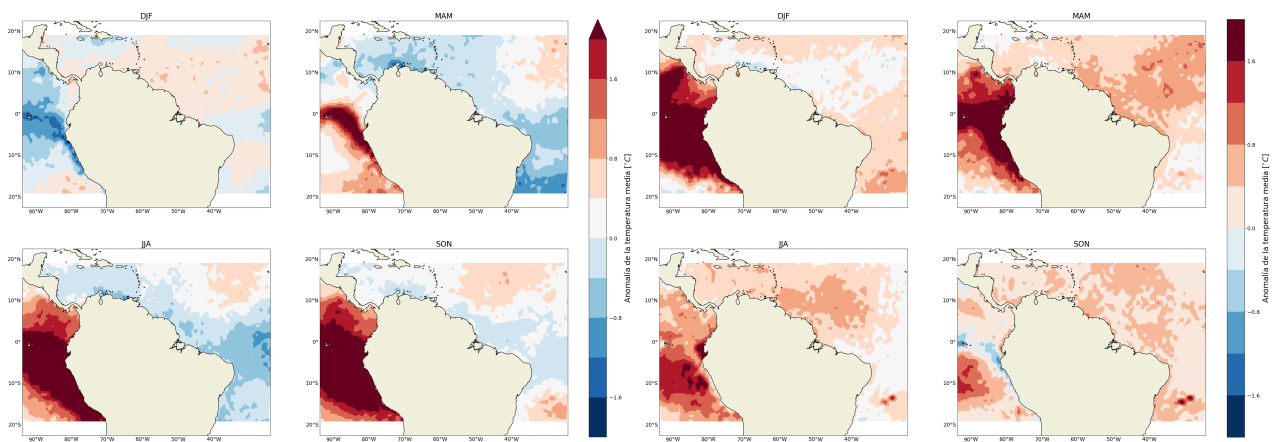
(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 1997

(b) Anomalías estacionales de precipitación en 1997

Figura 68: Olas de calor en 1997



(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 1998 (b) Anomalías estacionales de precipitación en 1998



(c) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1997 (d) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 1998

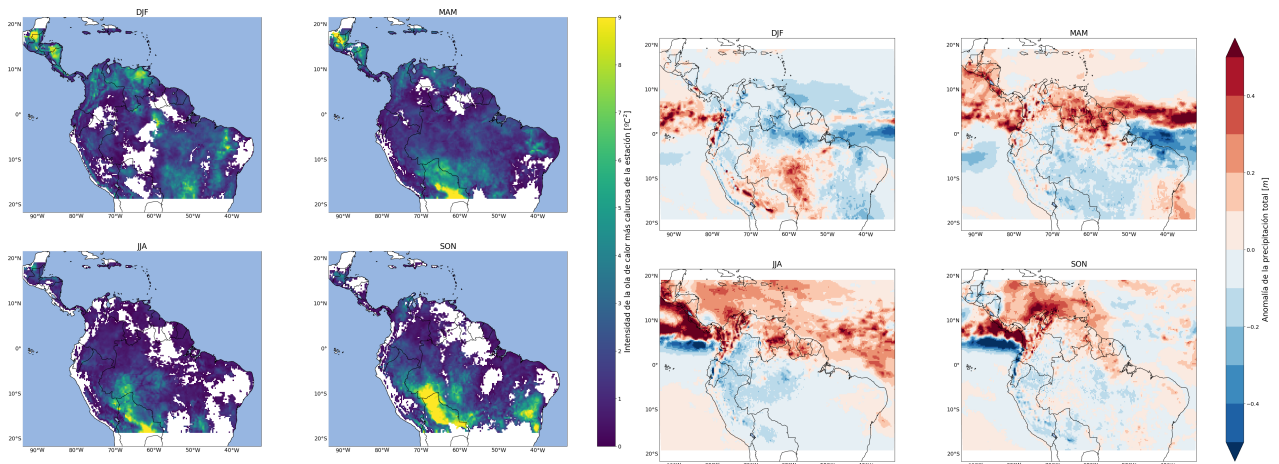
Figura 69: Olas de calor en 1998

### 3.3.5. Olas de calor de 2010

En la figura 70 podemos ver las olas de calor en 2010. En la figura ??se puede observar que afectó a prácticamente todo el territorio (salvo la costa de Perú y regiones aisladas del Amazonas) en su período de mayor extensión (la estación MAM). En la figura 70b se puede comprobar las anomalías de precipitaciones en cada estación, y puede notarse que en el período DJF hubo superávit de precipitaciones en la costa oeste de Colombia, costa de Ecuador y suroeste de la selva, pero déficit de precipitaciones en el resto del territorio. En las siguientes estaciones Centroamérica y el norte

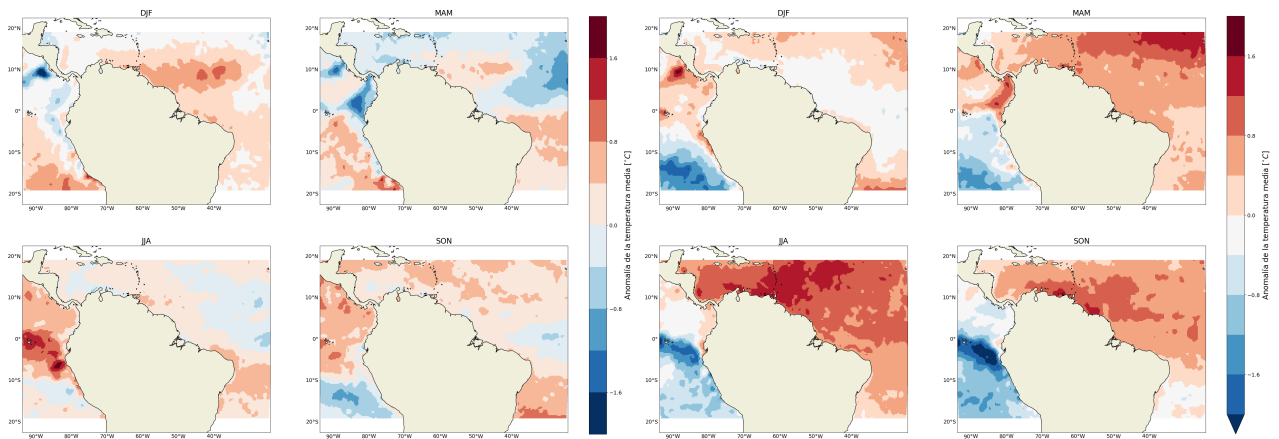
de Sudamérica tienen superávit de precipitaciones, pero el resto del territorio tiene déficit. Finalmente, en las figuras 70c y 70d podemos ver las anomalías de temperatura superficial del océano en 2009 y 2010, respectivamente. En la costa este, desde la segunda mitad del 2009 la temperatura es algo superior a la media, pero en el año 2010 la temperatura aumentó considerablemente a partir del período MAM. En la costa oeste de Centroamérica a partir del período JJA también hay temperaturas superiores a la media, situación que se mantiene hasta el período MAM del año siguiente.





(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 2010

(b) Anomalías estacionales de precipitación en 2010



(c) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 2009

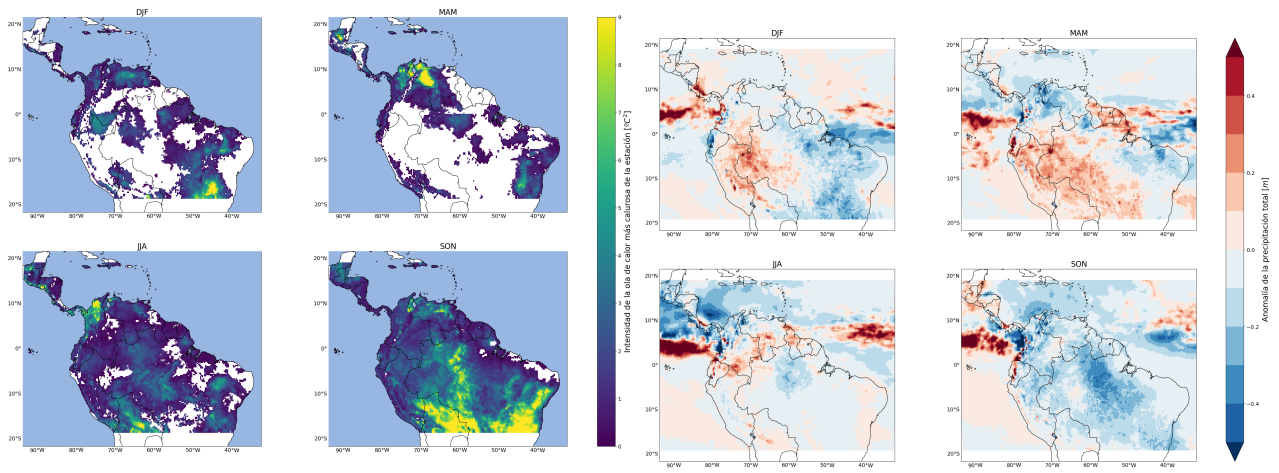
(d) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 2010

Figura 70: Olas de calor en 2010

### 3.3.6. Olas de calor de 2015 y 2016

En las figura 71 y 72 podemos ver las olas de calor en 2015 y 2016, respectivamente. En las figuras ?? y ?? se puede comprobar que la distribución de las zonas afectadas es muy similar a las olas de calor de 1997 y 1998. En las figuras 71b y 72b se puede comprobar las anomalías de precipitaciones en cada estación en los años 2015 y 2016, respectivamente. Al igual que las olas de calor de 1997 y 1998, la distribución de precipitaciones es bastante similar. Sin embargo, en la selva hay períodos en los que, aún con superávit de precipitaciones en varios períodos, las olas

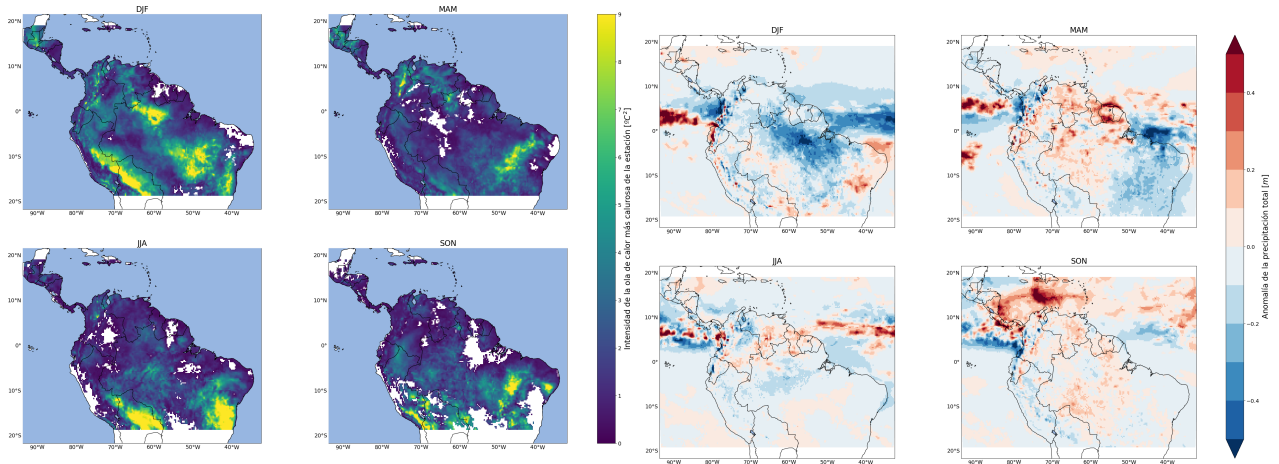
de calor persisten. Ahora bien, esto podría ser debido a la sequía prolongada que sufrió casi toda la selva en el período SON de 2015 y el período DJF de 2016. Finalmente, en las figuras 72c y 72d podemos ver las anomalías de temperatura superficial del océano en 2015 y 2016, respectivamente. También ocurre, al igual que las olas de calor de 1997 y 1998, que la Corriente del Niño se introduce en la costa este, pero la costa oeste tiene un comportamiento distinto. Durante todo el año 2015 las temperaturas son más frías de lo normal, pero a apartir del período MAM de 2016 las temperaturas suben por encima de la media.



(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 2015

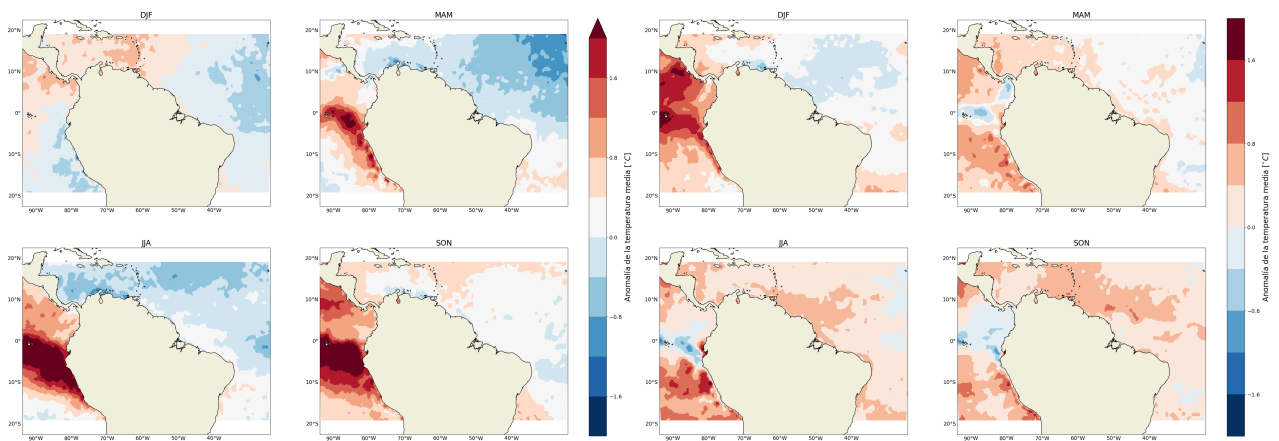
(b) Anomalías estacionales de precipitación en 2015

Figura 71: Olas de calor en 2015



(a) Intensidad máxima estacional de las olas de calor en 2016

(b) Anomalías estacionales de precipitación en 2016



(c) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 2015

(d) Anomalías estacionales de la temperatura superficial del océano en 2016

Figura 72: Olas de calor en 2016

## 4. Discusión

En el apartado de resultados se ha visto la distribución territorial de las distintas magnitudes para el estudio de las olas de calor en América y los valores climatológicos de precipitaciones, temperatura a 2 m sobre la superficie y temperatura superficial del océano, las tendencias actuales de todas estas magnitudes y hemos realizado un estudio preliminar de olas de calor intensas en la América tropical. Respecto a estos resultados, vemos buena concordancia con otros estudios realizados. Ceccherini y col. 2016 detecta en general una tendencia positiva en intensidad y frecuencia en las olas de calor en los últimos años en Sudamérica. Además, en Feron y col. 2019 se observa que los días extremadamente cálidos en el período DJF se han incrementado considerablemente en el norte de Sudamérica, mientras que ha habido incrementos menos notorios en el sur. Del mismo modo, se estima que para mediados de siglo las olas de calor en el período DJF serán más frecuentes y duraderas, sobre todo en el norte de Sudamérica y el desierto de Atacama. Esto concuerda con nuestros resultados. No hemos hallado estudios relacionados en Norteamérica con los que podamos comparar los resultados.

A continuación, intentaremos explicar estos resultados e intentar relacionar las olas de calor con la temperatura a 2 m sobre la superficie, las precipitaciones y la temperatura superficial del océano.

### 4.1. Papel de la temperatura a dos metros sobre la superficie

Lo primero que se puede notar es que, en general, el número de olas de calor, duración de la ola de calor más larga y días de olas de calor decrecen a medida que nos alejamos del ecuador, pero la intensidad máxima y media de las olas de calor se vuelven más altas. En los mapas de la temperatura a 2 metros sobre la superficie (figuras 21, 22, 23 y 24) se ha podido comprobar que el rango de la temperatura media a lo largo del año se incrementa a medida que nos alejamos de los polos. Ello implica que en latitudes cercanas al ecuador se pueda sobrepasar los límites establecidos con mayor facilidad que en latitudes altas (lo cual hace que el HWN, HWD y HWF tengan valores más altos en latitudes bajas). Por otro lado, debido a

este rango térmico, en latitudes altas es más sencillo que el índice de exceso de calor de aclimatación ( $EHI_{accl}$ ) e incluso el índice de exceso de calor de excedencia ( $EHI_{sig}$ ) sea más alto que en latitudes bajas, lo cual incrementa la intensidad de las olas de calor.

Respecto a las tendencias de la temperatura a 2 m sobre la superficie, no hemos podido hallar una relación clara con las tendencias de las magnitudes para medir las olas de calor. Parece que hay una tendencia de que en los sitios en los que la temperatura no aumenta demasiado o disminuye, las magnitudes de las olas de calor tengan una tendencia negativa, pero no siempre es así. Además, hay muchas regiones en las que la temperatura tiene una tendencia positiva marcada, pero las magnitudes de olas de calor tienen tendencias negativas.

### 4.2. Papel de las precipitaciones

En el apartado anterior analizamos la distribución de precipitaciones en la América Tropical, sur de Sudamérica, sur de Norteamérica y Canadá y Alaska (figuras 25, 26, 27 y 28, respectivamente). Ahora, vamos a intentar relacionar la distribución de precipitaciones en estos territorios con el número de olas de calor, la duración del evento más largo y los días de olas de calor, y la intensidad de las olas de calor.

#### 4.2.1. Número de olas de calor

En la América tropical, el número de olas de calor en la selva de Sudamérica alcanza sus valores más altos en el período JJA y SON, y en los períodos DJF y MAM la selva del sur de Venezuela y parte de las Guayanas alcanza sus valores más altos también (coincidiendo con la época de menor precipitación acumulada). Sin embargo, esta regla no se aplica en el caso de Centroamérica o el norte de Colombia, en el que el número más alto de olas de calor se detecta en los períodos de mayor precipitación acumulada. La costa peruana prácticamente no tiene olas de calor en ninguna época del año.

En cuanto al sur de Sudamérica, el número de olas de calor en las regiones centrales de Chile alcanzan sus valores máximos en el período DJF

y MAM, meses en los que las precipitaciones son más bajas. Del mismo modo, en las regiones centrales de Argentina también parece aumentar el número de olas de calor en el período JJA, pero en el resto del territorio no se notan muchos cambios en cuanto al número de olas. En Geirinhas y col. 2021 se ve que los eventos extremos cálidos y secos se han intensificado en las últimas décadas en el sureste de Brasil, que concuerda con el aumento de intensidad de olas de calor en esa región.

Respecto al sur de Norteamérica, el número de olas de calor en el norte de la costa oeste de Estados Unidos alcanza sus valores más altos en el período JJA (estación más seca), mientras que los valores mínimos se encuentran en el período MAM (período inmediatamente posterior a la estación más húmeda). En general, casi todo el territorio alcanza los valores más altos en el verano boreal (JJA), mientras que el mínimo se halla en el período MAM. Sin embargo, en el costa noroeste de México los valores máximos se dan en el período DJF, mientras que los valores mínimos se dan en el período JJA. En las islas del Caribe es similar, los valores más altos se dan en el período MAM (inmediatamente posterior al de precipitaciones mínimas) y los valores más bajos se dan en el período JJA (período de precipitaciones máximas).

Finalmente, el número de olas de calor en todo el territorio de Alaska y Canadá es bajo a lo largo de todo el año. En la costa oeste los períodos con valores más altos son el JJA y el SON (ambos con precipitaciones altas), pero esto no se da en la costa este. Por otro lado, en las islas al noreste de Canadá los valores más altos se dan en el período DJF y el JJA (período más seco y más húmedo, respectivamente).

#### **4.2.2. Duración del evento más largo y días de olas de calor**

En la América tropical, para la duración de la ola de calor más larga y los días de olas de calor se puede apreciar que concuerda muy bien con la distribución de precipitaciones a lo largo del año. En el norte de Sudamérica los valores más altos se concentran en el período DJF y MAM, mientras que en la selva al sur del ecuador se concentran

en los períodos JJA y SON. Centroamérica tiene unos valores más o menos constantes a lo largo del año, y la costa peruana e Islas Galápagos tienen unos valores muy altos en la práctica totalidad del año (salvo el período SON).

En cuanto al sur de Sudamérica, para la duración de la ola de calor más larga y los días de olas de calor se puede apreciar que hay zonas que concuerdan la distribución de las precipitaciones. Por ejemplo, en la región central de Chile alcanzan los valores más altos en el período DJF (período de menos precipitaciones), mientras que los mínimos los tiene en el período JJA. En las regiones en las que las precipitaciones son más o menos constantes durante todo el año (Patagonia occidental y la región del sur de Brasil, Uruguay y el este de Paraguay) los valores máximos se alcanzan en el período DJF (verano austral), aunque no hay mucha diferencia entre los valores máximos y mínimos. Por último, en el norte de Argentina los valores máximos se alcanzan cuando las precipitaciones son máximas (período DJF), mientras que los valores mínimos se dan en el período SON.

Respecto al sur de Norteamérica, para la duración de la ola de calor más larga y los días de olas de calor se puede apreciar, en general, que los valores más altos se alcanzan en los períodos de precipitaciones más altas, y los más bajos en los períodos secos (aunque hay excepciones). En la costa oeste de Estados Unidos, tenemos valores altos en los períodos SON y DJF (de alta precipitación), mientras que tenemos valores más bajos en los períodos MAM y JJA. Del mismo modo, en la mitad este de Estados Unidos y la mayor parte de México, los valores más altos se encuentran en el período JJA, mientras que los más bajos se encuentran en el período DJF. En las Islas del Caribe también se sigue esta distribución, pero no hay mucha diferencia a lo largo del año.

Finalmente, en Canadá y Alaska la duración de la ola de calor más larga y los días de olas de calor siguen, en general, un patrón parecido al del número de olas de calor. Los valores más altos en la mitad oeste se dan en los períodos JJA y SON, mientras que los valores más altos en la costa este se dan en el período DJF. Las islas al noreste de Canadá alcanzan los valores más altos en el período JJA, aunque en el período DJF también tienen valores altos.

### 4.2.3. Intensidad de las olas de calor

En la América tropical, las intensidades máximas y medias de las olas de calor parecen seguir la distribución de concentración de precipitaciones marcada por el desplazamiento de la ZCI, pero de manera retardada: por encima del ecuador los valores más altos se concentran en el período MAM, mientras que en el hemisferio sur se encuentran en el período SON. Los valores mínimos en el hemisferio norte se encuentran en el período SON, mientras que en el hemisferio sur es en el período MAM. Así, los valores más altos (bajos) se dan en el mes posterior a las precipitaciones más bajas (altas).

Respecto al sur de Sudamérica, las intensidades máximas y medias de las olas de calor parecen seguir la distribución de las precipitaciones, pero con algunas excepciones. En la mayor parte de Argentina, los valores mínimos se alcanzan en el período MAM (período posterior al máximo de precipitaciones), mientras que los valores más altos se alcanzan en el período SON (el período posterior al mínimo de precipitaciones). Ahora bien, en el sur de la Patagonia (que tiene precipitaciones más o menos constantes durante todo el año), los valores más altos se alcanzan en el período DJF, mientras que el mínimo se alcanza en el período MAM. En la región central de Chile, el valor máximo se alcanza en el período DJF (que coincide con su época de menos precipitaciones) y los valores más bajos en los períodos MAM y JJA. Finalmente, la región del sur de Brasil, Uruguay y oeste de Paraguay siguen una distribución de valores de intensidad similar a la mayor parte de Argentina.

En cuanto al sur de Norteamérica, las intensidades máximas y medias de las olas de calor parecen seguir la distribución de las precipitaciones. En la costa oeste de Estados Unidos, los valores más altos se alcanzan en los períodos MAM y JJA, mientras que los más bajos se alcanzan en el período SON y DJF. Del mismo modo, la mitad este de Estados Unidos y gran parte de México alcanzan los valores más altos en el período DJF, mientras que los valores más bajos se alcanzan en los períodos JJA y SON (dependiendo de la zona).

Finalmente, en Canadá y Alaska las intensidades máximas y medias de las olas de calor parecen

seguir la distribución de las precipitaciones. Los valores más altos se dan en los períodos DJF y MAM en casi todo el territorio (períodos más secos), mientras que los más bajos se dan en los períodos JJA y SON, que son bastante más húmedos. La costa oeste de Canadá y del sur de Alaska y la costa este de Canadá tienen valores más bajos que el resto del territorio durante todo el año, pues tienen precipitaciones altas en todas las estaciones.

A modo de resumen, lo que se puede comprobar es que las distintas magnitudes de olas de calor tienden a ser más altas en las estaciones de menor precipitación o las inmediatamente posteriores. Esto es sobre todo cierto en latitudes cercanas al ecuador, y las excepciones van aumentando a medida que nos desplazamos hacia los polos. En Perkins 2015 se ve que la relación entre la humedad del suelo y temperaturas extremas es más fuerte en regiones donde las precipitaciones son elevadas, lo cual concuerda con que las excepciones a lo que hemos dicho aumenten a medida que nos desplazamos a los polos. Además, nuestros resultados también concuerdan con el requisito necesario de venir de períodos de pocas precipitaciones para que se puedan producir olas de calor (salvo excepciones). Por otro lado, la elevada cantidad de precipitaciones explica porque en las caras lluviosas de algunas cadenas montañosas (como la cara oriental de los Andes) las magnitudes estudiadas eran menores que otras zonas (debido a más precipitación acumulada). Además, las precipitaciones también podrían ser motivo por el que la intensidad de las olas de calor aumenta a medida que nos alejamos del ecuador: las precipitaciones disminuyen y, con ello, hay un mayor rango térmico.

Finalmente, respecto a las tendencias de las precipitaciones acumuladas, no hemos hallado una relación clara con las tendencias de las magnitudes de las olas de calor. Hay casos en los que un aumento considerable de precipitaciones hace que las magnitudes tengan una tendencia positiva tenue o incluso negativa (y viceversa), pero también hay muchos casos de tendencias de precipitaciones muy altas y tendencias de magnitudes de olas de calor también altas (y viceversa).

### **4.3. Papel de la temperatura superficial del océano**

En la sección 3.1.7 analizamos la distribución de la temperatura superficial del océano en la América Tropical, sur de Sudamérica, sur de Norteamérica y Canadá y Alaska (figuras 29, 30, 31 y 32, respectivamente). En la América tropical, la distribución de la temperatura a lo largo del año podría tener cierta relación con el número de olas de calor en algunas zonas. Se había visto que prácticamente no había olas de calor en la costa peruana (aún siendo un territorio muy seco), y esto puede ser explicado debido al efecto regulador de la temperatura que tiene la corriente de Humboldt. Sin embargo, para otros territorios y magnitudes no hemos hallado relaciones con los valores climatológicos.

Finalmente, respecto a las tendencias de la temperatura superficial del océano, no hemos hallado relaciones con las magnitudes de las olas de calor.

### **4.4. Casos de olas de calor en la América tropical**

En la sección 3.3 analizamos los casos de olas de calor en la América Tropical en 1955, 1963, 1983, 1997, 1998, 2010, 2015 y 2016 (figuras 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72 respectivamente). Ahora, nos limitaremos a nombrar los elementos comunes de estas olas de calor para describir sus mecanismos.

En todas las olas de calor se ha comprobado que se han producido tras un período de estaciones sin precipitaciones, y las olas han tendido a remitir una vez se ha vuelto a las precipitaciones medias o ha habido un superávit de precipitaciones, aunque a veces debía de pasar más de una estación para que remitiera. La única excepción a esta norma es la costa ecuatoriana y peruana, que analizaremos más adelante.

Se ha observado que todas estas anomalías de precipitaciones sucedían con anomalías en la temperatura superficial del océano también. Por ejemplo, atendiendo a las olas de calor que ocurrían en la región del Amazonas y alrededor, en los años

1955, 1983, 1997 y 2015 la temperatura superficial del océano Atlántico se encontraban por debajo de lo normal las estaciones anteriores y durante la ola de calor (de ese modo, las precipitaciones disminuían incluso alguna estación antes de los eventos de olas de calor). Sin embargo, lo contrario también ocurre: en las olas de calor de 1963, 1998, 2010 y 2016 la temperatura superficial del océano era superior a lo normal: aunque en ciertas zonas de la región se traducían en menos precipitaciones y en otras había superávit, las olas de calor se producían igualmente (aunque las regiones con superávit de precipitaciones tenían menor intensidad). En este último caso, probablemente el déficit de precipitaciones se produzca por un cambio en la dirección del viento, que lleva las precipitaciones a otra región.

En las costas de Perú y Ecuador, las olas de calor se producen con el Fenómeno del Niño, aún con precipitaciones muy por encima de lo normal. El motivo que proponemos es que, debido a la corriente de Humboldt, las temperaturas en estas costas son muy templadas para la latitud en la que se encuentran. Sin embargo, con la entrada de aguas muy cálidas en estas latitudes, las precipitaciones y temperatura aumentan considerablemente, por lo que es muy fácil que el índice de exceso de calor sea positivo en esta fase del ENSO. Ello también es el motivo por el que los valores de HWD y HWF fueran tan altos en estas regiones. En Centroamérica se producen olas de calor con exceso o con déficit de precipitaciones, por lo que parece tener más relación con la temperatura superficial del océano. Por ejemplo, con el Fenómeno del Niño se producen olas de calor en esta región, pero con aguas cálidas en el Atlántico también ocurren.

En casi todos los años analizados se estaba produciendo el Fenómeno del Niño o se venía de un período del Niño. Geirinhas y col. 2019 comenta que los anticiclones persistentes en el sur del océano Atlántico pueden estar directamente relacionados con episodios de ENSO. Así, es posible que episodios de ENSO también estén relacionados con olas de calor no solo en las costas ecuatorianas y peruanas, sino en el resto de Sudamérica también.



## 5. Conclusiones y líneas futuras

En el presente trabajo, se realizó un análisis de las olas de calor que afectan al continente americano desde 1951 hasta 2020 utilizando el *EHF* para caracterizarlas y analizar sus tendencias. En el norte de Sudamérica, sur de Sudamérica, sur de Norteamérica y norte de Norteamérica hemos representado los valores climatológicos anuales y estacionales y las tendencias anuales y estacionales del número de olas de calor *HWN*, duración de la ola de calor más larga *HWD*, días de olas de calor *HWF*, intensidad de la ola de calor más intensa *HWA* e intensidad media de las olas de calor *HWM*, así como de la temperatura a 2 m sobre la superficie, las precipitaciones acumuladas y la temperatura superficial del océano. Además, hemos analizado olas de calor intensas en el norte de Sudamérica para observar anomalías en las precipitaciones acumuladas y temperatura superficial del océano.

Respecto a los valores climatológicos, hemos comprobado que el *HWN*, *HWD* y *HWF* tienen sus valores más altos en el ecuador y tienden a disminuir a medida que nos acercamos a los polos. Por el contrario, el *HWA* y *HWM* tienen sus valores más bajos en el ecuador, y tienden a aumentar considerablemente a medida que nos desplazamos a los polos. Esto es probablemente debido, por un lado, a que a medida que nos alejamos del ecuador el rango de temperaturas aumenta considerablemente (en el ecuador las temperaturas son muy constantes a lo largo del año, mientras que cerca de los polos varía mucho), lo que hace que en latitudes cercanas al ecuador sea más fácil sobrepasar los límites establecidos que en latitudes altas, pero con una intensidad muy baja. Sin embargo, no hemos hallado relaciones de la distribución territorial de temperatura con las distintas magnitudes de análisis de olas de calor.

Las magnitudes de olas de calor también parecen verse afectadas por las precipitaciones, pues estas magnitudes tienden a ser más altas en las estaciones de menor precipitación o la inmediatamente posterior, sobre todo en latitudes cercanas al ecuador. La mayor presencia de precipitaciones en ciertas cadenas montañosas (como los An-

des orientales) también explicaría por qué en esas zonas las magnitudes analizadas eran menores que otras zonas. Por otro lado, a medida que nos alejamos del ecuador las precipitaciones disminuyen, por lo que hay un mayor rango térmico.

Finalmente, respecto a los valores climatológicos de la temperatura superficial del océano, sólo pudimos explicar que la costa peruana tuviera tan pocas olas de calor aún siendo un territorio muy seco debido a la corriente de Humboldt. Sin embargo, las anomalías en la temperatura superficial del océano juegan un papel muy importante en las olas de calor en la América tropical. Observamos que en el océano Atlántico en todos los años hubo anomalías de temperatura -tanto positivas como negativas- desde estaciones antes de que comenzaran las olas de calor, y que parecen estar asociadas a déficits de precipitaciones en los territorios al este y sur de los Andes. Del mismo modo, el océano Pacífico con el Fenómeno del Niño aumenta considerablemente su temperatura -superficial y a 2m sobre la superficie- y produce olas de calor en las costas de Ecuador y Perú, con la diferencia de que además viene acompañado de un superávit de precipitaciones. Finalmente, en Centroamérica hay olas de calor con déficit y superávit de precipitaciones, y parece ser que temperaturas más altas del océano también hacen que aumente la temperatura del terreno. En casi todos los casos analizados se estaba pasando por el Fenómeno del Niño, por lo que es posible que tenga relación con las olas de calor más allá de las costas de Ecuador y Perú.

Respecto a las tendencias de las magnitudes de olas de calor, vemos algo similar respecto a los valores climatológicos. En general, la tendencia es positiva, pero hay territorios que tienen tendencias negativas. Las magnitudes *HWN*, *HWD* y *HWF* tienen tendencias más intensas en latitudes cercanas al ecuador, y se van atenuando a medida que nos acercamos a los polos. En cambio, las magnitudes *HWA* y *HWM* van aumentando en intensidad a medida que nos acercamos a los polos. No hemos hallado relaciones entre la tendencia de las magnitudes de olas de calor y las tendencias de la temperatura a 2 m sobre la superficie, precipitaciones acumuladas y temperatura superficial del océano.

Teniendo en cuenta todo esto, existen varias lí-

neas por las que se puede continuar este trabajo. Los más directos son la ampliación de este análisis a otros sectores del continente. Por ejemplo, podemos escoger los diez episodios más intensos de cada región (Norte de Sudamérica, Sur de Sudamérica, Sur de Norteamérica y Norte de Norteamérica) para analizar las distintas anomalías y buscar relaciones entre ellas y, del mismo modo, intentar encontrar teleconexiones entre distintos eventos. Dada la importancia de los episodios ENSO en el clima, se pueden analizar las olas de calor en todo el territorio americano en los años en los que se haya pasado por el Niño o la Niña. Además, podemos completar este análisis ampliando las magnitudes que estamos observando: por ejemplo, en el presente trabajo no hemos analizado la presión atmosférica, lo cual puede ser muy interesante para el estudio de los casos más intensos en cada región. Del mismo modo, dado que las olas de calor tienen un gran impacto en la salud de las personas, en los ecosistemas y en la infraestructura humana, con los datos disponibles se pueden hacer estudios a gran escala de distintos impactos de las olas de calor en América. Por ejemplo, se pueden realizar estudios de mortalidad asociados a olas de calor en todo el continente americano, estudiar la relación entre las olas de calor y los incendios forestales en regiones como el Amazonas, o analizar el impacto que tienen las olas de calor en sectores importantes del continente como puede ser la agricultura.

## Referencias

- Bell, B., H. Hersbach, P. Berrisford, P. Dahlgren, A. Horányi, J. Muñoz Sabater, J. Nicolas, R. Radu, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci y J-N Thépaut (2020). *ERA5 hourly data on single levels from 1950 to 1978 (preliminary version)*. Ed. por Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://cds.climate.copernicus-climate.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-preliminary-back-extension?tab=overview> (visitado 15-07-2021).
- Castagno, J. M. (Editor) (2020a). “World Geography - North America & the Caribbean”. En: 2.<sup>a</sup> ed. Vol. 5. Salem Press. Cap. Physical Geography.
- (2020b). “World Geography - South & Central America”. En: 2.<sup>a</sup> ed. Vol. 1. Salem Press. Cap. Physical Geography.
- Ceccherini, G., S. Russo, I. Amezttoy, C. P. Romero y C. Carmona-Moreno (2016). “Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America”. En: *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, págs. 821-836. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-16-821-2016>.
- Chambers, J. (2020). “Global and cross-country analysis of exposure of vulnerable populations to heatwaves from 1980 to 2018”. En: *Climatic Change* 163, págs. 539-558. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02884-2>.
- Feron, S., R. R. Cordero, A. Damiani, P. J. Llanillo, J. Jorquera, E. Sepulveda, V. Asencio, D. Laroze, F. Labbe, J. Carrasco y G. Torres (2019). “Observations and Projections of Heat Waves in South America”. En: *Scientific Reports* 9.8173. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44614-4>.
- Furley, P. A. (2007). “The Physical Geography of South America”. En: Oxford University Press. Cap. Tropical Forests of the Lowlands.
- Garreaud, R. D. y P. Aceituno (2007). “The Physical Geography of South America”. En: Oxford University Press. Cap. Atmospheric Circulation and Climatic Variability.
- Geirinhas, J. L., A. Russo, R. Libonati, P. M. Sousa, D. G. Miralles y R. M. Trigo (2021). “Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil”. En: *Environmental Research* 16, pág. 034036. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe0eb>.
- Geirinhas, J. L., R. M. Trigo, R. Libonati, L. C. O. Castro, P. M. Sousa, C. A. S. Coelho, L. F. Peres y M. A. F. M. Magalhães (2019). “Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates”. En: *Science of the Total Environment* 650, págs. 796-808. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.060>.
- Hersbach, H., B. Bell, P. Berrisford, G. Biavati, A. Horányi, J. Muñoz Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, I. Rozum, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, D. Dee y J-N Thépaut (2018).

- ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present*. Ed. por Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). URL: <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47> (visitado 15-07-2021).
- Langlois, N., J. Herbst, K. Mason, J. Nairn y R. W. Byard (2013). “Using the Excess Heat Factor (EHF) to predict the risk of heat related deaths”. En: *Journal of Forensic and Legal Medicine* 20, págs. 408-411. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jflm.2012.12.005>.
- NOAA. *Dead Fuel Moisture*. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/dyk/deadfuelmoisture> (visitado 14-07-2021).
- Orme, A. R. (2007). “The Physical Geography of South America”. En: Oxford University Press. Cap. Tectonism, Climate, and Landscape Change.
- Perkins, S. E. (2015). “A review on the scientific understanding of heatwaves—Their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale”. En: *Atmospheric Research* 164-165, págs. 242-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.05.014>.
- Perkins, S. E. y L. V. Alexander (2013). “On the Measurement of Heat Waves”. En: *Journal of Climate* 26, págs. 4500-4517. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>.
- Pezza, A. B., P. Rensch y W. Cai (2012). “Severe heat waves in Southern Australia: synoptic climatology and large scale connections”. En: *Climate Dynamics* 38, págs. 209-224. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1016-2>.
- Ratajczak, Z., A. C. Churchill, L. M. Ladwig, J. H. Taylor y S. L. Collins (2019). “The combined effects of an extreme heatwave and wildfire on tallgrass prairie vegetation”. En: *Journal of Vegetation Science* 30, págs. 687-697. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12750>.
- Reddy, P. J., J. J. Sharples, S. C. Lewis y S. E. Perkins-Kirkpatrick (2021). “Modulating influence of drought on the synergy between heatwaves and dead fine fuel moisture content of bushfire fuels in the Southeast Australian region”. En: *Weather and Climate Extremes* 31, pág. 100300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100300>.
- Scalley, B. D., T. Spicer, L. Jian, J. Xiao, J. Nairn, A. Robertson y T. Weeramanthri (2015). “Responding to heatwave intensity: Excess Heat Factor is a superior predictor of health service utilisation and a trigger for heatwave plans”. En: *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 39, págs. 582-587. DOI: <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12421>.
- Wallace, J. M. y P. V. Hobbs (2006). “Atmospheric Science - An Introductory Survey”. En: 2.<sup>a</sup> ed. Elsevier. Cap. Introduction and Overview.