

# Tesis

Una tesis

*Elio Campitelli*



# Índice general

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Métodos y Materiales</b>	<b>7</b>
2.1	Conceptos básicos . . . . .	7
2.2	Fuentes de datos . . . . .	7
2.3	Descripción de SPEEDY . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Climatología observada</b>	<b>9</b>
3.1	Altura geopotencial . . . . .	9
3.2	Temperatura . . . . .	9
3.3	Viento zonal . . . . .	10
3.4	Viento meridional . . . . .	10
3.5	Gradiente meridional de vorticidad absoluta . . . . .	10
3.6	Número de onda estacionaria . . . . .	10
3.7	Función corriente . . . . .	11
3.8	Ondas Quasiestacionarias . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Onda 3</b>	<b>13</b>
4.1	Características típicas . . . . .	13
4.2	Antecedentes . . . . .	14
4.3	Amplitud . . . . .	14
4.3.1	Máximo o media. . . . .	14
4.4	Fase . . . . .	14
4.5	Estaciones . . . . .	15
4.6	Persistencia (ver dónde va) . . . . .	16
4.7	R <sub>2</sub> . . . . .	16
4.8	Regresiones . . . . .	16
4.8.1	Geopotencial . . . . .	16
4.8.2	Función Corriente . . . . .	16
4.9	Composición de campos. . . . .	16
4.10	Fuentes de variabilidad interna . . . . .	17
4.11	Fuentes externas . . . . .	17
4.11.1	SST . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Experimentos</b>	<b>19</b>
5.1	Validación SPEEDY . . . . .	19
5.1.1	Altura Geopotencial . . . . .	19

5.1.2	Temperatura . . . . .	20
5.1.3	Viento zonal . . . . .	20
5.1.4	Gradiente meridional de vorticidad absoluta . . . . .	20
5.1.5	Número de onda estacionaria . . . . .	20
5.1.6	Función corriente . . . . .	20
5.1.7	Onda 3 . . . . .	20
5.2	Comparación . . . . .	21
5.2.1	Temperatura . . . . .	21
5.2.2	Viento zonal . . . . .	21
5.2.3	Función corriente . . . . .	21
5.2.4	Onda 3 . . . . .	21
5.3	Regresión . . . . .	21
5.4	Cosas inesperadas... . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Agradecimientos</b>	<b>25</b>
	<b>Referencias</b>	<b>27</b>

Resumen.

# Capítulo 1

## Introducción

- Antecedentes

Además de lo que hay en lo de las becas + lo que fui encontrando, agregar sobre las climatologías disponibles y sus limitaciones.

- Objetivo General

- Objetivo particular

Esto es para probar una referencia bibliográfica: Vera et al. (2004) y (Vera et al. 2004)



## Capítulo 2

# Métodos y Materiales

### 2.1 Conceptos básicos

- Ondas cuasiestacionarias
- Fourier

Ejemplo:

Cosas para ver de Figura 7.1:

Descripción del “rol” de cada número de onda en generar el campo final. La onda 1 es la principal, marcando altas presiones al sur del pacífico y bajas al sur de África. La onda 3 modifica ese patrón simple haciendo que los máximos y mínimos no sean continuos.

- Wavelets

Cosas para ver:

Cambio en el máximo. Localización en vez de un número para cada latitud.

### 2.2 Fuentes de datos

### 2.3 Descripción de SPEEDY



# Capítulo 3

## Climatología observada

### 3.1 Altura geopotencial

Campo medio:

El campo de altura geopotencial media ( $Z$ , Figura 7.3) muestra una estructura más zonal en el HS que en el HN. Es evidente la generación del vórtice polar en la estratosfera de invierno y primavera y el aumento del gradiente meridional de  $Z$  con la altura.

Las anomalías zonales (Figura 7.5) muestran una preponderancia de una onda 1 (QS1) con una amplitud máxima en la estratosfera de primavera y una estructura coherente en la vertical en  $60^{\circ}\text{S}$  (??). Salvo en verano, la inclinación hacia el oeste en la horizontal y en la vertical indica que las perturbaciones estacionarias están asociadas con transporte hacia el polo tanto de cantidad de movimiento zonal como de temperatura.<sup>1</sup>

En verano, las anomalías zonales tienen una estructura barotrópica equivalente y carecen de inclinación en la horizontal. Consecuentemente, los transportes meridionales asociados se reducen considerablemente.<sup>2</sup>

Hasta acá.

Completa la figura anterior.

Desvío estándar por círculo de latitud:

Cosas para ver:

Latitud de mayor actividad de onda. Máximo en octubre en 300 hPa. Más adelante, se hace la misma figura pero con el desvío estándar asociado a cada número de onda.

### 3.2 Temperatura

Cosas para ver:

Gradiente muy pequeño en 200 hPa. Gradiente inverso en estratosfera. Núcleo cálido en  $\sim 50^{\circ}$  (que se va a

---

<sup>1</sup> ¿Debería agregar una justificación de esto? ¿Un resumen del desarrollo matemático que está en el James?

<sup>2</sup> ¿Por qué?

ver mejor en la anomalía zonal). Temperaturas frías en altas y bajas latitudes pero relativamente cálidas en  $\sim 50^\circ$  en 100 hPa.

Corte zonal en  $-60^\circ$

Cosas para ver:

Coincidencia entre la onda estacionaria 1 en gh y de t (en primavera).

Propuesta: combinar mapa de T y  $T^*$

### 3.3 Viento zonal

Cosas para ver:

Extensión y localización vertical de los jets.

Campo medio:

Cosas para ver:

Jet polar en invierno y primavera en niveles altos ( $< 100$  hPa). Jet subtropical en niveles “medios”.

Anomalía zonal

Cosas para ver (ambos):

### 3.4 Viento meridional

Campos medios.

Corte meridional (v medio zonal):

Cosas para ver:

Dipolo entre niveles bajos y altos que alterna entre invierno y verano (parte convergente en superficie y divergente en altura de la ITCZ que se mueve hacia el hemisferio de verano). En altas latitudes, en superficie hay máximos de viento del sur debido a los vientos catabáticos de la antártida.

Cosas para ver:

No mucha actividad salvo por la onda 1 en niveles altos (consistente con la onda 1 de geopotencial).

La anomalía zonal es casi igual. No poner gráfico pero aclarar que es no hay casi diferencia ya que la media zonal es casi cero en casi todo el dominio.

### 3.5 Gradiente meridional de vorticidad absoluta

### 3.6 Número de onda estacionaria

Cosas para ver:

Máximos asociado con los flancos del jet. Zona “prohibida” en 200 y 300 hPa.

La onda 3 es estacionaria en  $-60^\circ$ .

### 3.7 Función corriente

## 3.8 Ondas Quasiestacionarias

- Fourier

Cosas para ver:

Estructura. Zona donde onda 3 explica más que la onda 1 (zona marcada en negro)

Cosas para ver:

Onda 1 y 2 principalmente en estratosfera pero baja, salvo en verano. Onda 3 y 4 más de atmósfera media/alta. Región recuadrada: máximo de amplitud de QS 3 y donde su R2 es mayor que la de QS 1.



# Capítulo 4

## Onda 3

### 4.1 Características típicas

Cosas para ver:

Solo en 300 porque la estructura es barotrópica (no se gana mucho mirando varios niveles). Localización de los centros de altas y bajas. Corrimiento de fase verano/invierno. Aparente ciclo anual con mínimo en primavera, que luego se ve que no es tan así, parece mínimo porque la fase varía mucho y el promedio se desdibuja mucho.

Esto es el promedio de las ondas 3, pero es idéntico a la onda 3 del promedio.

Cosas para ver:

Estructura vertical barotrópica equivalente. Ciclo anual en la extensión vertical (se ve también en los cortes de amplitud). Aunque notar que en este corte la extensión en primavera parece la menor, pero de nuevo es por la variabilidad en la fase, ya que en el corte de amplitud se ve que la amplitud es mayor en altura incluso que en otoño.

No tengo idea de cómo interpretar esto...

- Wavelets

La amplitud media obtenida mediante wavelets es virtualmente idéntica

Cosas para ver:

\* La amplitud de la onda 3 es bastante zonal, pero tiene asimetrías consistentes. En  $\sim 60^\circ\text{S}$ , la máxima amplitud se da en el hemisferio oeste, mientras que en  $\sim 50^\circ\text{S}$  se da en el hemisferio este.

Cosas para ver:

\* Si bien el máximo medio de la amplitud se da en  $\sim 300\text{hPa}$  (Fig ??) igual que en Fourier, el análisis por longitud muestra algo un poco más complejo. En verano y otoño, la máxima amplitud sigue en 300hPa, pero ésta asciende a entre 100 y 50hPa en invierno y primavera alrededor de  $120^\circ\text{O}$ . Además, durante estas estaciones hay indicación de que el máximo cambia de latitud con la altura.

Ventajas y desventajas. Justificación de decisión.

## 4.2 Antecedentes

Breve comentario sobre los índices usados en otros lados. Discutir ventajas y debilidades.

- Amplitud
- Fase (impacto en SA)

De todo eso, motiva decisión del índice.

- Niveles elegidos
- Promedio vs. máximo
- Composiciones de campos y flujos.
- Decisión del índice.

Quiero hacer el índice a partir de la actividad de la onda 3 tomando la región del máximo (latitud entre -65 y -40, y entre 700 y 100 hPa). Variables posibles: amplitud media, amplitud máxima,  $r^2$ , correlación entre campo teórico y observado.

## 4.3 Amplitud

### 4.3.1 Máximo o media.

Cosas para ver:

Casos donde el máximo es mayor pero la media, menor. (1985-01-01 vs 1988-07-01 o ). 1987-11-01 vs 2008-01-01 muestra el caso: igual amplitud máxima pero en 2008 está más “concentrada”. Casos donde la actividad está ligeramente fuera de la caja (2000-09-01).

Cosas para ver:

Analizar nivel de similitud entre los campos y similitud entre la estructura de la amplitud.

Cosas para ver:

Relación lineal entre ambas. Ergo, da más o menos igual usar cualquiera.

Luego... concluir que vamos a usar la media.

## 4.4 Fase

Además de eso, tengo la fase. Puedo tomar la fase media en la región o la fase correspondiente a donde está el máximo de la amplitud (lo que equivale al centro del anticiclón) o la moda de la fase.

(más explicación...)

¿Cuál usar?

Cosas para ver:

Se ve que hay muchos casos donde coinciden bastante bien, pero otros que se alejan mucho. La razón es que al tomar el promedio, puede quedar cualquier cosa si la estructura cambia mucho con la latitud. Por ejemplo, los casos marcados en rojo.

En el primer caso el máximo de geopotencial se encuentra cercano a  $0^\circ$  lo que hace que la fase oscile entre valores cercanos a  $0^\circ$  y a  $120^\circ$  en distintas latitudes a pesar de que representan el mismo centro de

máxima. El promedio, por lo tanto, queda en el centro y termina estando en una región donde el campo de geopotencial de onda 3 es nulo. Si bien la fase de la amplitud máxima y la moda de la fase parecen ser muy distintas, la naturaleza cíclica de la fase implica que representan aproximadamente el mismo punto.

En tercer caso la estructura de onda 3 es de dos centros a distintas latitudes. La fase promedio de ambas (punto negro) representa el punto medio y, por lo tanto, está más cerca del mínimo de geopotencial que del máximo. En este caso la moda de la fase es una mejor representación del campo de onda 3 que la fase del máximo.

En el caso del medio, todo anda bien y los tres puntos coinciden.

Conclusión: vamos a usar la moda de la fase.

Ciclo anual de la fase.

Cosas para ver:

Se ve el ciclo anual que ya se veía en una figura anterior. Pero hay mucha variabilidad.

Recordar que este es aproximadamente el centro del máximo de geopotencial y que, por construcción, hay un centro de mínima a  $60^\circ$ . Eso implica que en los casos donde hay puntos cerca de  $-120^\circ$  o  $0^\circ$ , hay el centro de mínima está en  $\sim 60^\circ$ .

También notar que, como se trata en realidad de una variable cíclica, los puntos extremos representan una situación similar.

¿Hay mucha diferencia entre el boxplot con todos los datos y el de sólo los 20 más intensos? Yo no veo mucha y me parece que excluir a los 10 más débiles invita más preguntas que las que responde.

Cosas para ver:

La mayoría del tiempo estamos afectados por centro de máxima, pero hay casos intensos donde hay mínima. Especialmente en junio y julio.

## 4.5 Estaciones

¿Cómo establecer una “estacionalidad”? Algún criterio para agrupar meses. Claramente las estaciones climatológicas de siempre no sirven.

Una forma es, a partir del índice, agrupar los meses según su amplitud y fase media:

Otro ejemplo podría usar SVD:

Cosas para ver:

Los campos son descriptos bien por sólo 2 componentes principales de igual magnitud que esencialmente describen el corrimiento de fase de la onda. La “magnitud” del vector de componentes mapea bien a la amplitud de fourier y la diferencia mapea bien a la fasae. No hay nada nuevo por acá.

Grupos: \* Enero + Febrero + Marzo es un grupo bastante seguro. Se ven juntos en el diagrama amplitud-fase, tienen alta correlación entre ellos y en componentes principales tienen PC1 significativamente mayor que PC2. \* Junio + Julio parecen ir por su cuenta. Tienen mucha correlación entre ellos y ambos tienen PC2 mayor que PC1 aunque su fase difiere bastante.

Los otros meses quedan medio mezclados, pero pueden agruparse como meses de “transición”.

## 4.6 Persistencia (ver dónde va)

## 4.7 R2

Se puede estimar de dos maneras distintas: a partir del ajuste de fourier para cada nivel y latitud (figura blabla) y haciendo un promedio, o reconstruyendo el campo tridimensional de la onda 3 y haciendo la correlación (global) con el campo tridimensional observado. Esta segunda forma da casi siempre un valor menor.

Para ver:

La relación ya no es lineal y hay bastante más scatter. Ergo, hay diferencia en la información.

Dos regímenes: Cuando el  $R^2$  es bajo, la relación es “menor” que 1:1 y hay algunos casos donde el  $R^2$  reconstruido es mayor que el  $r^2$  medio. Para  $R^2$  más grandes, la pendiente es 1. Modelar la relación... ¿Cómo se interpreta?

Cosas para ver:

Comparando con las figuras anteriores, casos donde la amplitud es grande pero el  $R^2$  no tanto.

Cosas para ver:

El ciclo anual no es para nada tan claro. Varios outliers. La correlación reconstruida (azul) no tiene casi ciclo anual.

Una ventaja de la correlación entre el campo real y el reconstruido es que puede hacerse para cada punto y analizar la variación espacial de la misma.

Cosas para ver:

Esto es, para cada punto de grilla, la correlación entre el campo observado y el reconstruido en todos los meses y años. Además de la dependencia latitudinal de la importancia de la onda 3 (que se puede ver en los cortes anteriores), se ve la dependencia zonal. La onda 3 es más importante en el Pacífico sur que en el Atlántico o el Índico. Además, se ve un patrón de altas correlaciones que asemejan a un tren de ondas. ¿Confirma? lo que se ve en en análisis de wavelets.

Conclusión: no voy a usar el  $r^2$  a partir del campo reconstruido.

## 4.8 Regresiones

### 4.8.1 Geopotencial

Cosas para ver:

\* Además los patrones de onda 3, en julio y diciembre aparece un patrón de SAM positivo y negativo respectivamente.

### 4.8.2 Función Corriente

## 4.9 Composición de campos.

Descripción de la selección.

Cosas para ver:

Años con coincidencia, años sin coindicencia. Meses donde la fase coincide (julio) vs meses donde no coindice (septiembre). También, años donde hay seguidilla de meses seleccionados (1999). Aunque posiblemente sea casualidad (no hay mucha persistencia mes a mes.)

Pequeña digresión: Efecto de la fase.

La climatología de la fase se va a discutir más adelante, pero... discutir el efecto de promediar campos con similar amplitud pero fase distinta. Del gráfico, septiembre tiene 1997 y 2003 con fase a  $180^\circ$ , lo que significa que va a haber cancelación parcial. Enero, por el contrario, no tiene ningún año en contrafase, aunque sí algunos a  $90^\circ$ , que desdibujan el patrón.

Cosas para ver:

Ambos criterios coinciden en casi todos los años seleccionados, así que no hay mucha diferencia. En efecto, las composiciones son casi iguales (no se muestra). Voy a usar la amplitud.

Estos gráficos me parecen importantes para ver lo que hay “adentro” de la composición, pero no sé bien qué decir sobre ellos. Supongo que lo principal es que hay años donde la onda

## 4.10 Fuentes de variabilidad interna

(Discusión escrita más de papers), Pero nos concentraremos en la fuente externa.

## 4.11 Fuentes externas

### 4.11.1 SST

Campos de correlación con SST y OLR, principalmente ¿Discusión de otros forzantes?



# Capítulo 5

# Experimentos

## 5.1 Validación SPEEDY

Validación de la corrida control

- Comparación campos medios.

Acá un problemita es que en speedy no tengo el nivel de 50hPa, sólo tengo 925, 850, 700, 500, 300, 200, 100, 30. Podría usar 30, pero eso es la tapa del modelo...

- Altura geopotencial (gh) Para el caso del campo total, la correlación del campo es buena ( $>0.8$ ) en casi todos los niveles y meses, excepto en 30hPa durante verano donde los campos están anticorrelacionados! La parte asimétrica zonal muestra valores menores, indicando que gran parte de la correlación del campo total se debe a la capacidad del modelo de reproducir el gradiente meridional. Sin embargo, se siguen obteniendo correlaciones  $>0.6$  en casi todos los niveles y estaciones. Se observa un mínimo relativo en 500hPa donde se tienen correlaciones menores durante casi todo el año y uno en niveles altos centrado en invierno y primavera.
- Viento zonal (U) Las correlaciones con el campo total son  $>=0.8$  en todo el año y todos los niveles, sin embargo, la parte asimétrica muestra correlaciones mucho más baja con un máximo de  $\sim 0.6$  en 925hPa. Esto indica que el modelo resuelve correctamente la estructura media del Jet, pero no sus variaciones zonales.
- Viento meridional (V) Los campos de correlación son prácticamente idénticos entre parte total y parte asimétrica. Ésta muestra un patrón de bajas correlaciones en general.
- Temperatura (T) La correlación con el campo total muestra una estructura similar que la altura geopotencial, con una excelente correlación en todos los meses para niveles mayores a 200hPa, pero anticorrelacionado en niveles altos en todos los meses salvo en invierno. La parte asimétrica muestra correlaciones bajas en todos los niveles salvo en 925hPa.
- Gradiente meridional de vorticidad absoluta. Tiene correlación moderada con un mínimo relativo en 200hPa en verano que en las otras estaciones se convierte en un máximo.

### 5.1.1 Altura Geopotencial

Anomalía

Veredicto:

- \* Agarra bien la anomalía zonal aunque con magnitud menor.

El corte zonal evidencia que además de tener menor amplitud, la estructura vertical de las anomalías es barotrópica equivalente en Speedy, a diferencia de la estructura baroclínica de NCEP.

### 5.1.2 Temperatura

En 850 tiene una fuerte onda 1 en latitudes polares producida por la topografía de la Antártida y representa bien las anomalías causadas por los continentes, aunque en menor amplitud.

En 200, falla miserablemente. La onda 1 polar que se ve bien claro en NCEP ni aparece en SPEEDY, mientras que en latitudes medias aparecen ligeras anomalías que no se observan en las observaciones.

### 5.1.3 Viento zonal

Cosas para ver:

- \* Speedy no logra desarrollar un jet polar por la falta de niveles verticales en la estratosfera. Tampoco reproduce los estes estratosféricos en latitudes bajas. Su jet subtropical es más intenso y su máximo se da ligeramente en niveles más altos en NCEP.

Campo medio (me parece que no lo voy a poner, no agrega información que no esté en el anterior y en el de geopotencial.)

Cosas para ver:

Jet polar en invierno y primavera en niveles altos (< 100 hPa). Jet subtropical en niveles “medios”.

### 5.1.4 Gradiente meridional de vorticidad absoluta

Comparando con la figura ??, los gradientes son menores y más zonales. Es significativo que la región “prohibida” en invierno de niveles altos es menor en 200hPa y casi desaparece en 300hPa.

### 5.1.5 Número de onda estacionaria

Comparando con ?? la mayor diferencia es la desaparición de una región de propagación impedida en ~40° en el Índico y el Pacífico en Otoño.

En promedio zonal, sin embargo, SPEEDY funciona bien.

### 5.1.6 Función corriente

### 5.1.7 Onda 3

La onda 3 no está muy bien representada en el modelo. Aunque la estructura vertical y la posición meridional está bien (salvo en otoño), la amplitud es mucho menor. La fase, además, está corrida ligeramente en verano, pero quedando en cuadratura en invierno y defasado 180 en primavera.

## 5.2 Comparación

Comparación entre corridas ### Altura geopotencial

### 5.2.1 Temperatura

ONo hay casi diferencia entre las corridas.

### 5.2.2 Viento zonal

### 5.2.3 Función corriente

### 5.2.4 Onda 3

## 5.3 Regresión

## 5.4 Cosas inesperadas...

- ??
- protif!



## **Capítulo 6**

# **Conclusiones**



## **Capítulo 7**

# **Agradecimientos**



# Referencias

Vera, Carolina, Gabriel Silvestri, Vicente Barros, y Andrea Carril. 2004. «Differences in El Niño response over the Southern Hemisphere». *Journal of Climate* 17 (9): 1741-53. doi:10.1175/1520-0442(2004)017<1741:DIENRO>2.0.CO;2.



# Índice de figuras

7.1 Ejemplo fourier - fig:fourier-ejemplo . . . . .	31
7.2 Wavelets fig:wavelet-ejemplo . . . . .	32
7.3 Campo de Z (NCEP) - fig:gh-ncep . . . . .	33
7.4 Gradiente meridional de Z - fig:ghdy-ncep-corte . . . . .	34
7.5 Anomalía zonal de altura geopotencial.fig:ghz-ncep . . . . .	35
7.6 Corte zonal de anomalía de geopotencial en -60°.fig:ghz-ncep-corte60 . . . . .	36
7.7 Transportes - fig:uzvz-ncep-corte . . . . .	37
7.8 Desvío estándar por círculo de latitud.fig:sd-gh-ncep . . . . .	38
7.9 Temperatura media. - fig:t-ncep . . . . .	39
7.10 Corte meridional de temperatura media.fig:tz-ncep-corte . . . . .	40
7.11 Anomalía zonal de temperatura. - fig:tz-ncep . . . . .	41
7.12 Corte zonal de anomalía de temperatura en -60°.fig:tz-ncep-corte60 . . . . .	42
7.13 Viento zonal medio.fig:u-ncep-corte . . . . .	43
7.14 Viento zonal.fig:u-ncep . . . . .	44
7.15 Anomalía zonal de viento zonal.fig:uz-ncep . . . . .	45
7.16 Media zonal del viento meridional.fig:v-ncep-corte . . . . .	46
7.17 Viento meridional medio.fig:v-ncep . . . . .	47
7.18 Gradiente meridional de vorticidad absoluta.fig:etady-ncep . . . . .	48
7.19 Número de onda estacionario en 200hPa.fig:ks-ncep . . . . .	49
7.20 Número de onda estacionario medio por círculo de latitud.fig:ks-ncep-corte . . . . .	50
7.21 Función corriente x 1099fig:psi-ncep . . . . .	51
7.22 $R^2$ de Fourier.fig:r2-ncep . . . . .	52
7.23 Amplitud de Fourier.fig:ampl-ncep . . . . .	53
7.24 Media de reconstrucción de onda 3.fig:qs3-ncep . . . . .	54
7.25 Cortefig:qs3-ncep-corte . . . . .	55
7.26 Desvío estándar de la reconstrucción de QS3.fig:qs3sd-ncep . . . . .	56
7.27 Amplitud de wavelets (sombreados) y de fourier (contornos)fig:wavelet-fourier-ncep . . . . .	57
7.28 Campo medio de la amplitud de la onda 3 según wavelets (contornos) y su anomalía zonal (sombreado) en 300hPa.fig:waveletz-ncep . . . . .	58
7.29 Corte zonal en -60° de la amplitud media de la onda 3 según wavelets (contornos) y su anomalía zonal (sombreado).fig:wavelet-ncep-corte . . . . .	59
7.30 Distribución de amplitud para 12 fechas. En rojo la amplitud máxima, en azul la amplitud media.fig:ampl-max-mean . . . . .	60
7.31 Corte vertical de amplitudfig:ampl-max-mean-corte . . . . .	61
7.32 Anomalía zonal geopotencial en 300hPa para fechas seleccionadas.fig:ghz-ncep-select . . . . .	62
7.33 Correlación entre amplitud máxima y media.fig:cor-mean-max . . . . .	63
7.34 Amplitud media - fig:ampl-ts . . . . .	64
7.35 Fase promedio vs Fase del máximofig:lon-phase . . . . .	65
7.36 Campo de onda 3 reconstruido para junio de 2013. El punto rojo es la fase en la latitud de amplitud máxima; el punto negro, la fase promedio; el punto azul, la moda de la fase. El rectángulo la región donde puede encontrarse la fase. Los límites meridionales definidos por la región donde se calcula el índice y los zonales por $360/3$ .fig:fase-mal . . . . .	66
7.37 Ciclo anual de la fase (20 mayores amplitudes para cada mes)fig:fase-boxplot . . . . .	67
7.38 Centros de máxima (puntos rojos) y mínima (puntos azules) para los 10 años con mayor amplitud de la onda 3, para cada mes.fig:centros-10max . . . . .	68
7.39 Amplitud y fase media para cada mes.fig:ampl-vs-fase . . . . .	69

7.40 Análisis SVD de QS3.probablemente basurafig:eof . . . . .	70
7.41 'Magnitud' y 'Fase' de cada mes a partir de las componentes principalesfig:eof1-eof2 . . . . .	71
7.42 Correlación lageada para cada mes con los 12 siguientes.fig:lag-cor . . . . .	72
7.43 Relación entre R2 medio y R2 reconstruido.fig:r2-cor2 . . . . .	73
7.44 R2 mediofig:r2-corte . . . . .	74
7.45 R2 medio - fig:r2-ts . . . . .	75
7.46 Correlación cuadrada media para estaciones según onda3.fig:cor-campo . . . . .	76
7.47 Regresión sobre amplitud.fig:regr-gh-ncep . . . . .	77
7.48 Igual que figura XX, pero en proyección polar para julio y septiembre.fig:regr-gh-polar . . . . .	78
7.49 Relación entre amplitud media de la onda 3 y el SAMfig:sam-ampl . . . . .	79
7.50 Regresión de Psi con la amplitud.fig:regr-psi-ncep . . . . .	80
7.51 Tabla de selecciónfig:seleccion-tabla . . . . .	81
7.52 Tabla de interacciónfig:interaccion-tabla . . . . .	82
7.53 Composición de camposfig:gh-comp . . . . .	83
7.54 Campos para los 10 eneros seleccionados.fig:gh-qs3-select-ene . . . . .	84
7.55 Campos para los 10 septiembre seleccionados.fig:gh-qs3-select-sep . . . . .	85
7.56 Regresión de SST con la amplitud de la onda 3fig:regr-sst-ncep . . . . .	86
7.57 Correlación lineal entre campos de SPEEDY y NCEP.fig:cor-sp-nc . . . . .	87
7.58 Anomalía zonal de altura geopotencial (speedy sombreado, ncep contornos)fig:ghz-sp-nc . . . . .	88
7.59 Diferencia entre speedy y ncepfig:ghz-dif-sp-nc . . . . .	89
7.60 Corte zonal de anomalía de geopotencial en -60° (speedy sombreado, ncep contornos).fig:ghz-sp-nc-corte60 . . . . .	90
7.61 Temperaturafig:t-nc-sp . . . . .	91
7.62 T*fig:tz-sp-nc . . . . .	92
7.63 Viento zonal medio (speedy contornos, ncep sombreado).fig:u-sp-nc-corte . . . . .	93
7.64 Viento zonal (contornos ncep, sombreado speedy).fig:u-sp-nc . . . . .	94
7.65 Diferencia entre ncep y speedy en viento zonalfig:u-dif-sp-nc . . . . .	95
7.66 Gradiente meridional de vorticidad absoluta (speedy).fig:etady-sp-nc . . . . .	96
7.67 Número de onda estacionario en 300hPa (speedy).fig:ks-sp . . . . .	97
7.68 Número de onda estacionario medio por círculo de latitud.fig:ks-sp-nc-corte . . . . .	98
7.69 Función corriente x 1099fig:psi-sp . . . . .	99
7.70 Amplitud de Fourier (speedy en sombreado, ncep en contornos).fig:ampl-sp-nc . . . . .	100
7.71 Media de reconstrucción de onda 3 (sombreado speedy, contornos ncep)fig:qs2-sp-nc . . . . .	101
7.72 Anomalía zonal de altura geopotencial.fig:ghz-sp-runs . . . . .	102
7.73 Diferencia Control - corrida para Z*fig:ghz-dif-sp-runs . . . . .	103
7.74 Temperatura media en 850hPa.fig:t-sp-runs . . . . .	104
7.75 Temperatura media en 850hPa.fig:tz-sp-runs . . . . .	105
7.76 Diferencia Control - corrida para T*fig:tz-dif-sp-runs . . . . .	106
7.77 Viento zonalfig:uz-sp-runs . . . . .	107
7.78 Diferencia control - corrida para U.fig:u-dif-sp-runs . . . . .	108
7.79 Anomalía zonal de función corriente y flujos de acción de onda.fig:psi-sp-runs . . . . .	109
7.80 Diferencia en psi.z y flujos de acción de onda.fig:psiz-dif-sp-runs . . . . .	110
7.81 Amplitud media de la onda 3 para cada corrida.fig:ampl-sp-runs . . . . .	111
7.82 Diferencia de amplitud entre la corrida control y cada corrida.fig:ampl-dif-sp-runs . . . . .	112
7.83 Ciclo anual de amplitud de onda 3.fig:index-sp-boxplot . . . . .	113
7.84 Regresión en función corriente.fig:regr-psi-sp-runs . . . . .	114

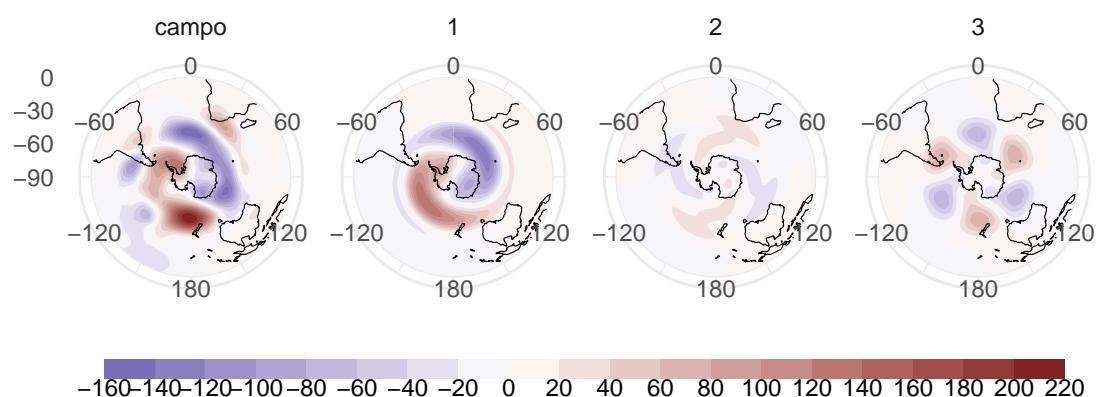


Figura 7.1: Ejemplo fourier - fig:fourier-ejemplo

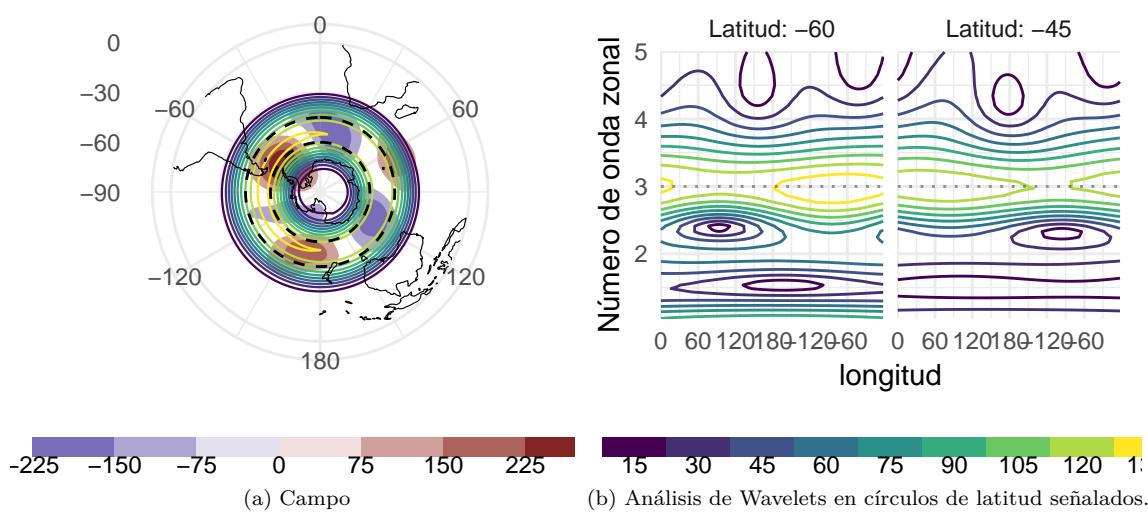
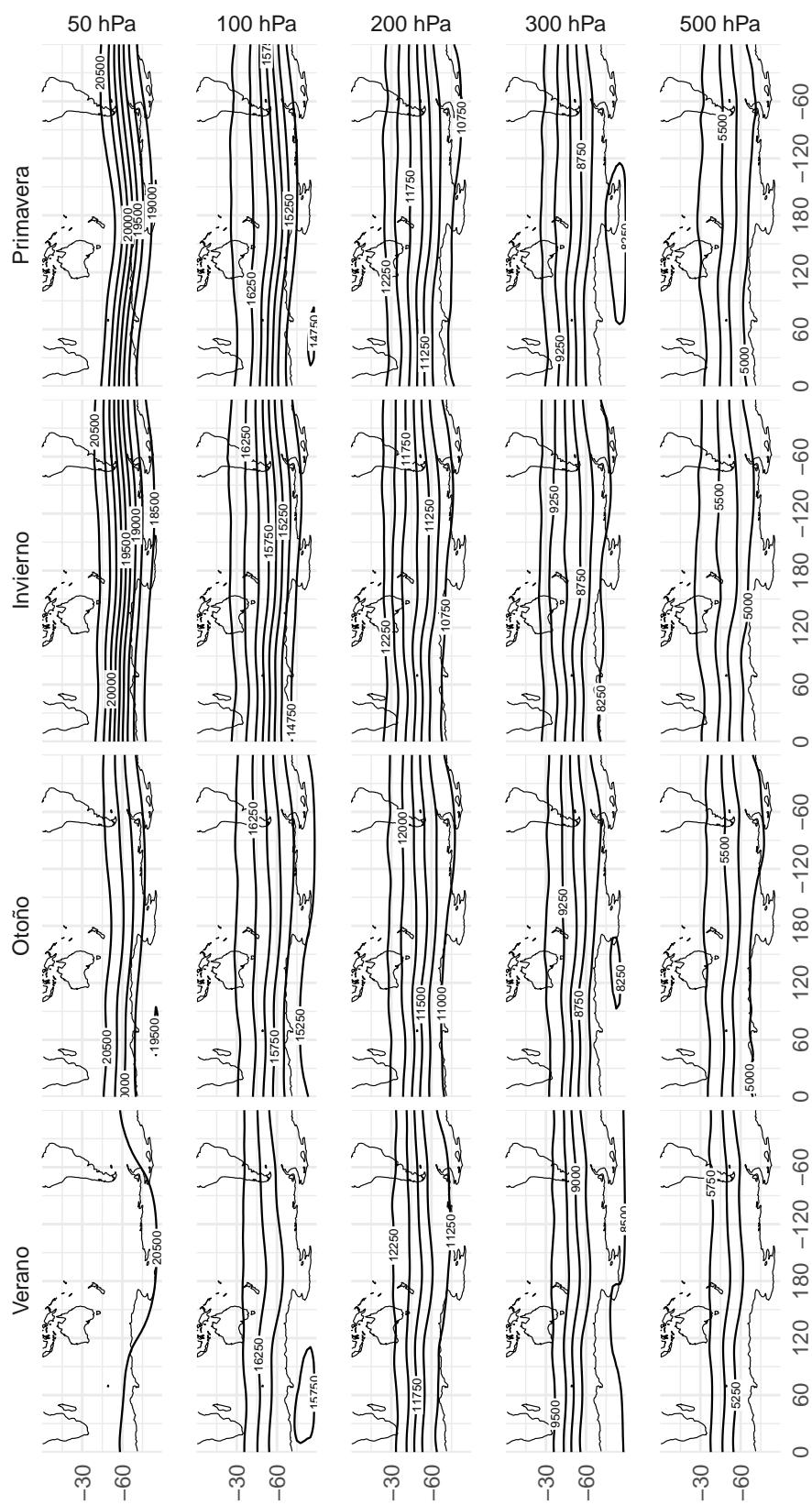


Figura 7.2: Wavelets fig:wavelet-ejemplo



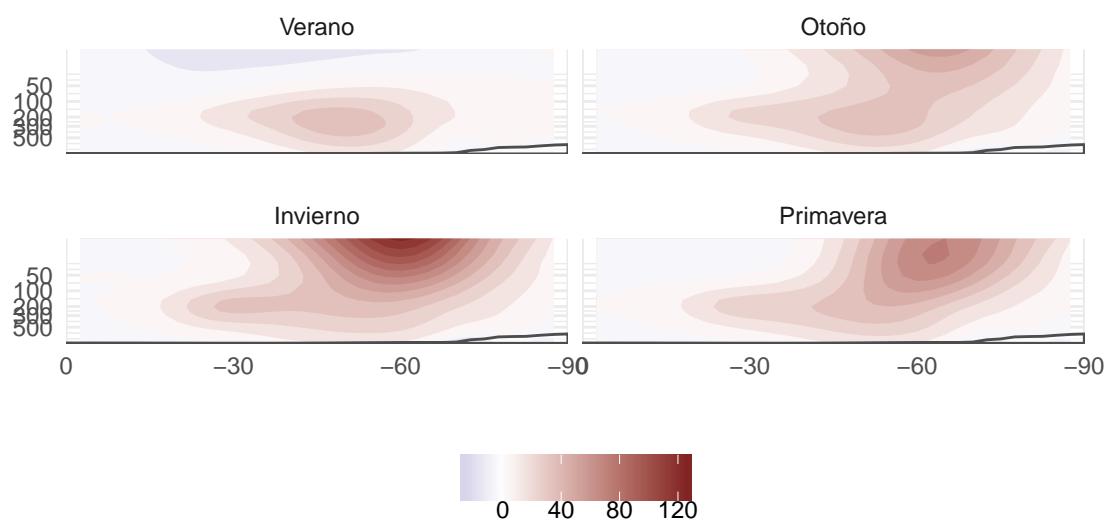


Figura 7.4: Gradiente meridional de Z - fig:ghdy-ncep-corte

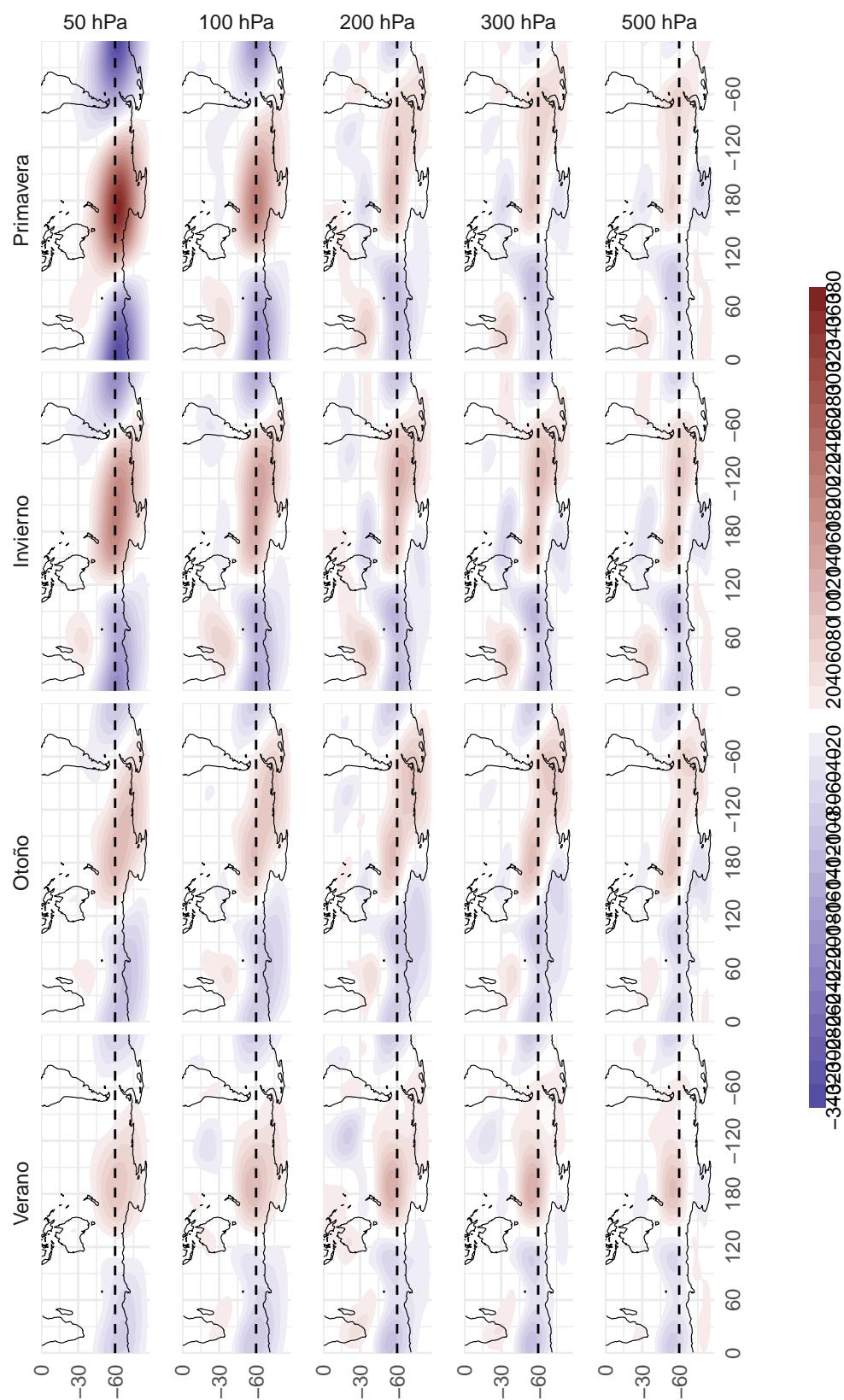


Figura 7.5: Anomalía zonal de altura geopotencial.fig:ghz-ncep

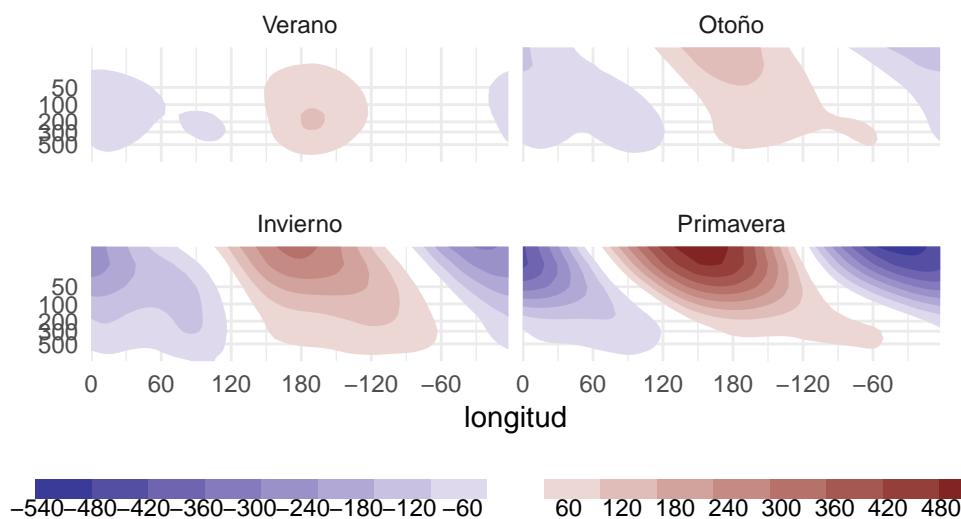


Figura 7.6: Corte zonal de anomalía de geopotencial en  $-60^\circ$ . fig:ghz-ncep-corte60

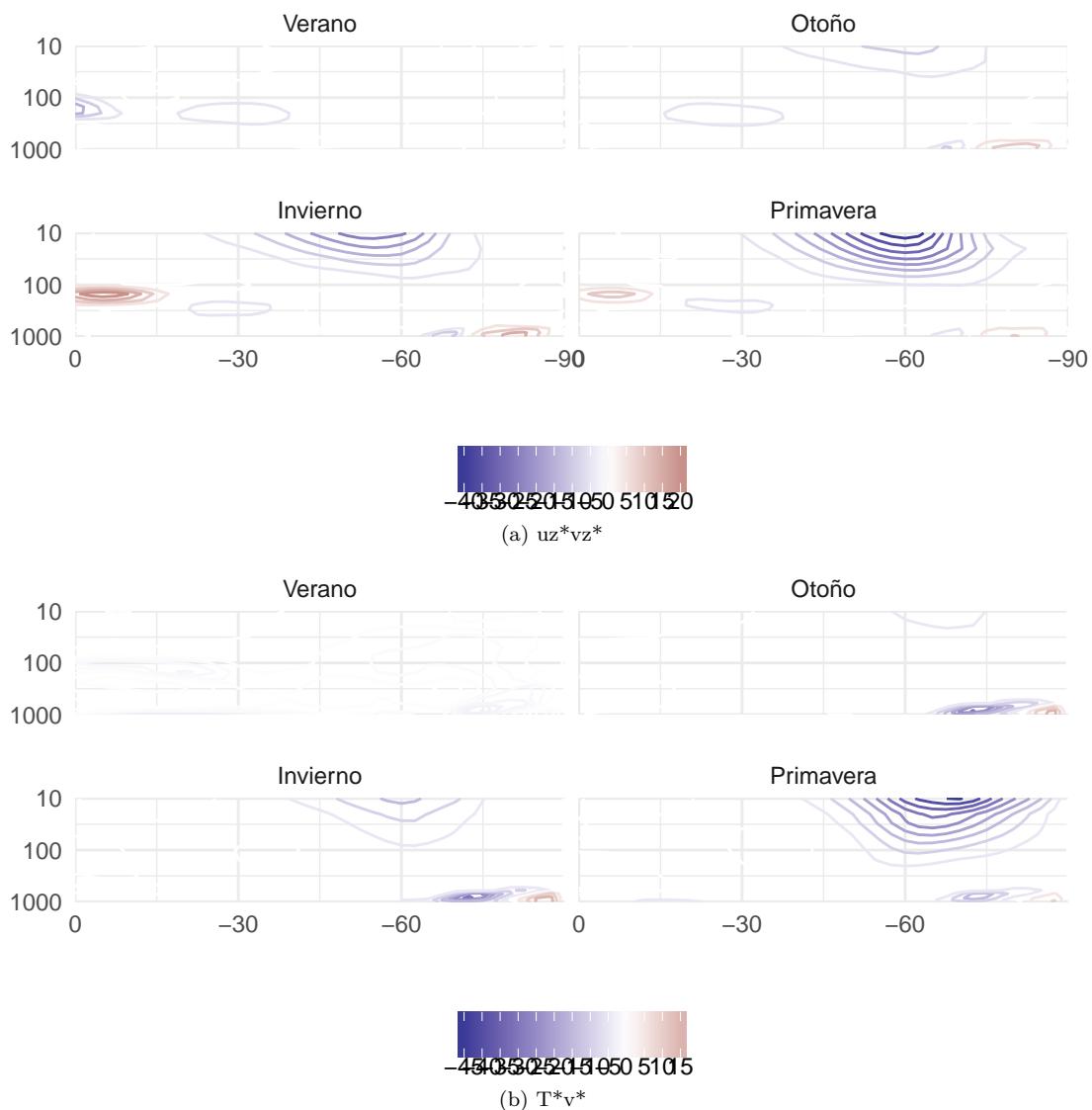


Figura 7.7: Transportes - fig:uzvz-ncep-corte

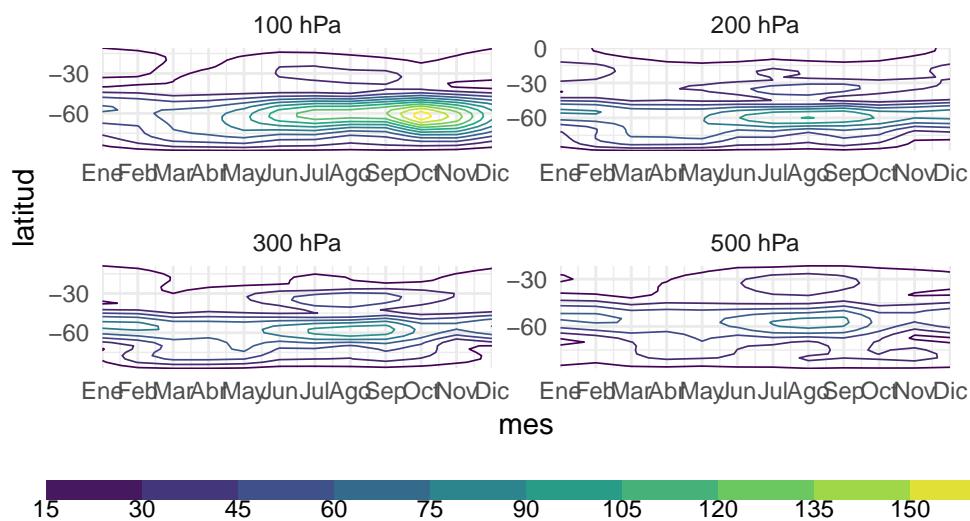


Figura 7.8: Desvío estándar por círculo de latitud. fig:sd-gh-ncep

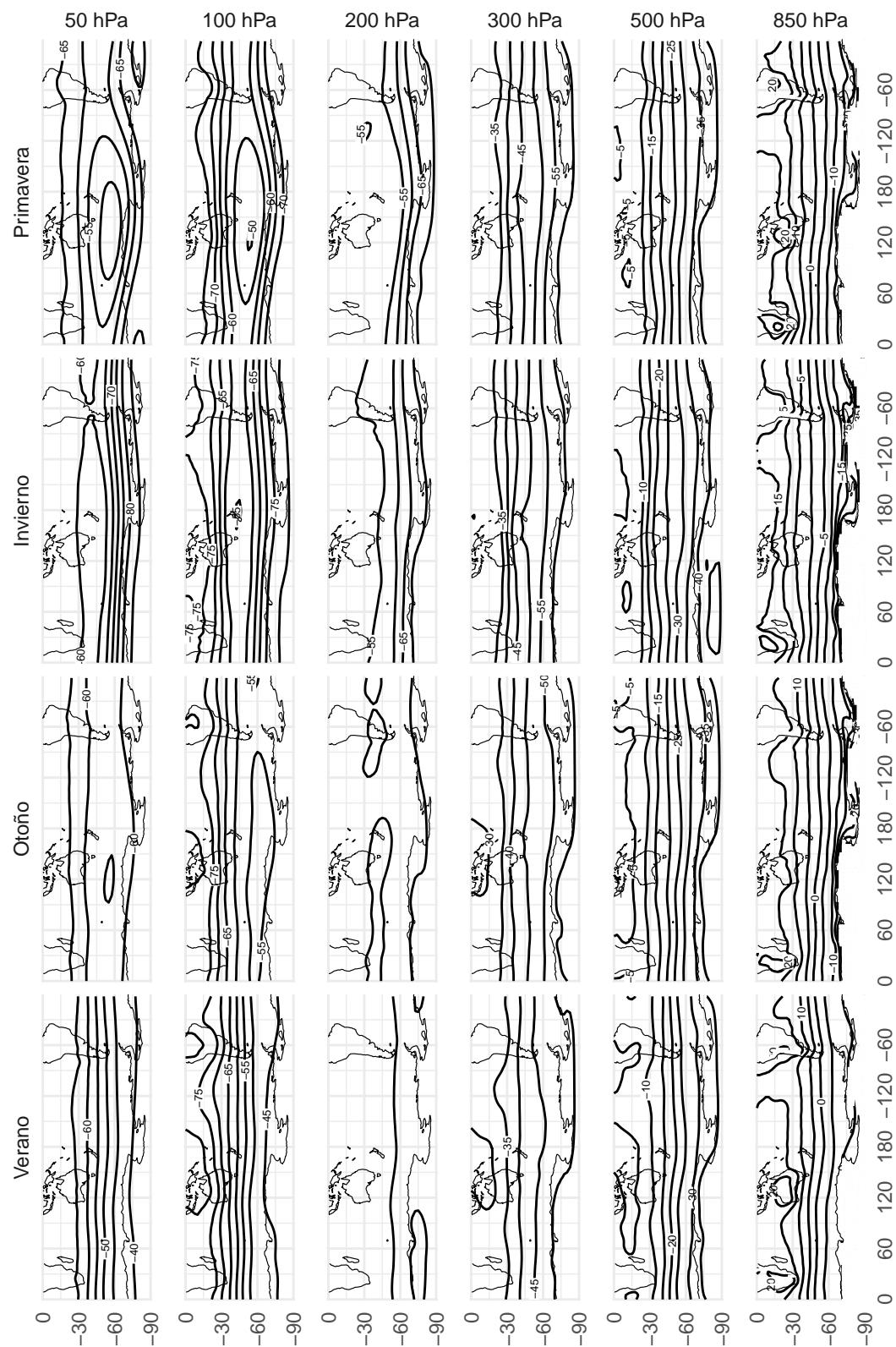


Figura 7.9: Temperatura media. - fig:t-ncep

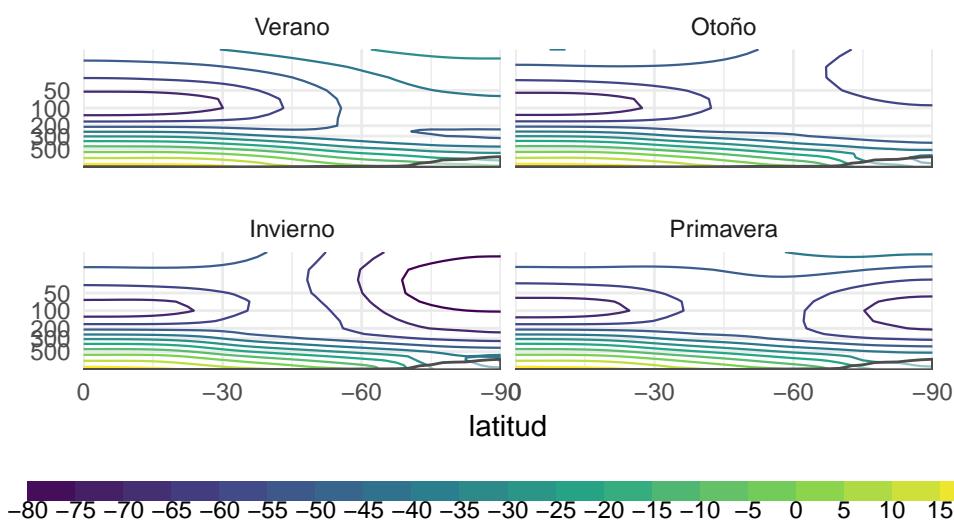


Figura 7.10: Corte meridional de temperatura media.fig:tz-ncep-corte

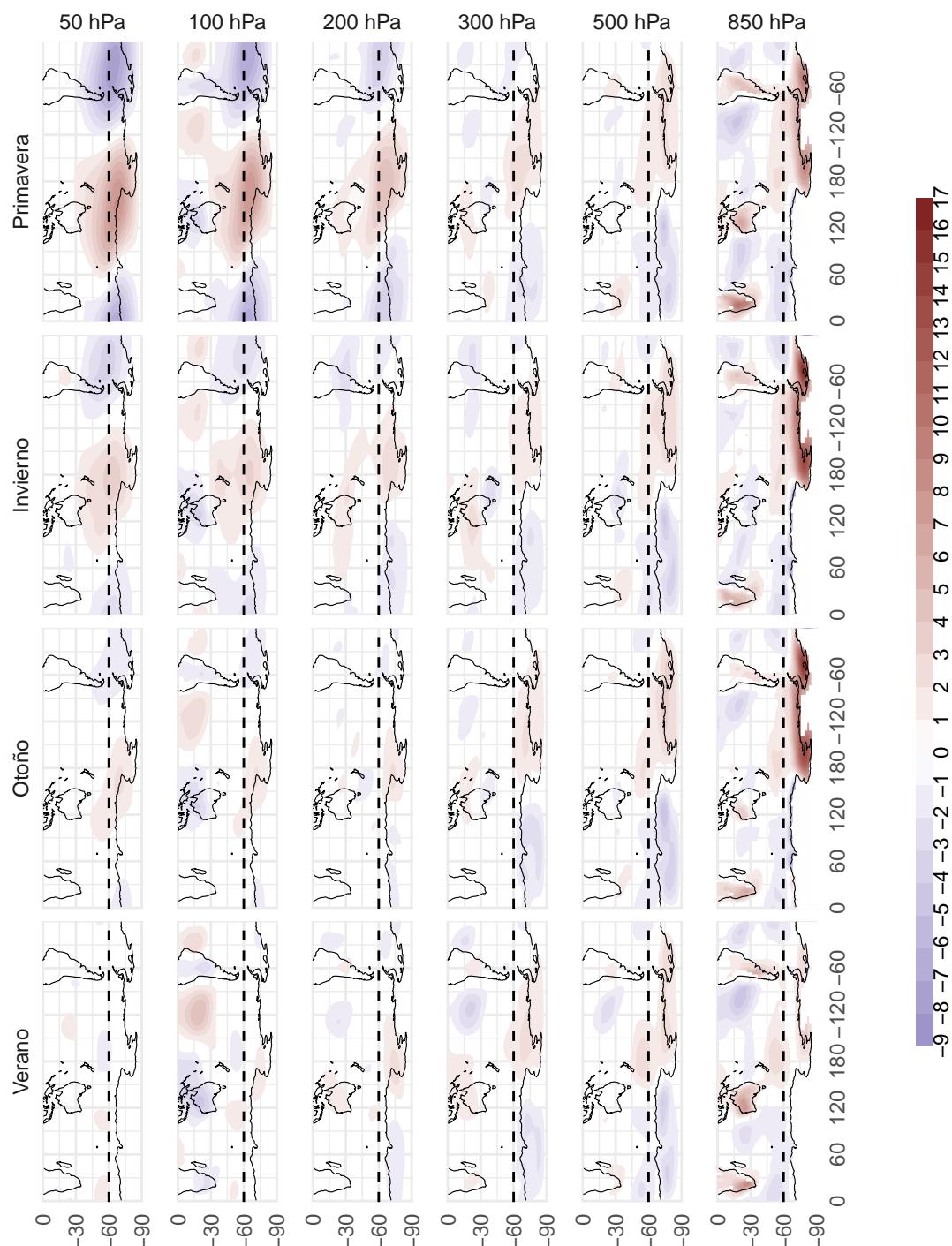


Figura 7.11: Anomalía zonal de temperatura. - fig:tz-ncep

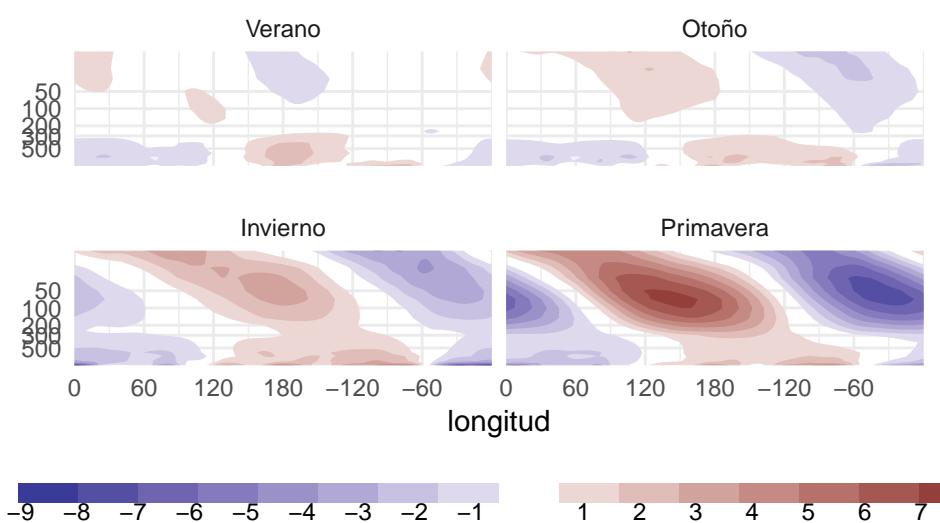


Figura 7.12: Corte zonal de anomalía de temperatura en  $-60^{\circ}$ .fig:tz-ncep-corte60

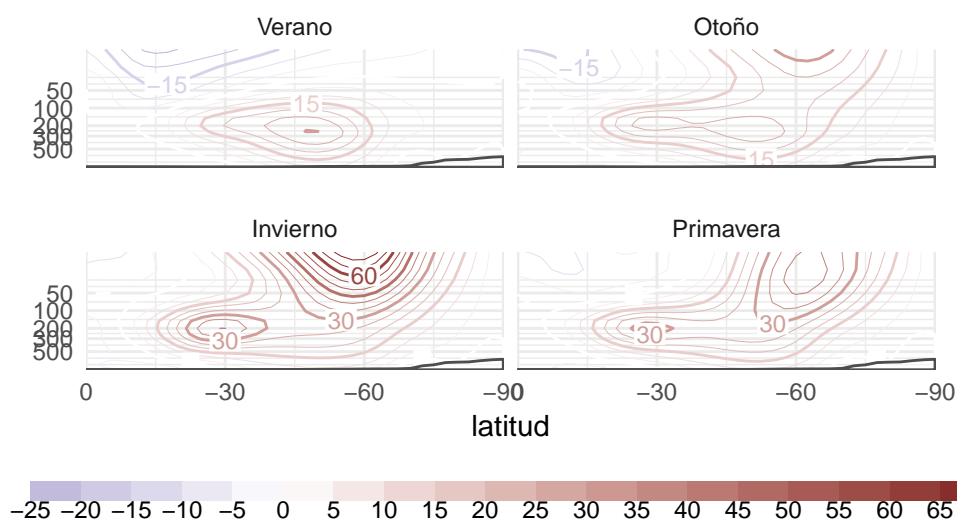


Figura 7.13: Viento zonal medio.fig:u-ncep-corte

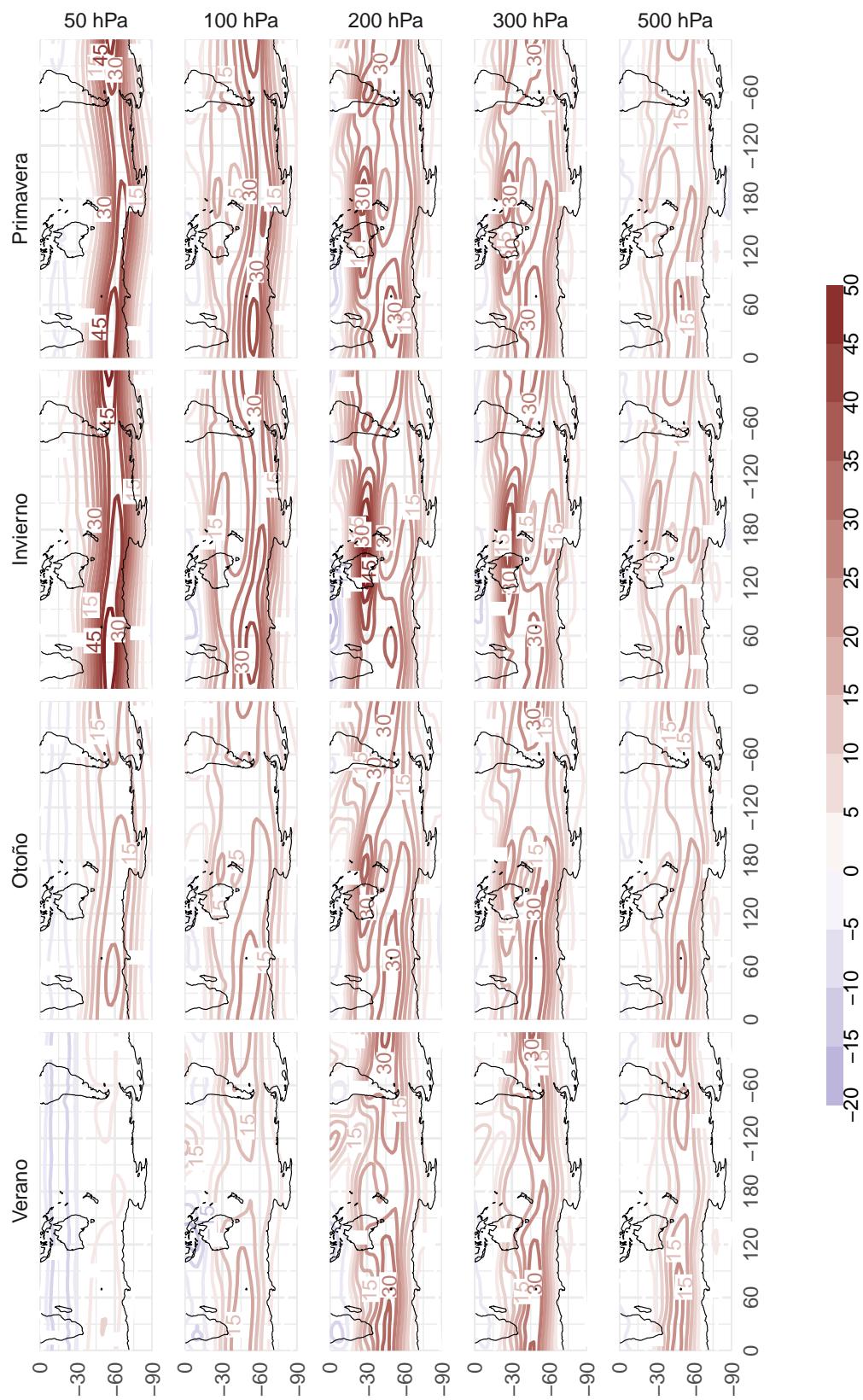


Figura 7.14: Viento zonal.fig:u-ncep

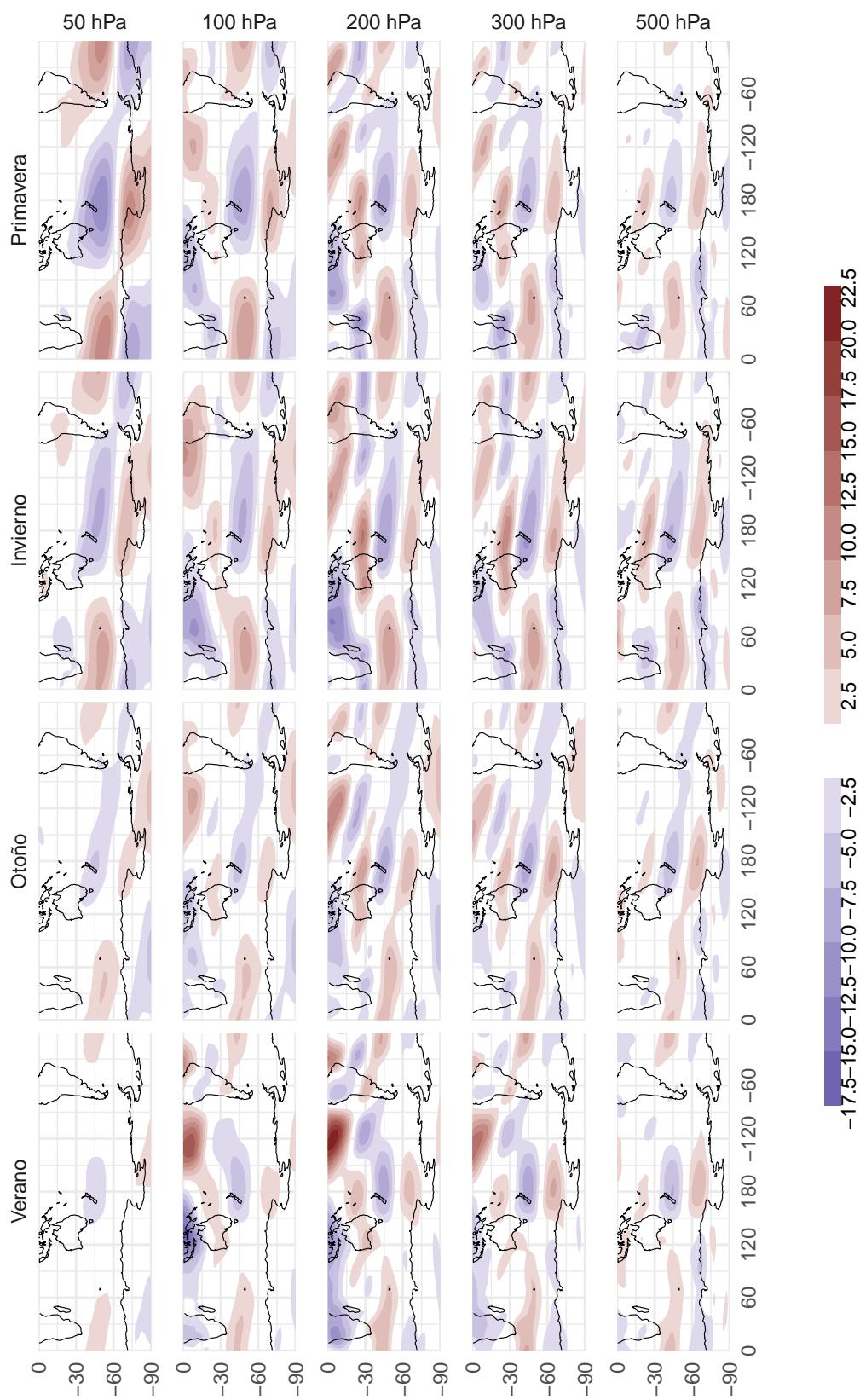


Figura 7.15: Anomalía zonal de viento zonal.fig:uz-ncep

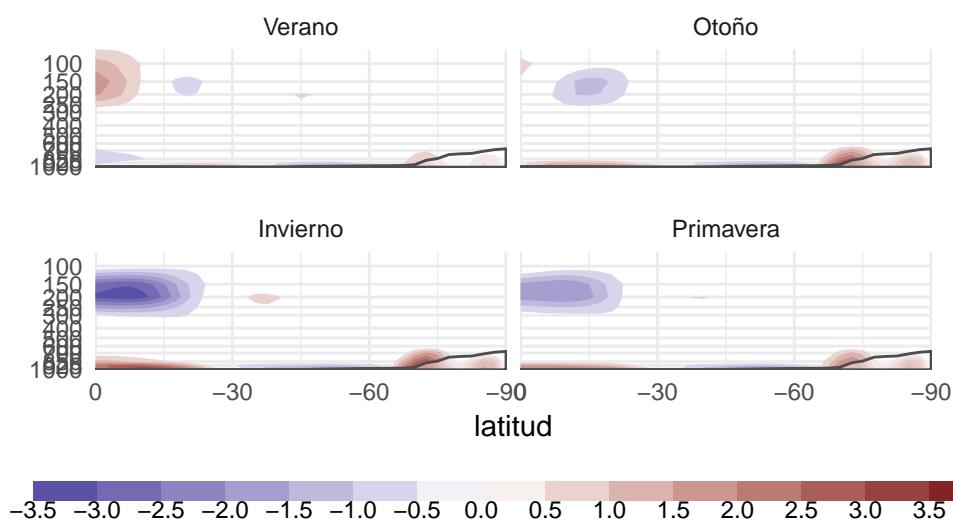


Figura 7.16: Media zonal del viento meridional.fig:v-ncep-corte

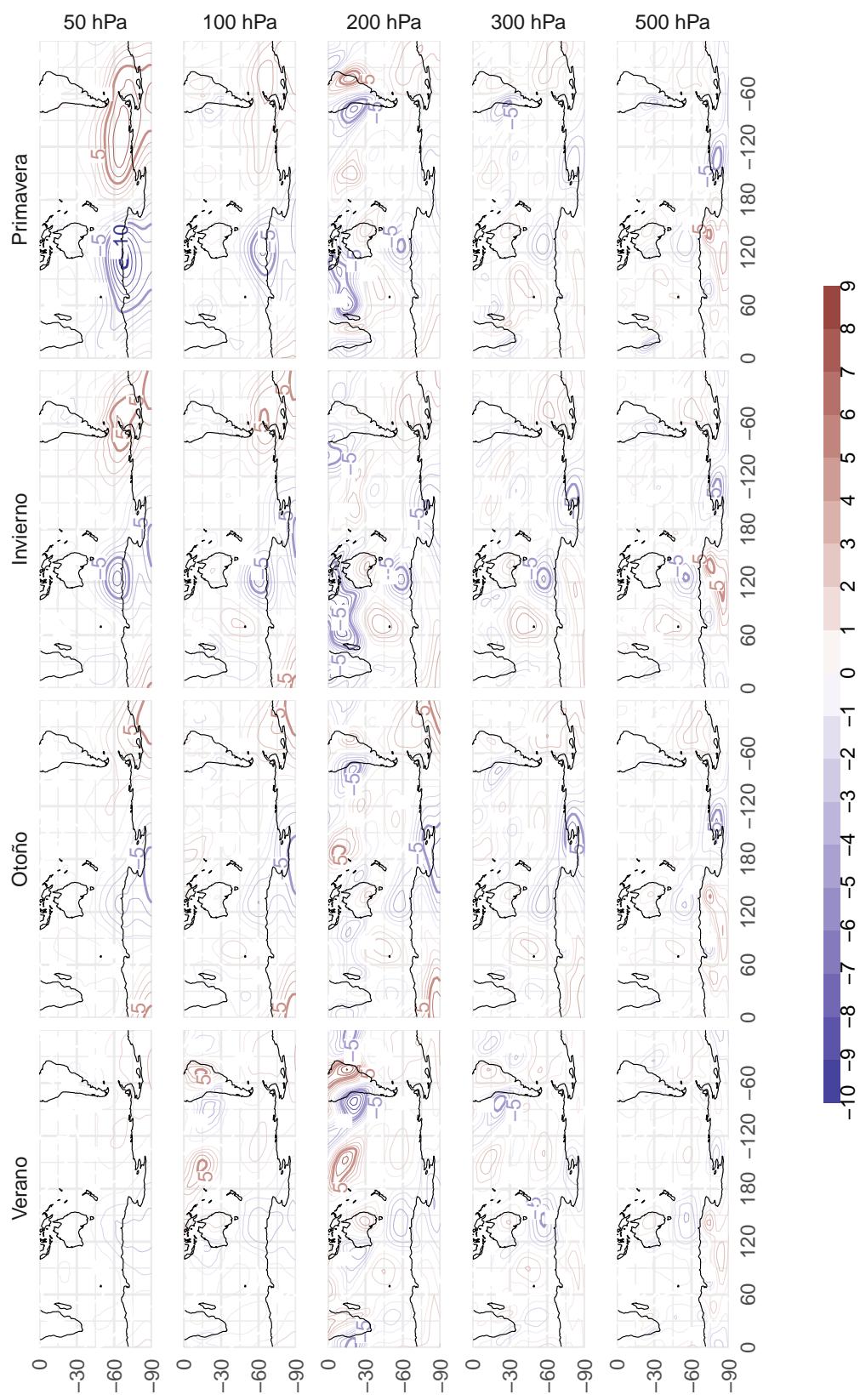


Figura 7.17: Viento meridional medio.fig:v-ncep

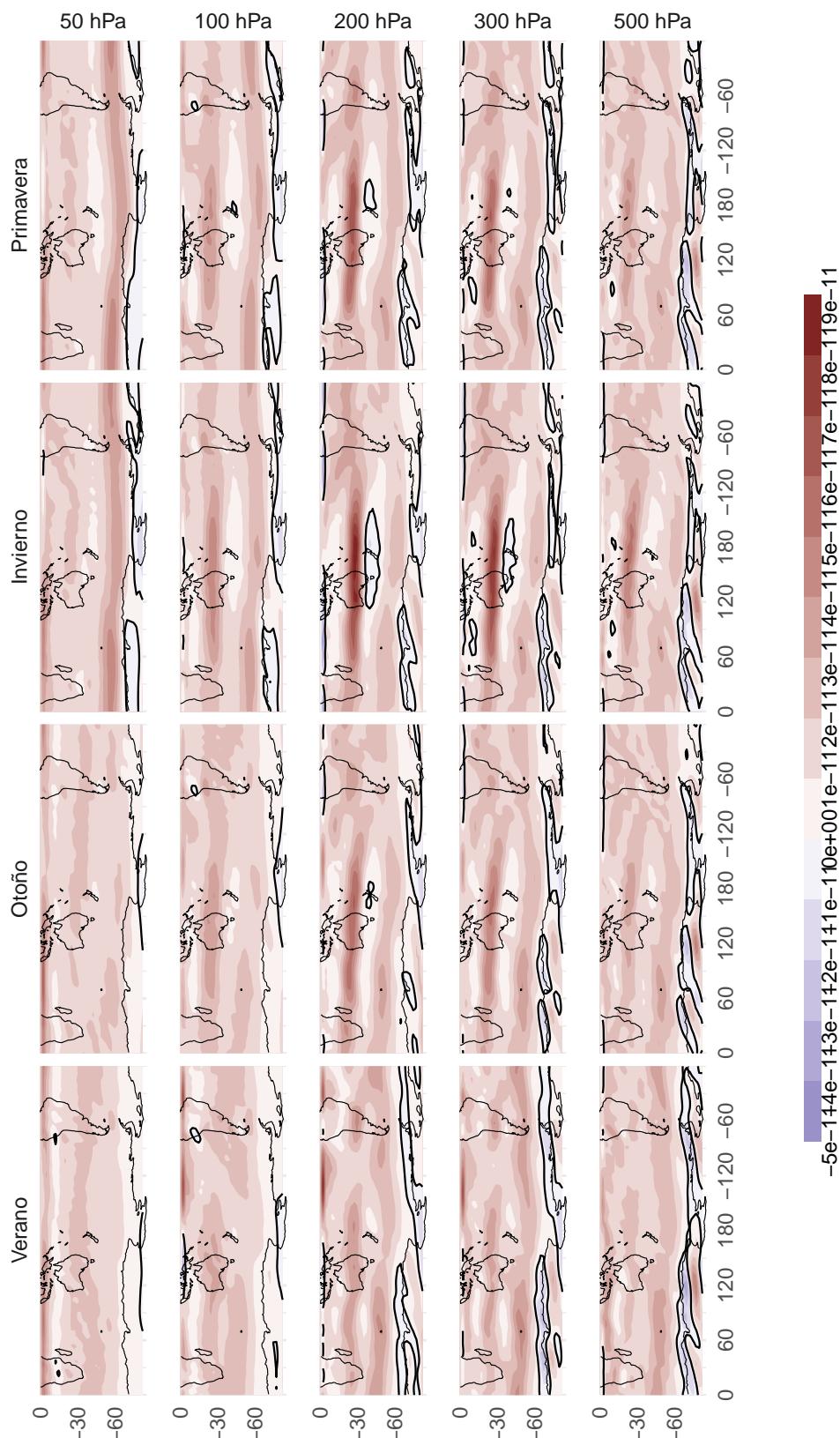


Figura 7.18: Gradiente meridional de vorticidad absoluta.fig:etady-ncep

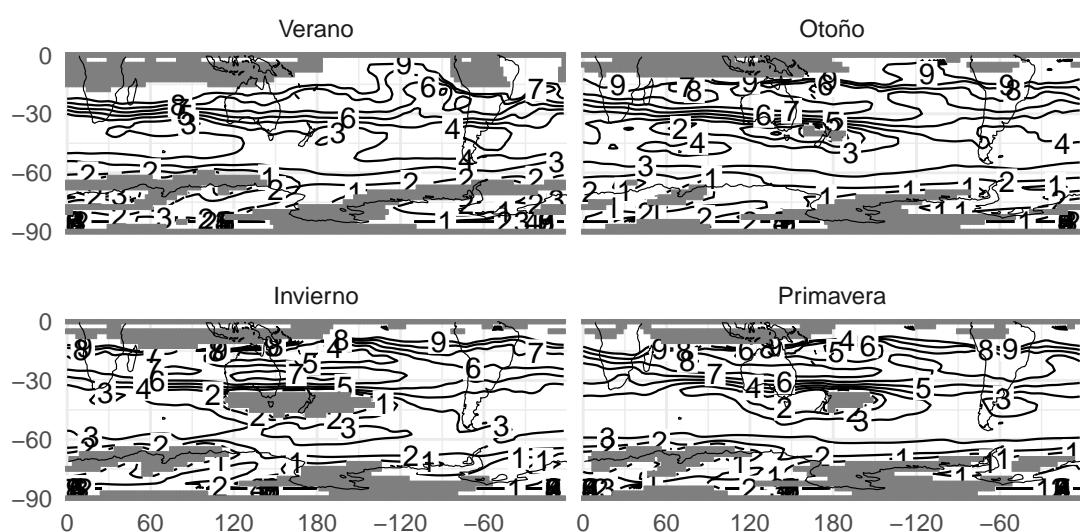


Figura 7.19: Número de onda estacionario en 200hPa.fig:ks-ncep

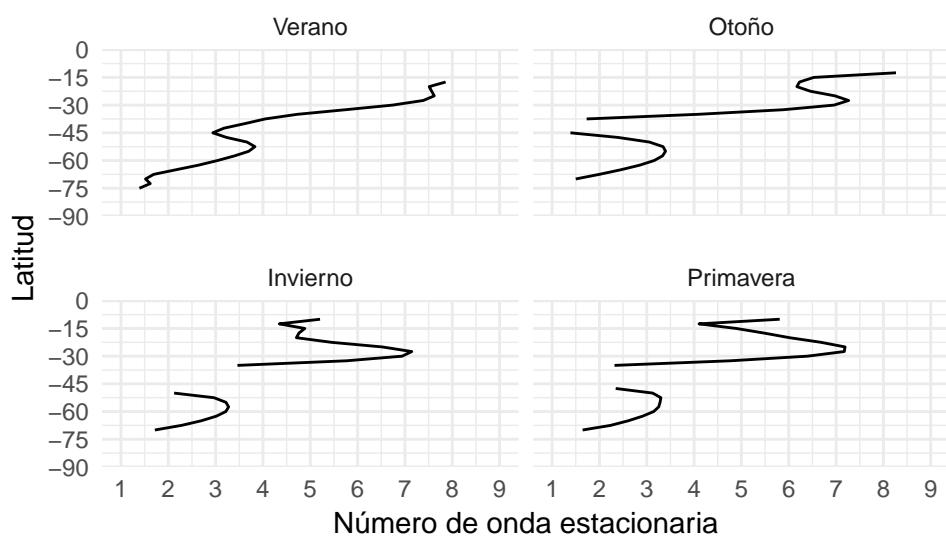
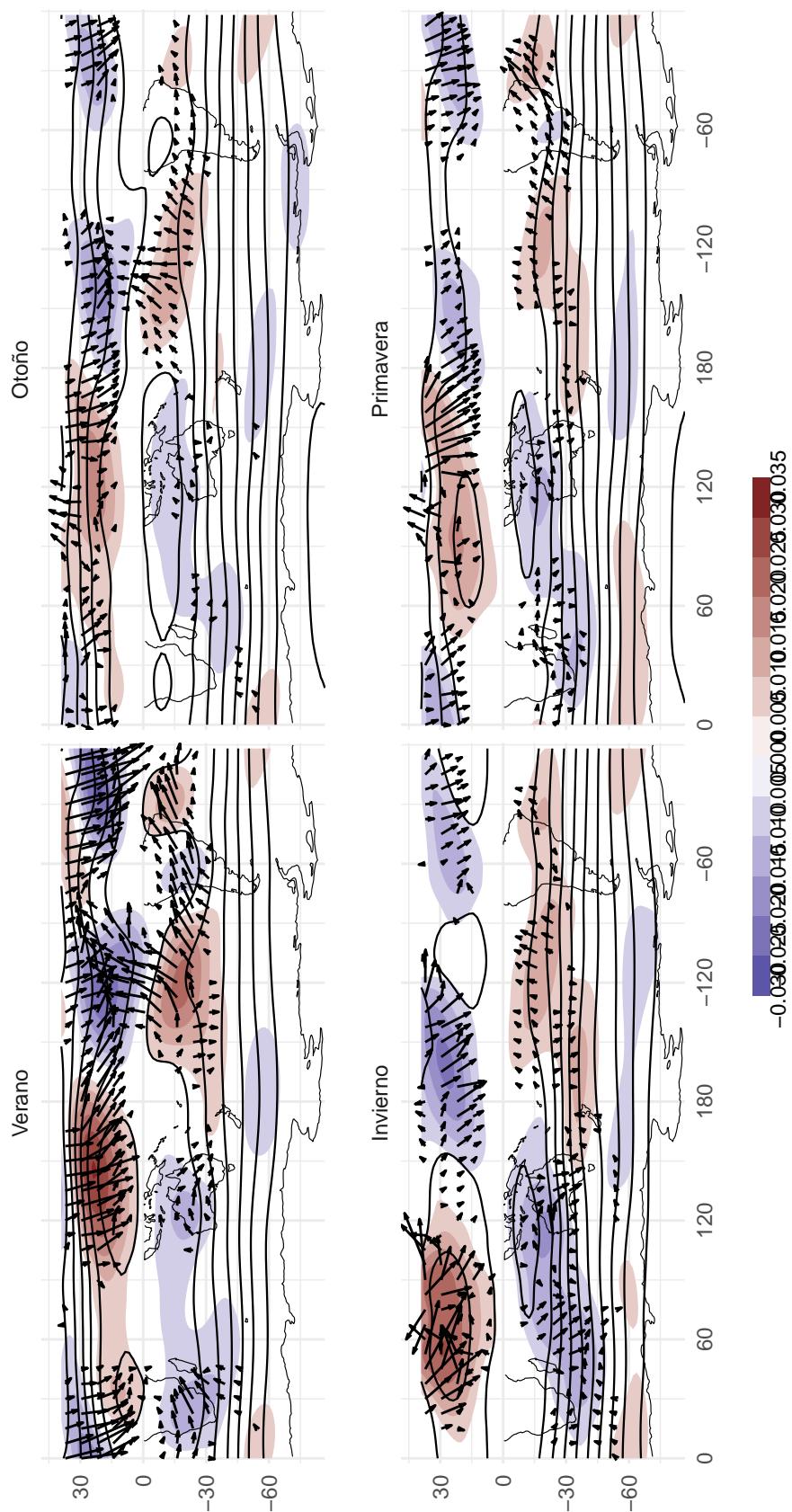
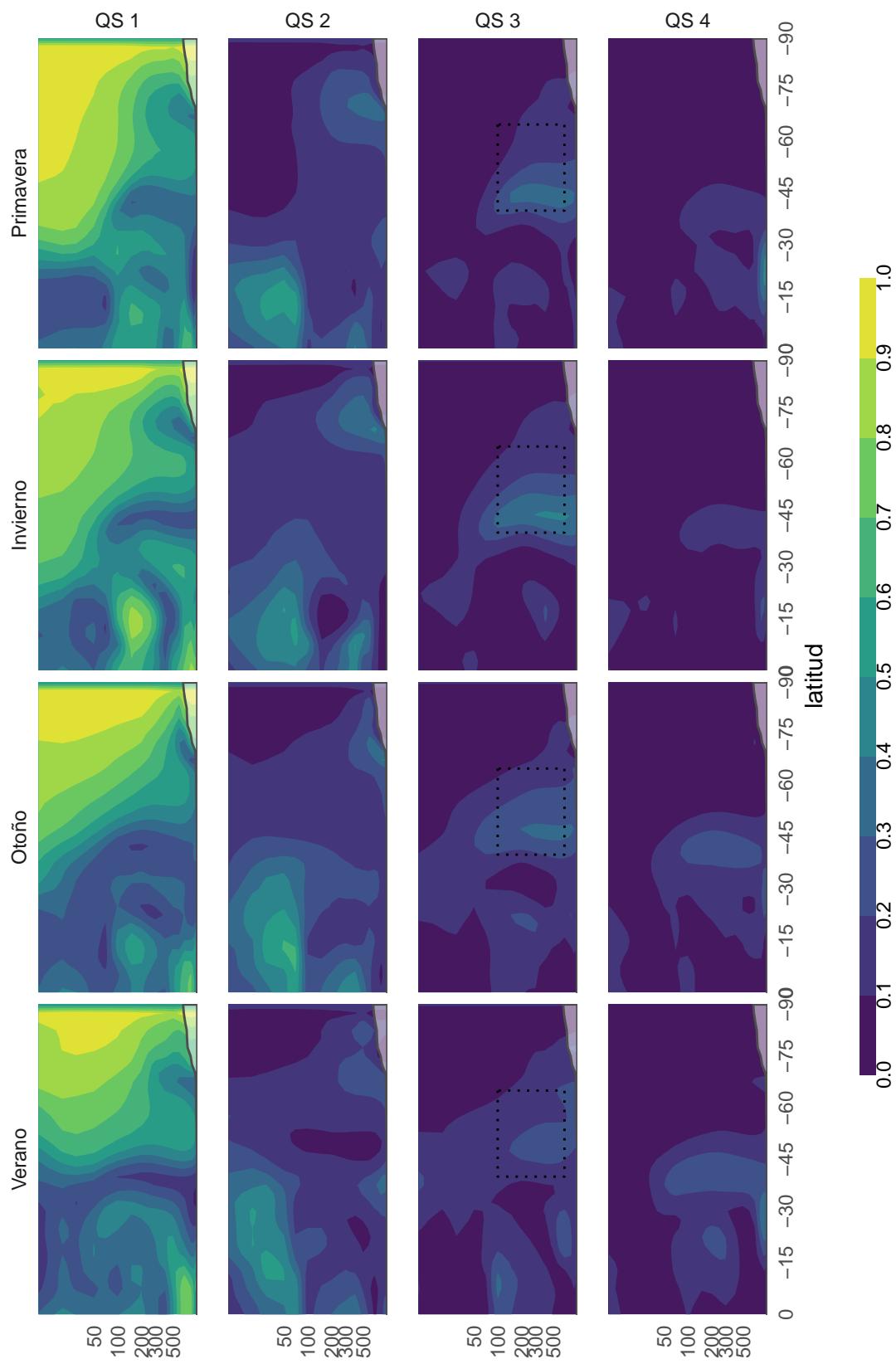


Figura 7.20: Número de onda estacionario medio por círculo de latitud.fig:ks-ncep-corte

Figura 7.21: Función corriente x 10<sup>9</sup>fig:psi-ncp

Figura 7.22:  $R^2$  de Fourier.fig:r2-ncep

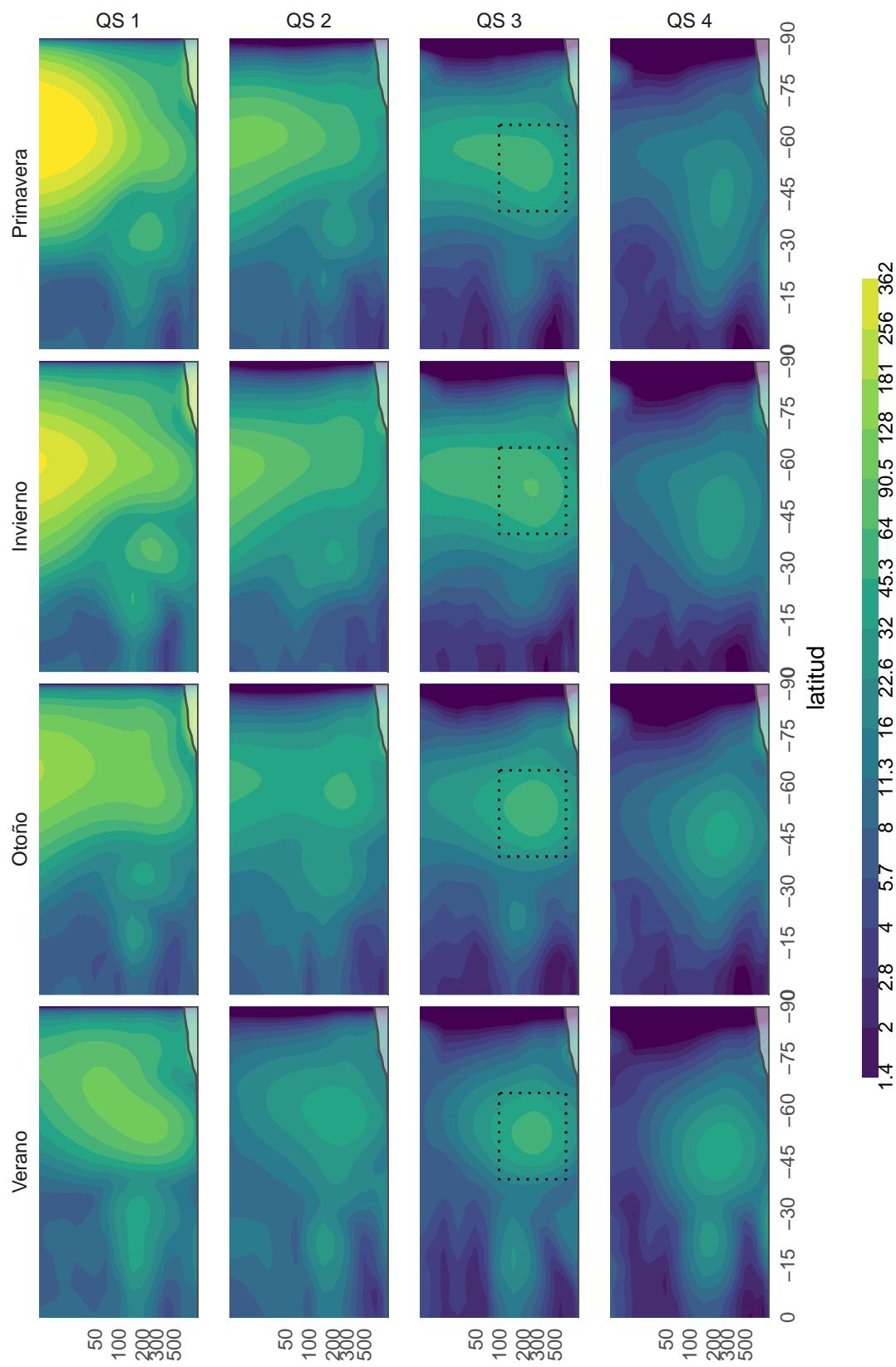


Figura 7.23: Amplitud de Fourier.fig:ampl-ncep

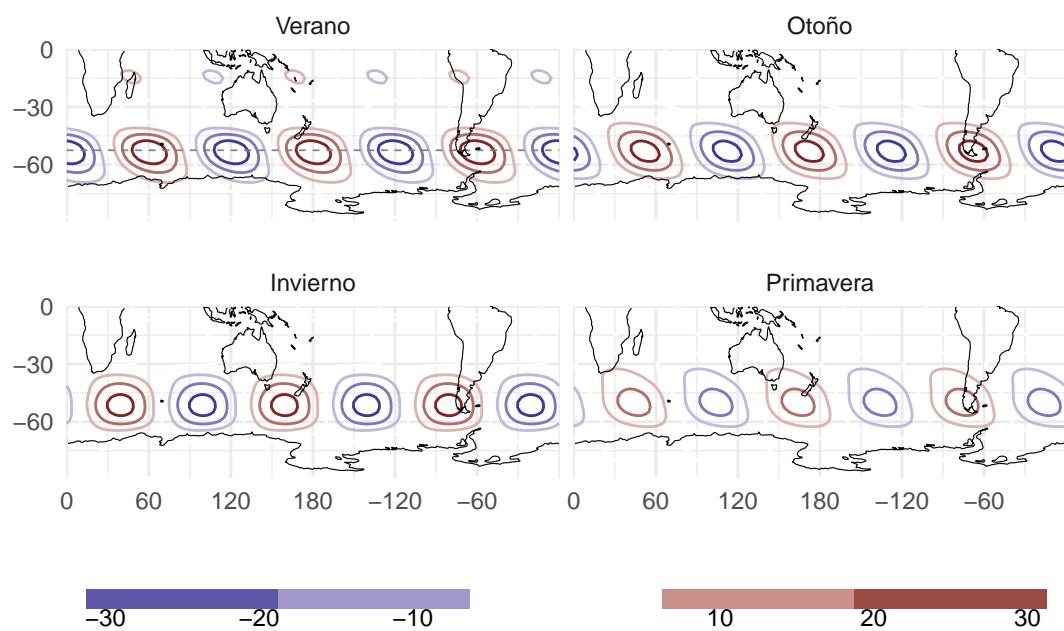


Figura 7.24: Media de reconstrucción de onda 3.fig:qs3-ncep

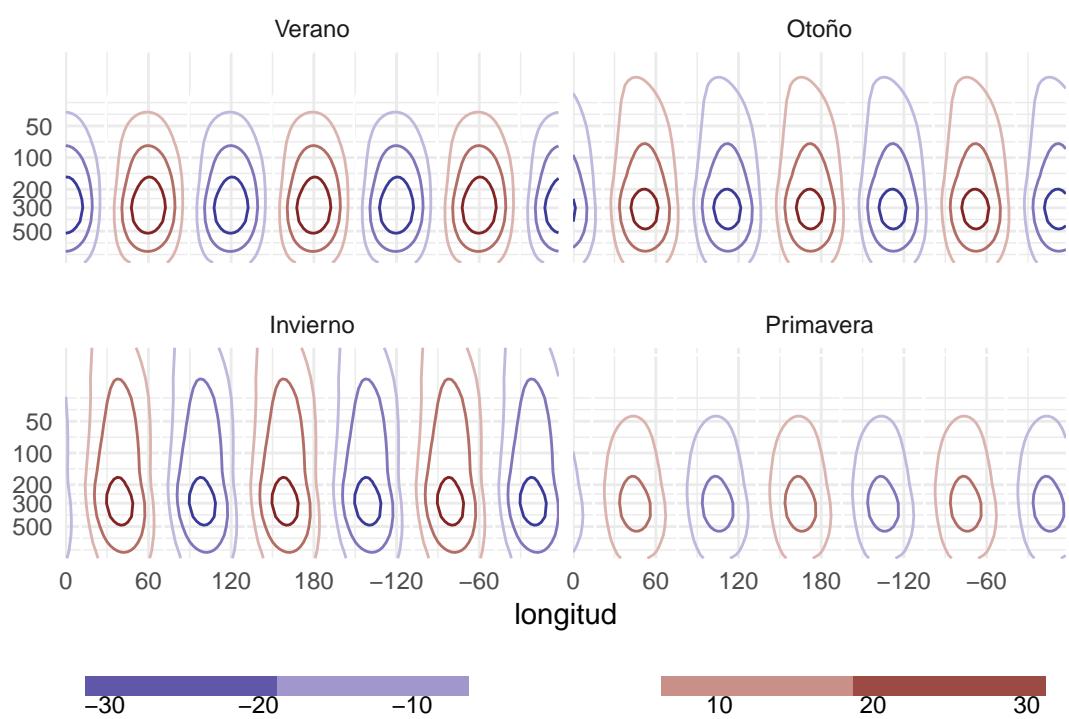


Figura 7.25: Cortefig:qs3-ncep-corte

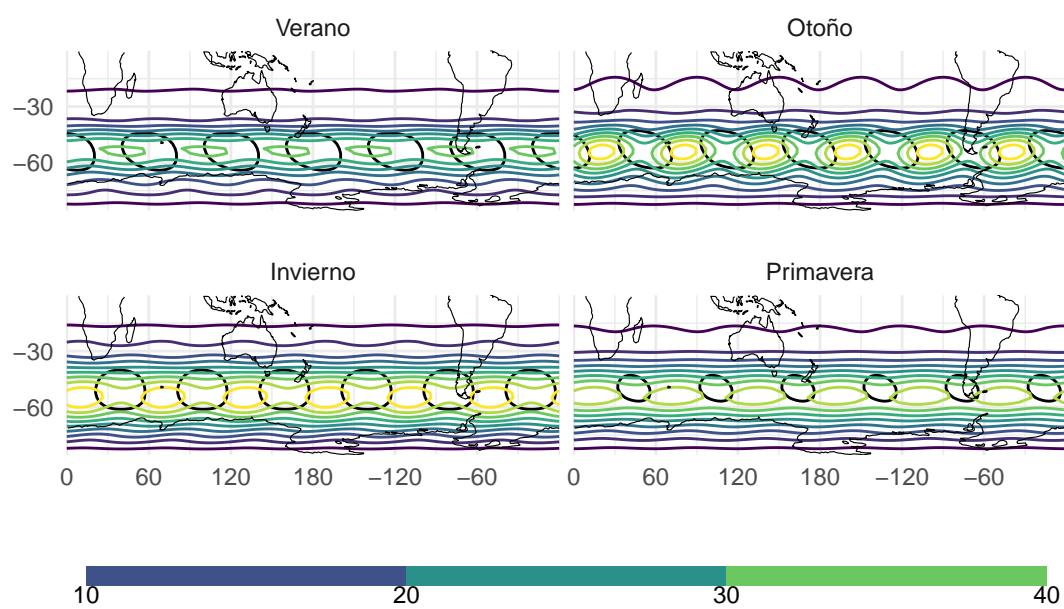


Figura 7.26: Desvío estándar de la reconstrucción de QS3.fig:qs3sd-ncep

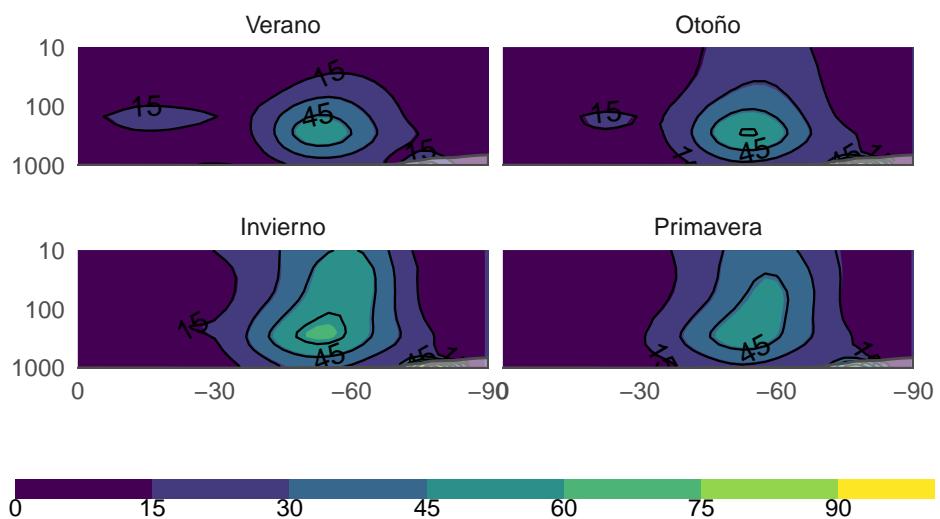


Figura 7.27: Amplitud de wavelets (sombreados) y de fourier (contornos) fig:wavelet-fourier-ncp

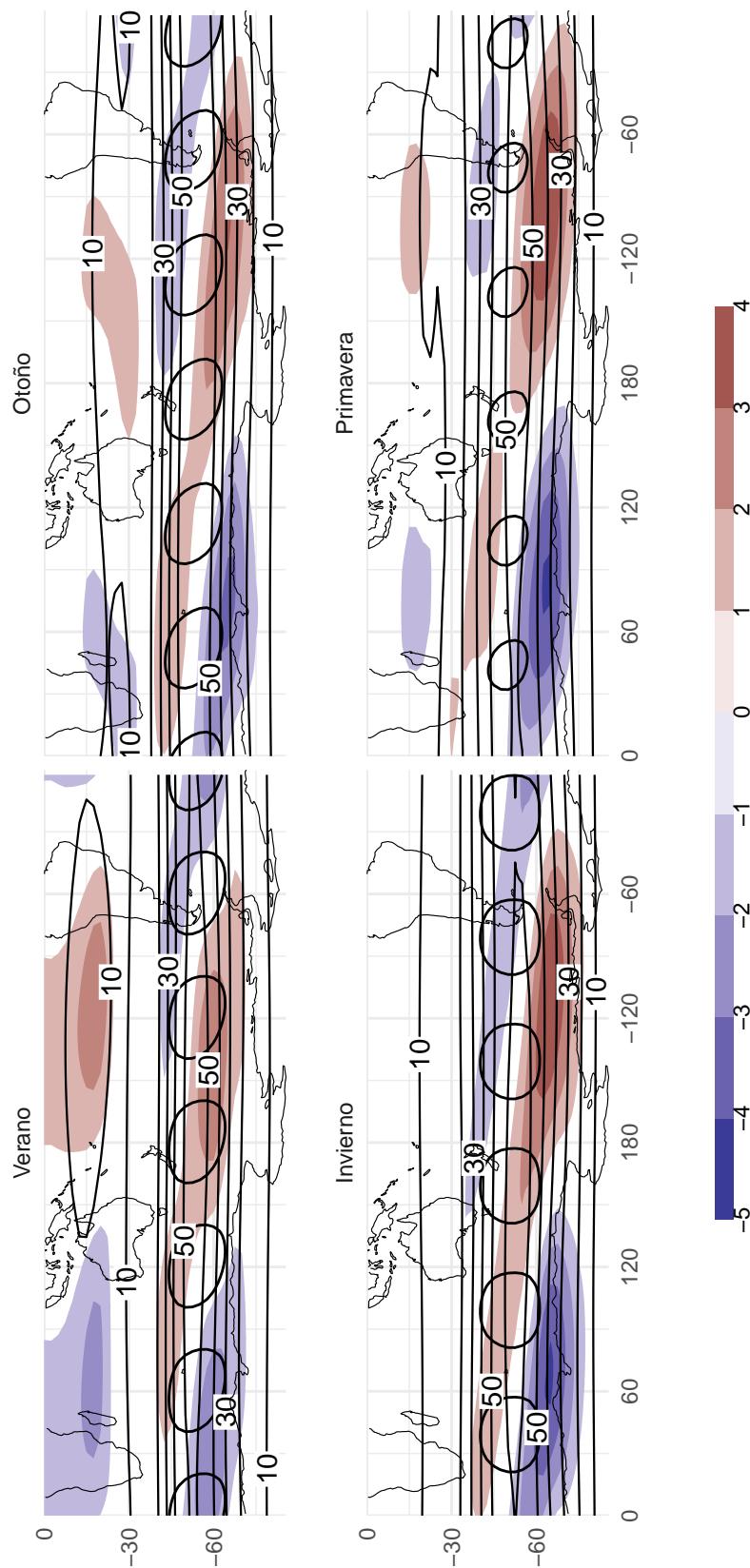


Figura 7.28: Campo medio de la amplitud de la onda 3 según wavelets (contornos) y su anomalía zonal (sombreado) en 300hPa.fig:waveletz-ncep

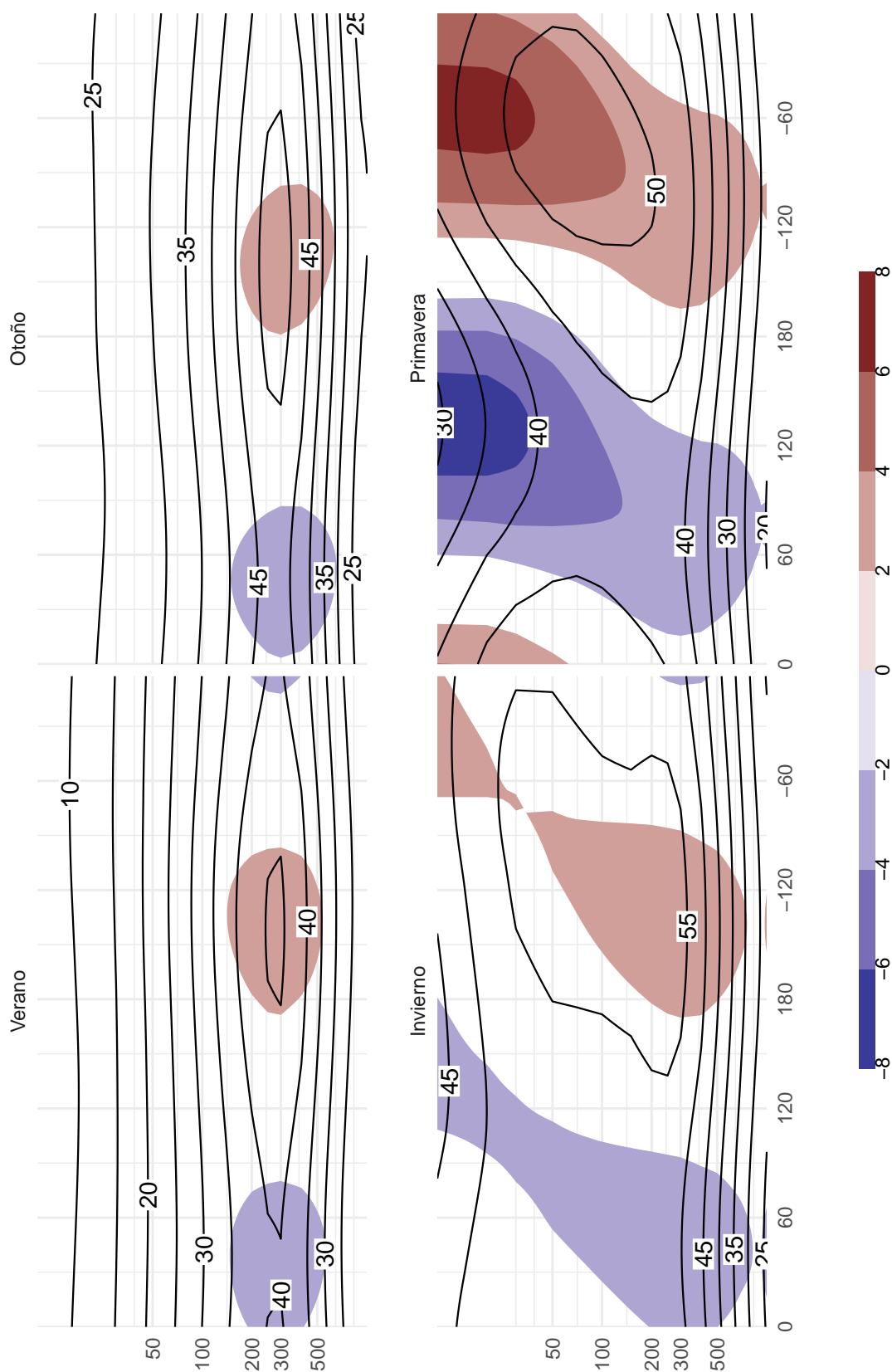


Figura 7.29: Corte zonal en  $-60^\circ$  de la amplitud media de la onda 3 según wavelets (contornos) y su anomalía zonal (sombreado). fig:wavelet-ncep-corte

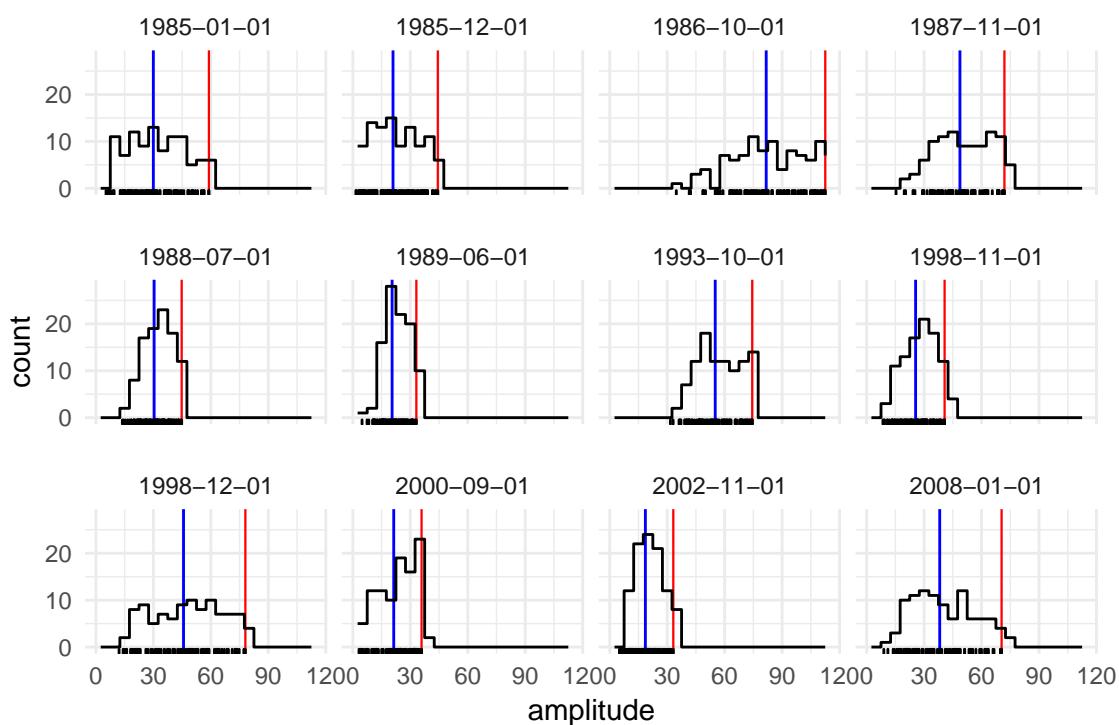


Figura 7.30: Distribuci  de amplitud para 12 fechas. En rojo la amplitud máxima, en azul la amplitud media.  
fig:ampl-max-mean

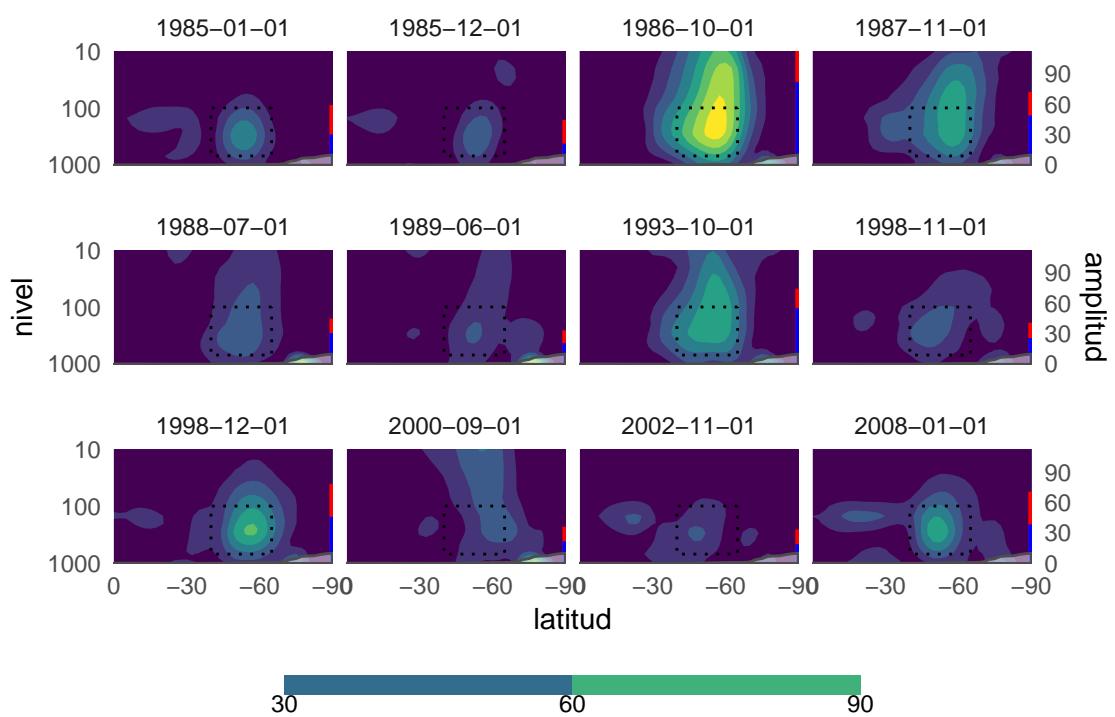


Figura 7.31: Corte vertical de amplitudfig:ampl-max-mean-corte

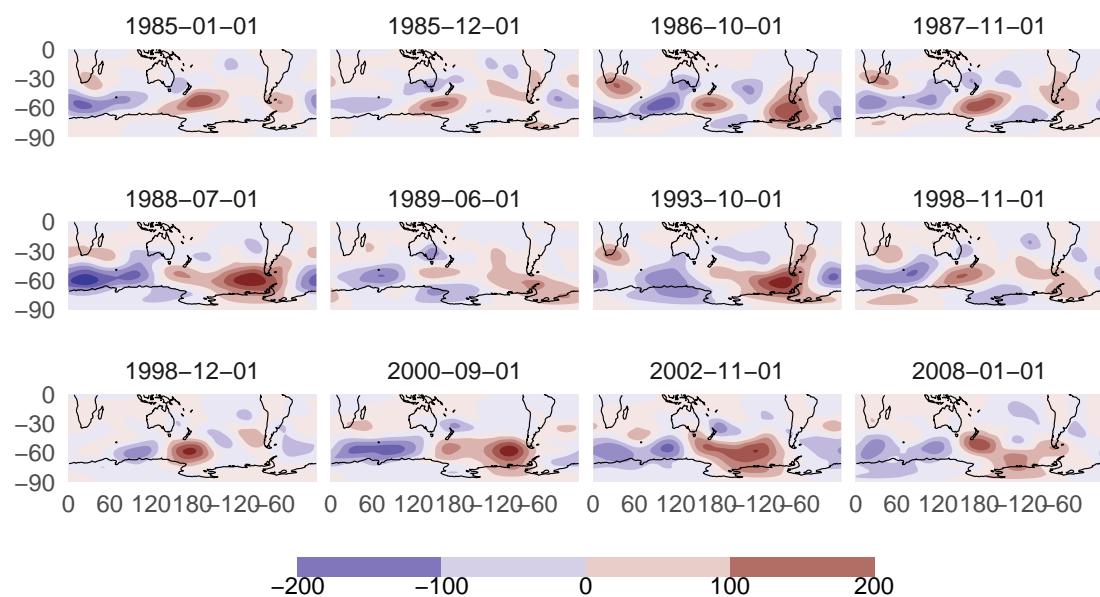


Figura 7.32: Anomalía zonal geopotencial en 300hPa para fechas seleccionadas.fig:ghz-ncep-select

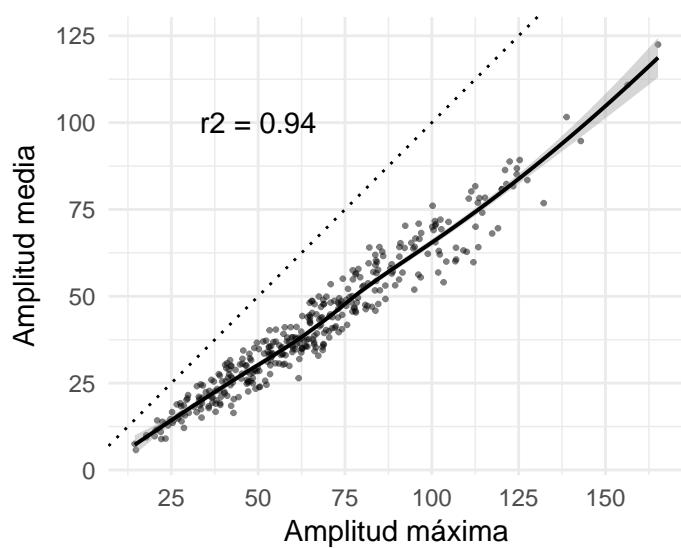


Figura 7.33: Correlación entre amplitud máxima y media.fig:cor-mean-max

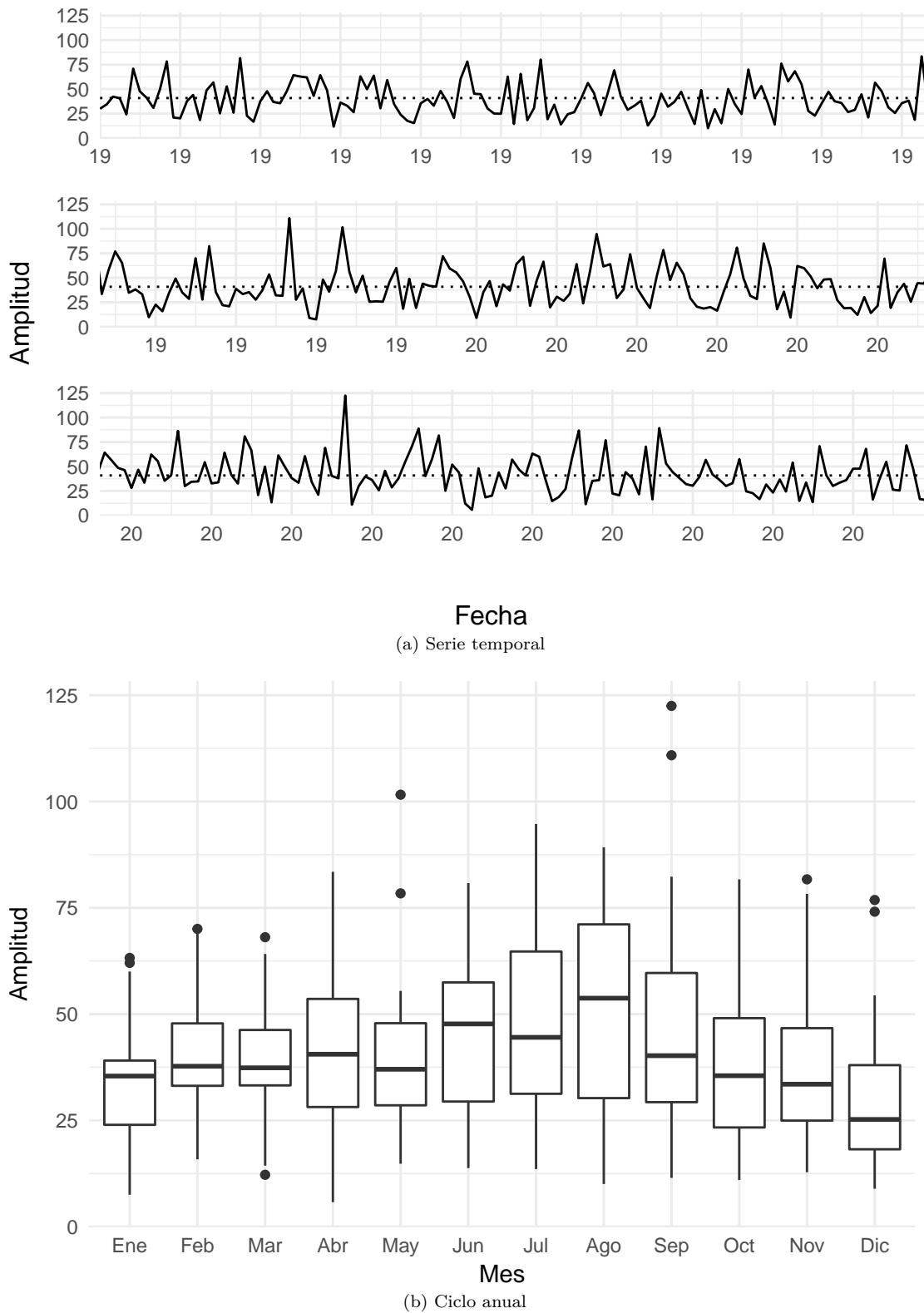


Figura 7.34: Amplitud media - fig:ampl-ts

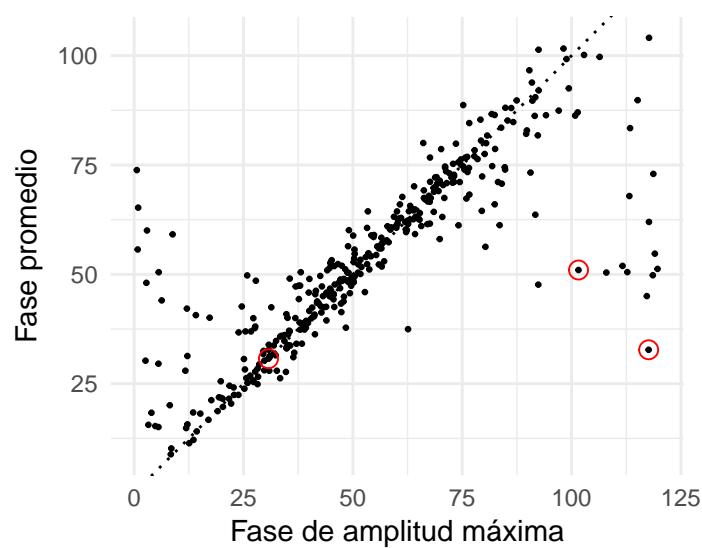


Figura 7.35: Fase promedio vs Fase del máximofig:lon-phase

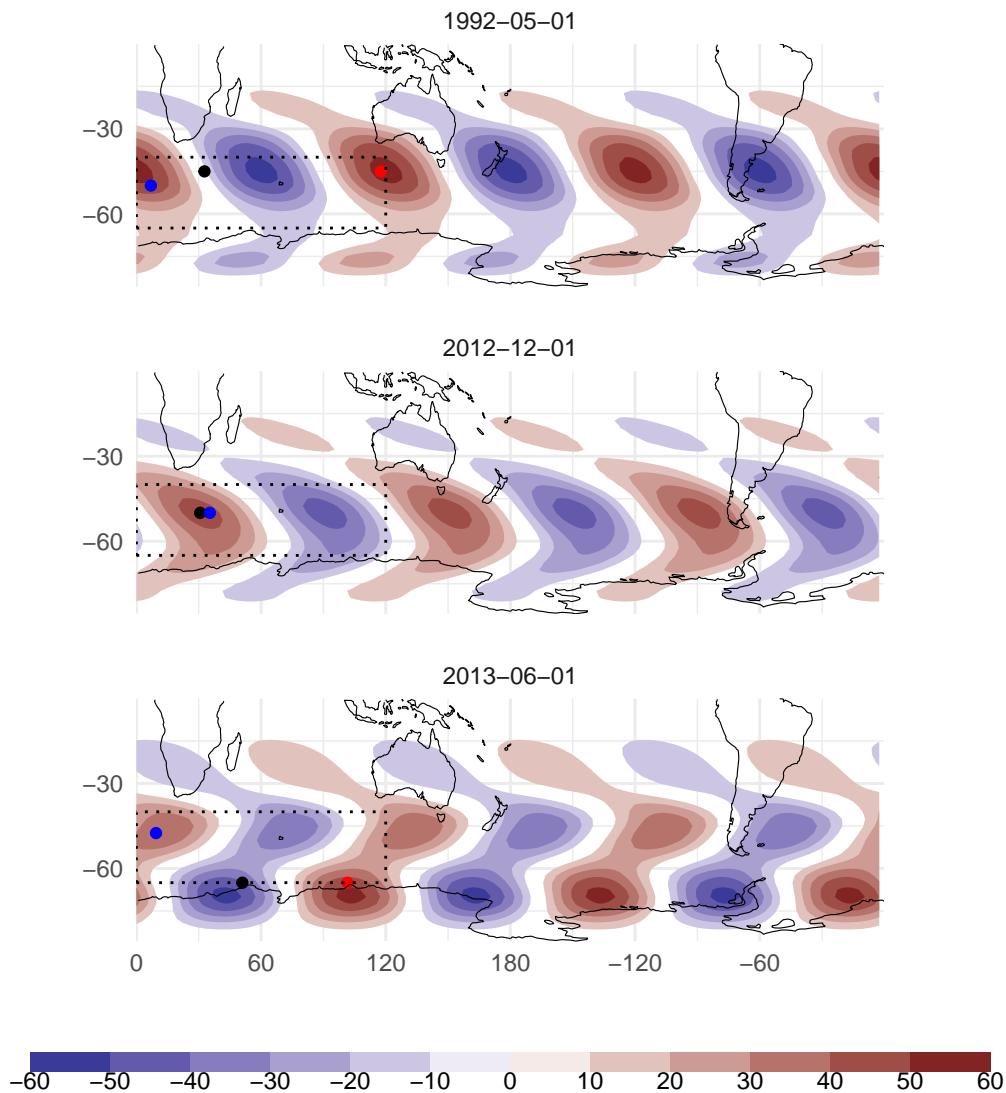


Figura 7.36: Campo de onda 3 reconstruido para junio de 2013. El punto rojo es la fase en la latitud de amplitud máxima; el punto negro, la fase promedio; el punto azul, la moda de la fase. El rectángulo la región donde puede encontrarse la fase. Los límites meridionales definidos por la región donde se calcula el índice y los zonales por 360/3.fig:fase-mal

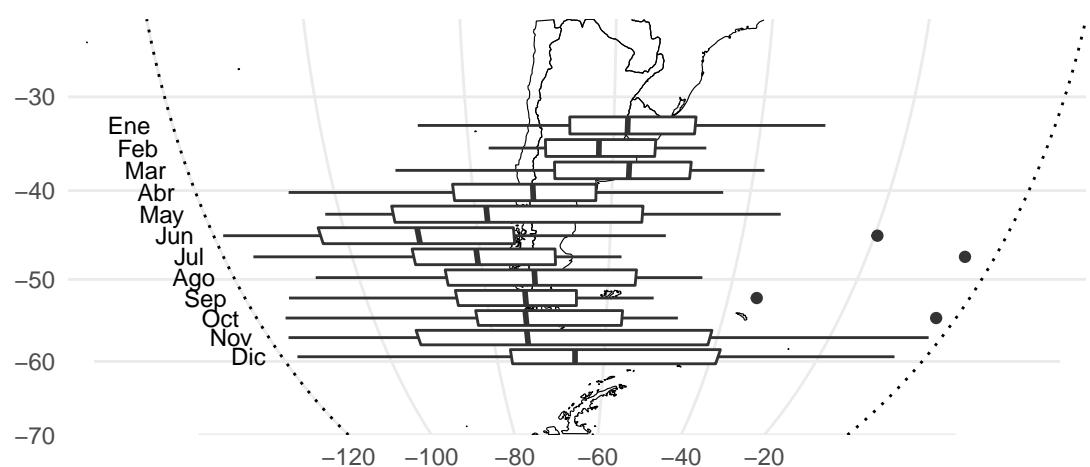


Figura 7.37: Ciclo anual de la fase (20 mayores amplitudes para cada mes) fig:fase-boxplot

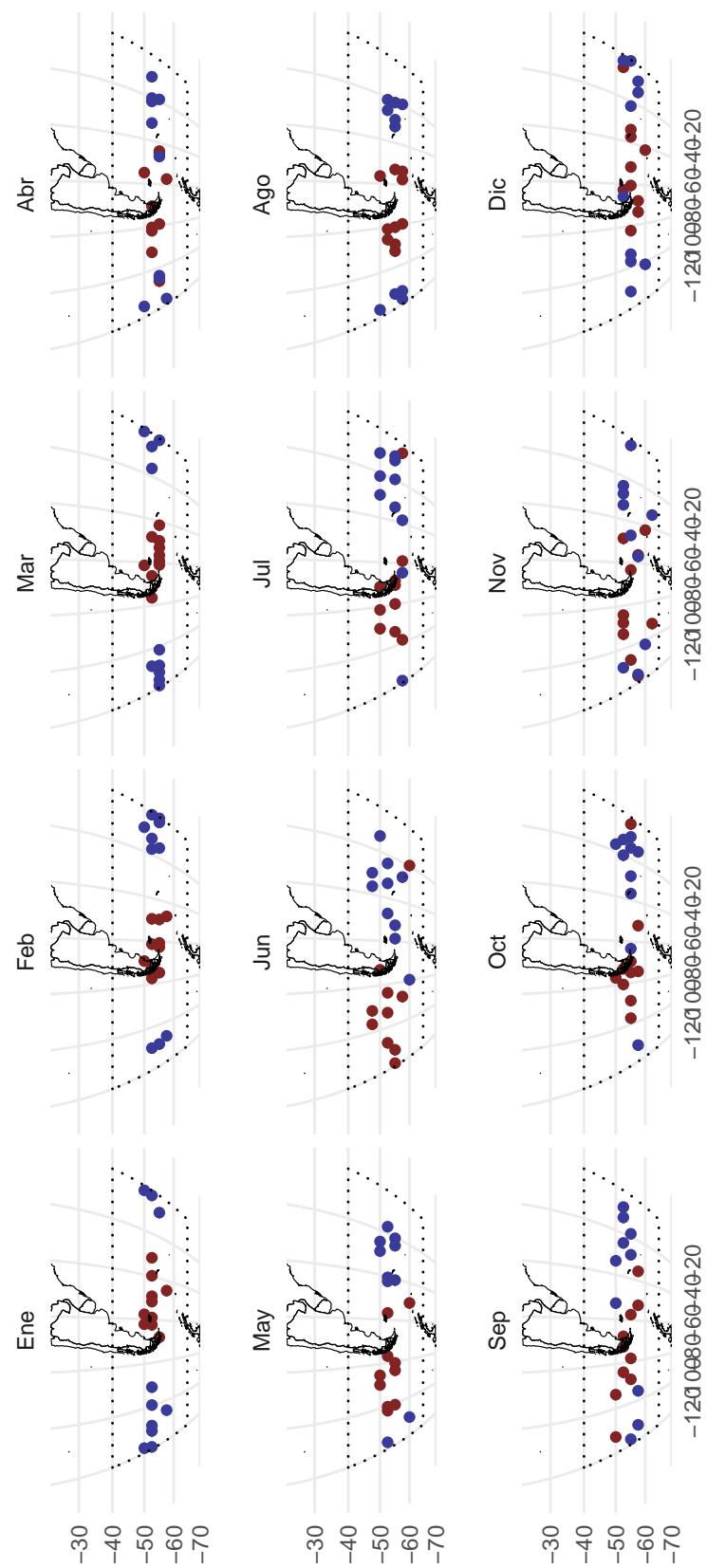


Figura 7.38: Centros de máxima (puntos rojos) y mínima (puntos azules) para los 10 años con mayor amplitud de la onda 3, para cada mes. fig:centros-10max

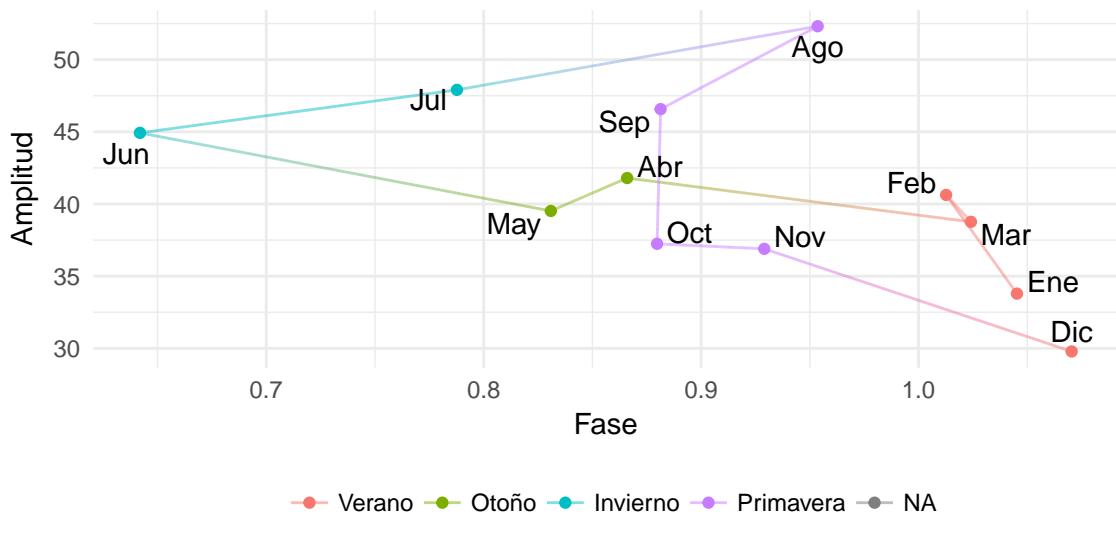


Figura 7.39: Amplitud y fase media para cada mes.fig:ampl-vs-fase

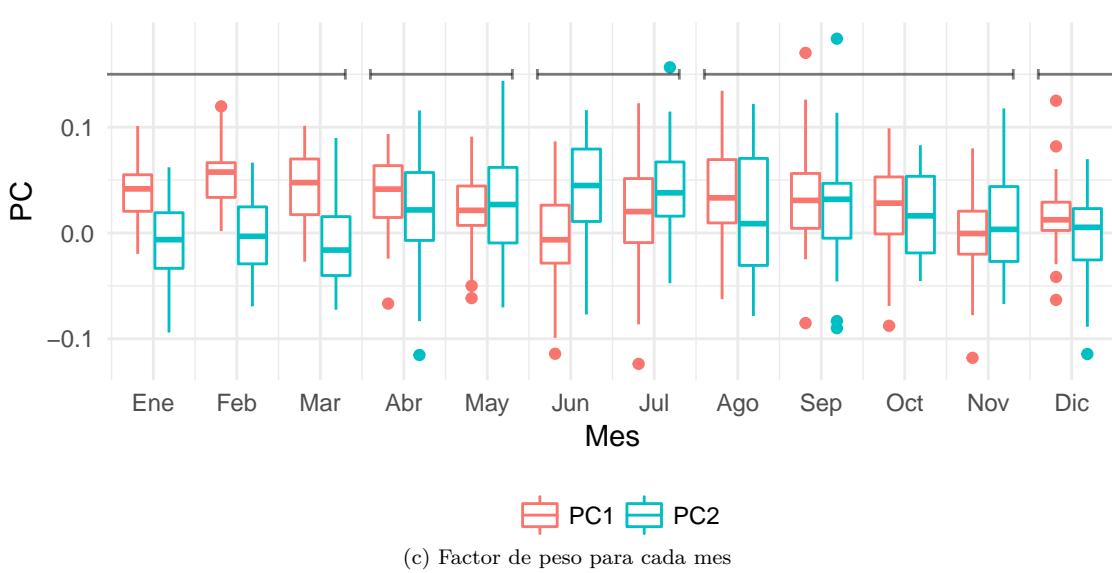
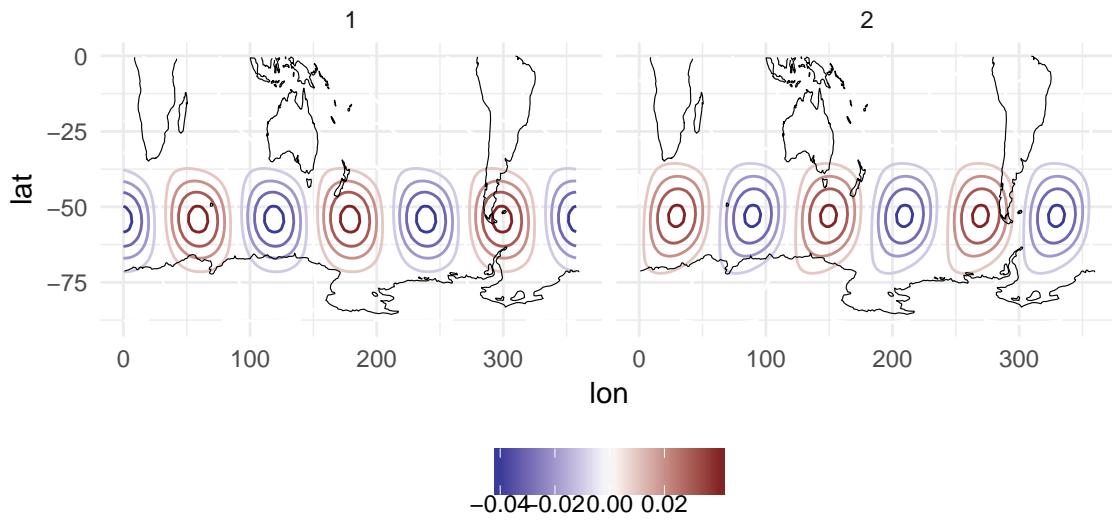
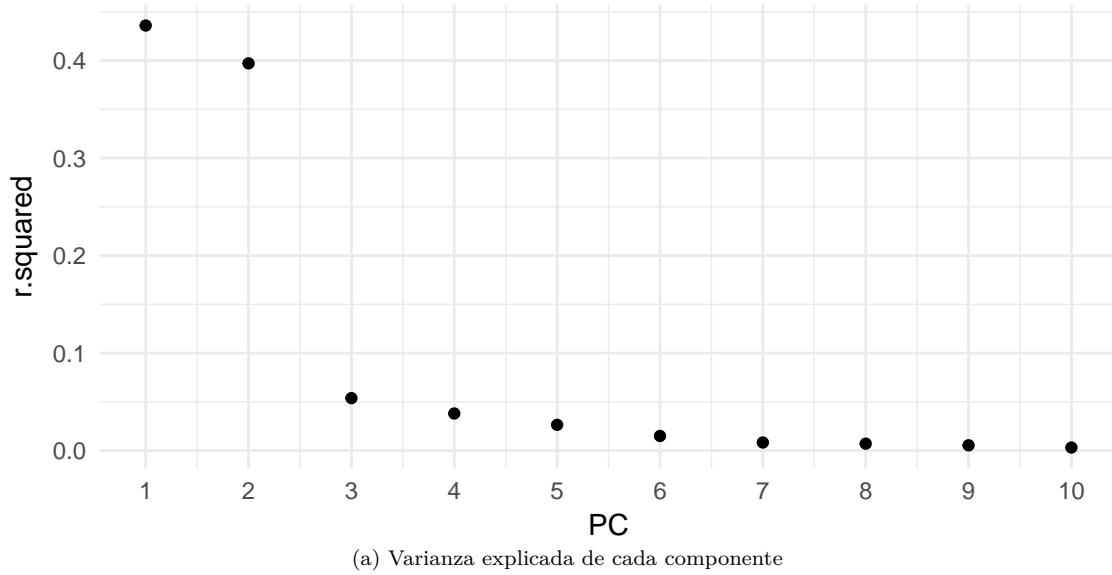


Figura 7.40: Análisis SVD de QS3.probablemente basurafig: eof

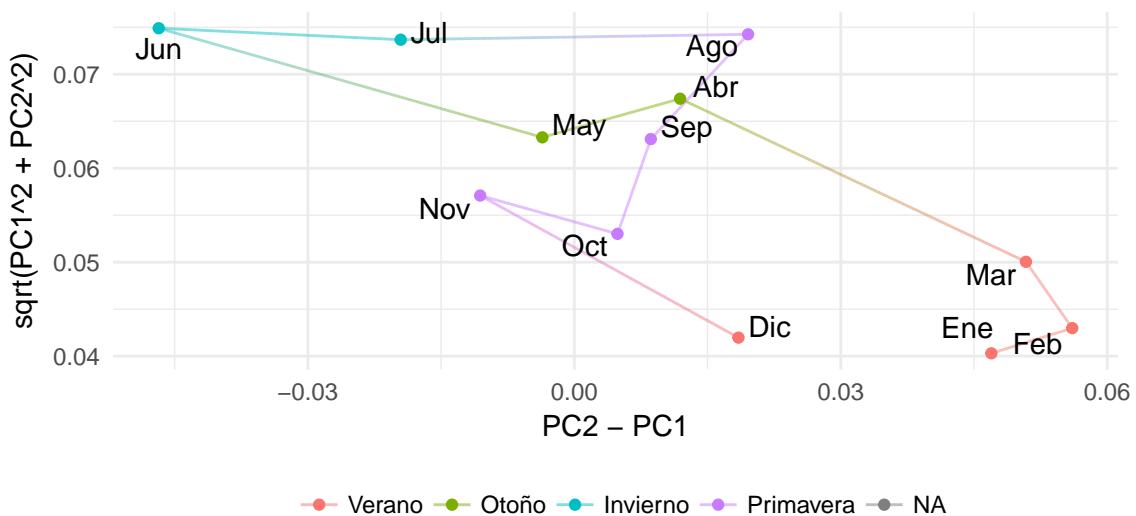


Figura 7.41: 'Magnitud' y 'Fase' de cada mes a partir de las componentes principalesfig:eof1-eof2

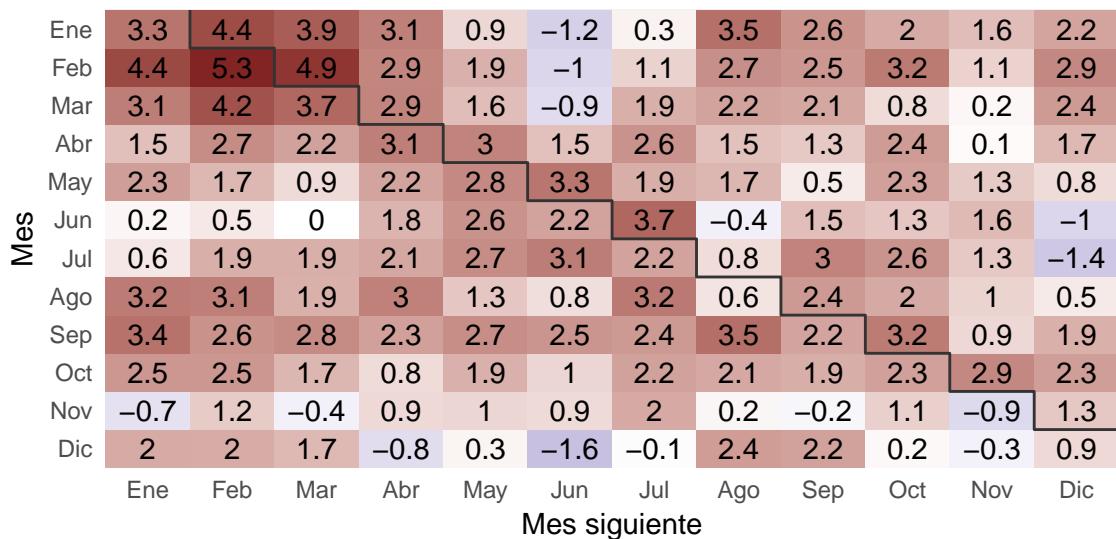


Figura 7.42: Correlación lageada para cada mes con los 12 siguientes.fig.lag-cor

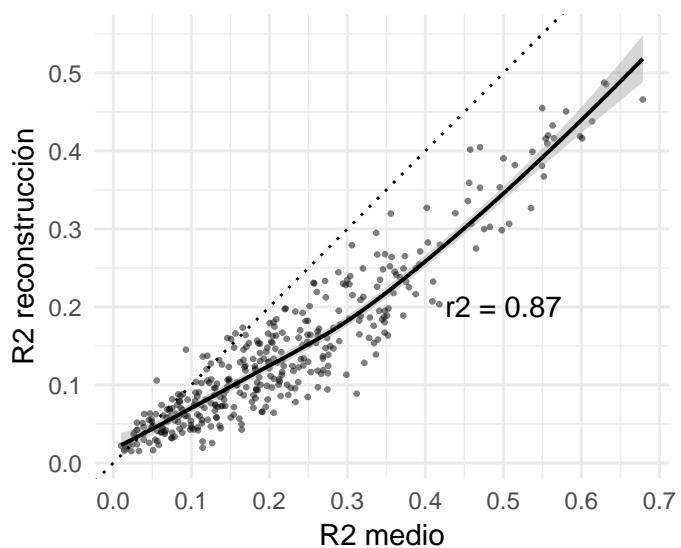


Figura 7.43: Relación entre  $R^2$  medio y  $R^2$  reconstruido.fig:r2-cor2

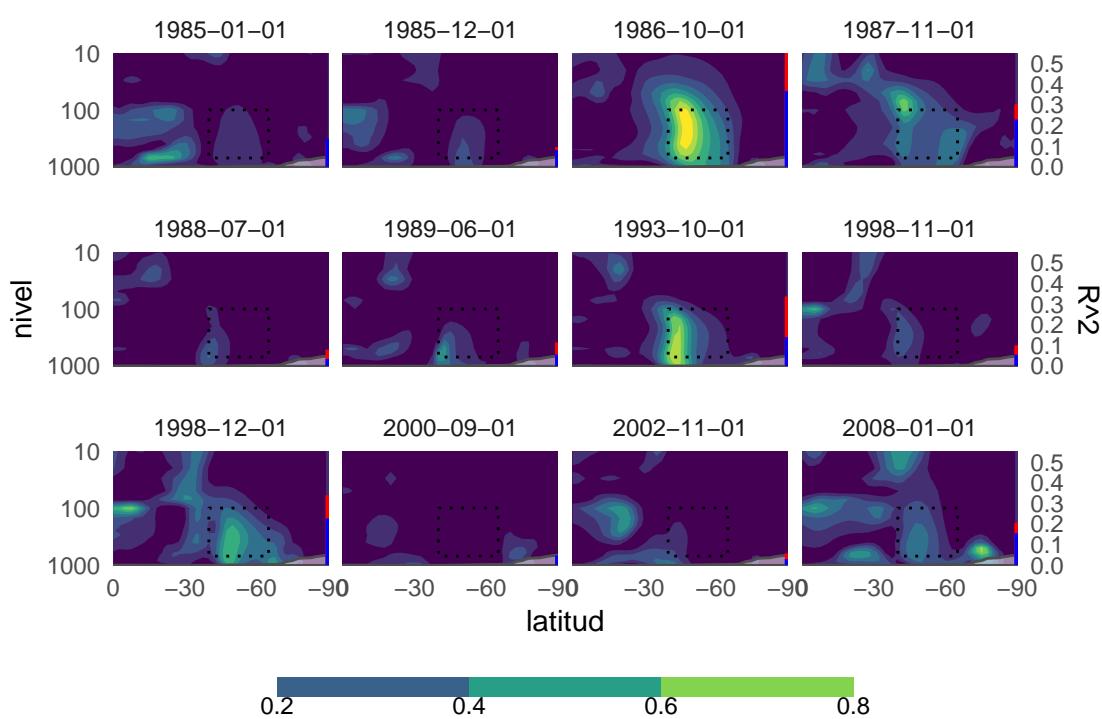


Figura 7.44: R2 mediofig;r2-corte

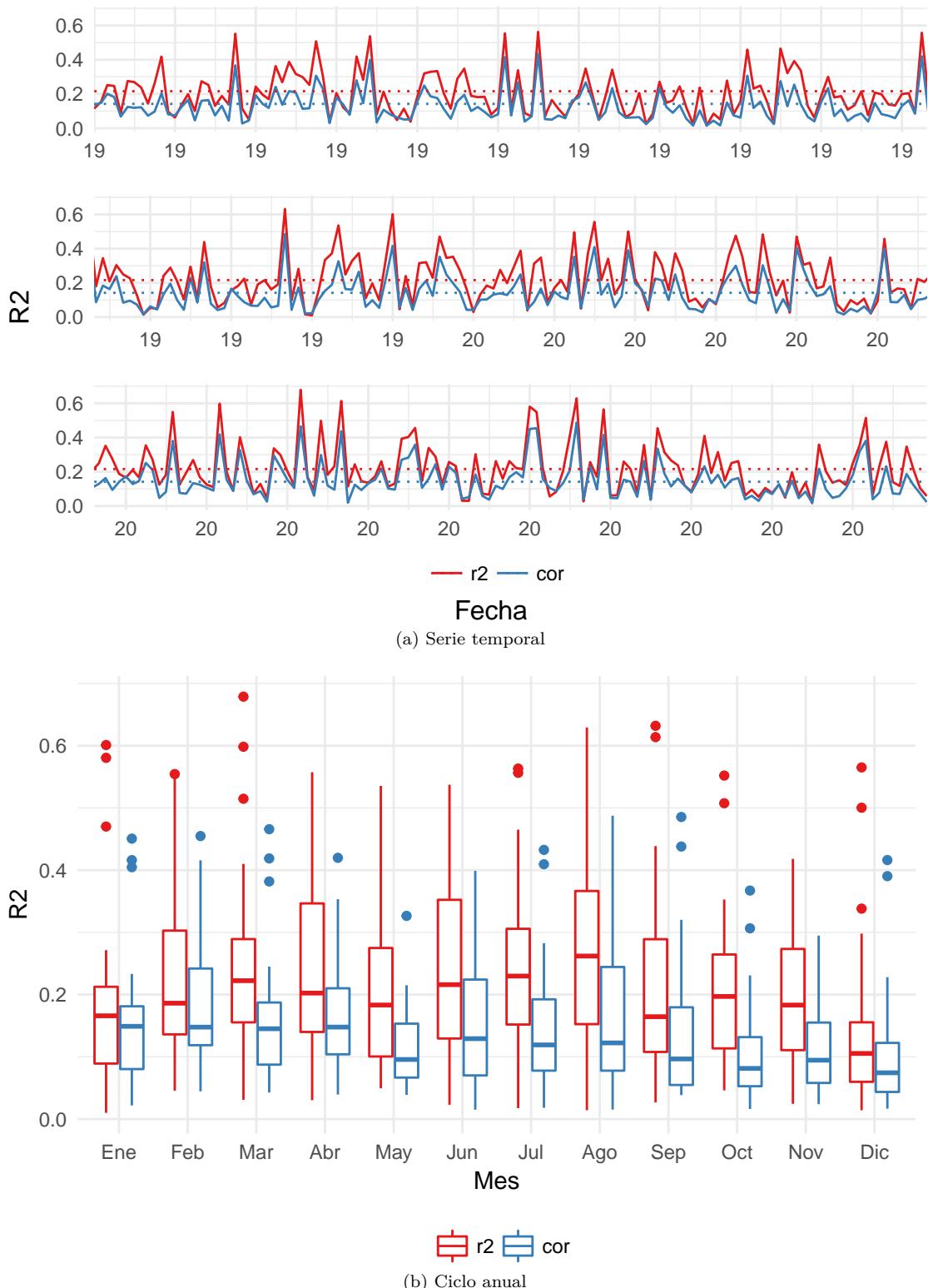


Figura 7.45: R2 medio - fig:r2-ts

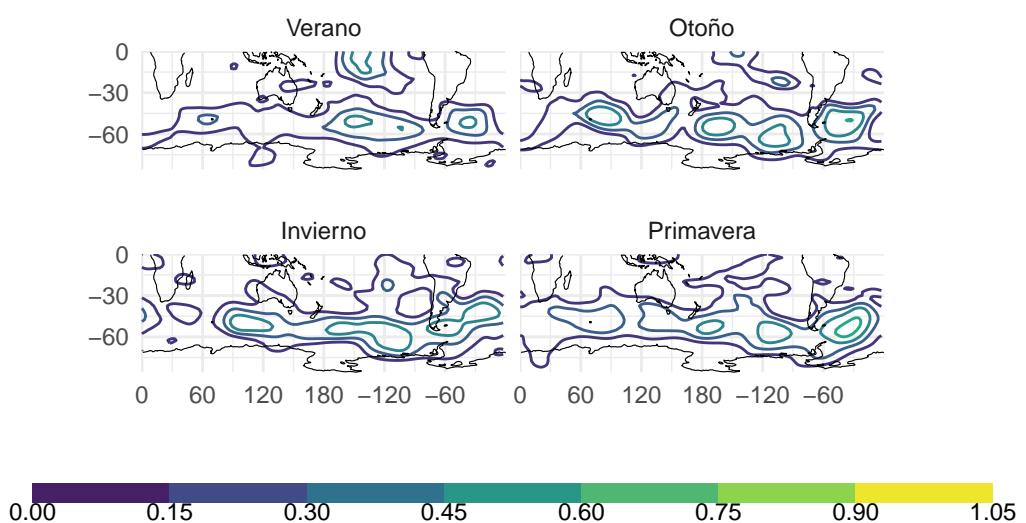


Figura 7.46: Correlación cuadrada media para estaciones según onda3.fig:cor-campo

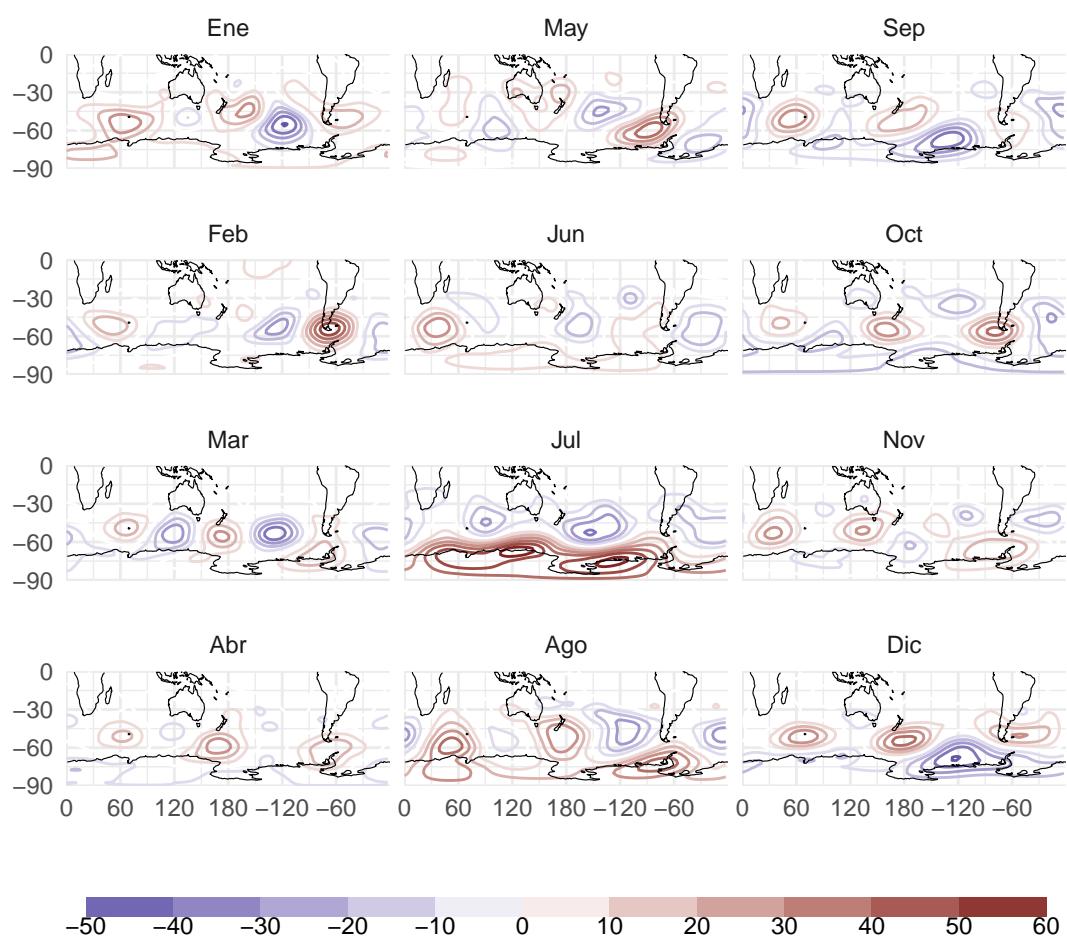


Figura 7.47: Regresión sobre amplitud.fig:regr-gh-ncep

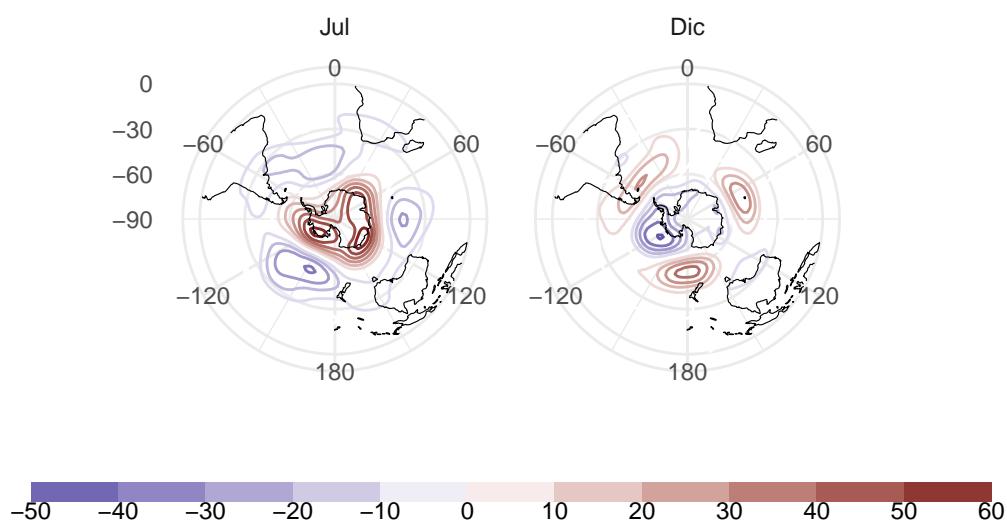


Figura 7.48: Igual que figura XX, pero en proyección polar para julio y septiembre.fig:regr-gh-polar

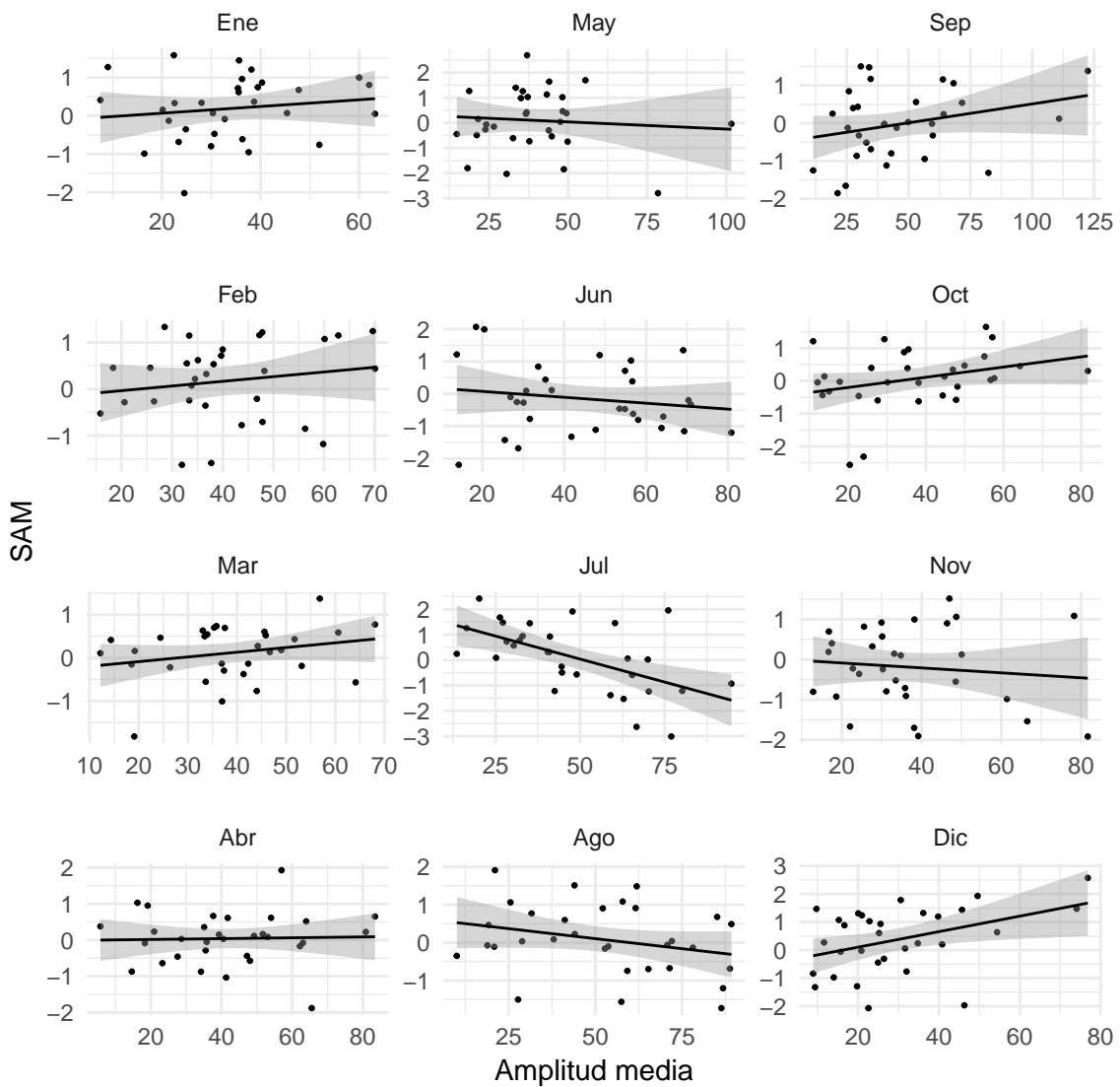


Figura 7.49: Relación entre amplitud media de la onda 3 y el SAMfig:sam-ampl

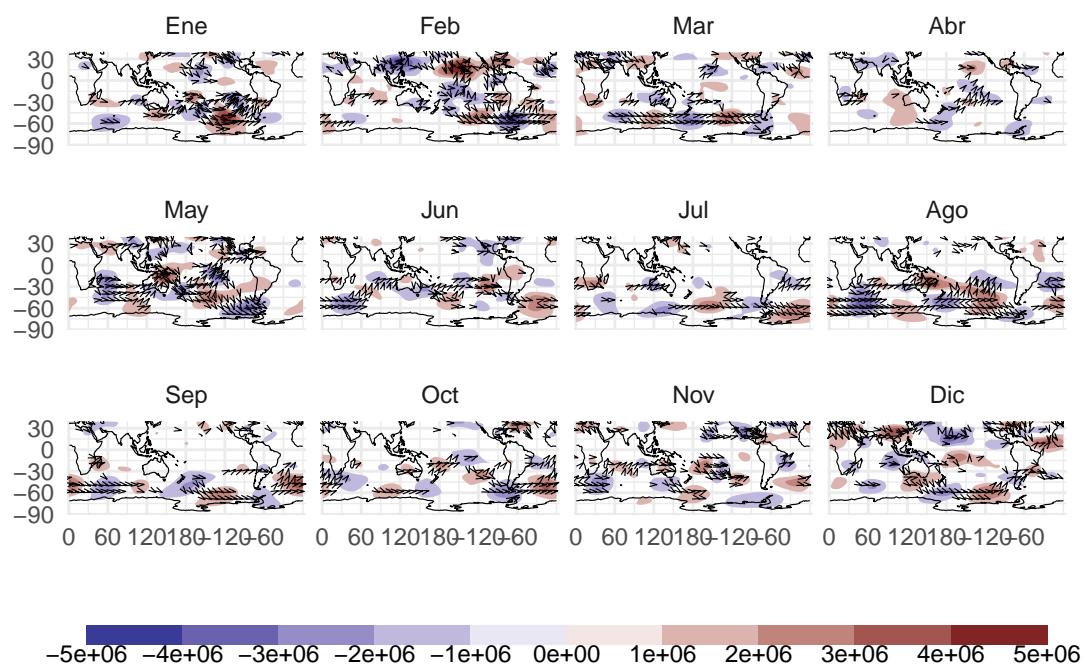


Figura 7.50: Regresión de Psi con la amplitud.fig:regr-psi-ncep

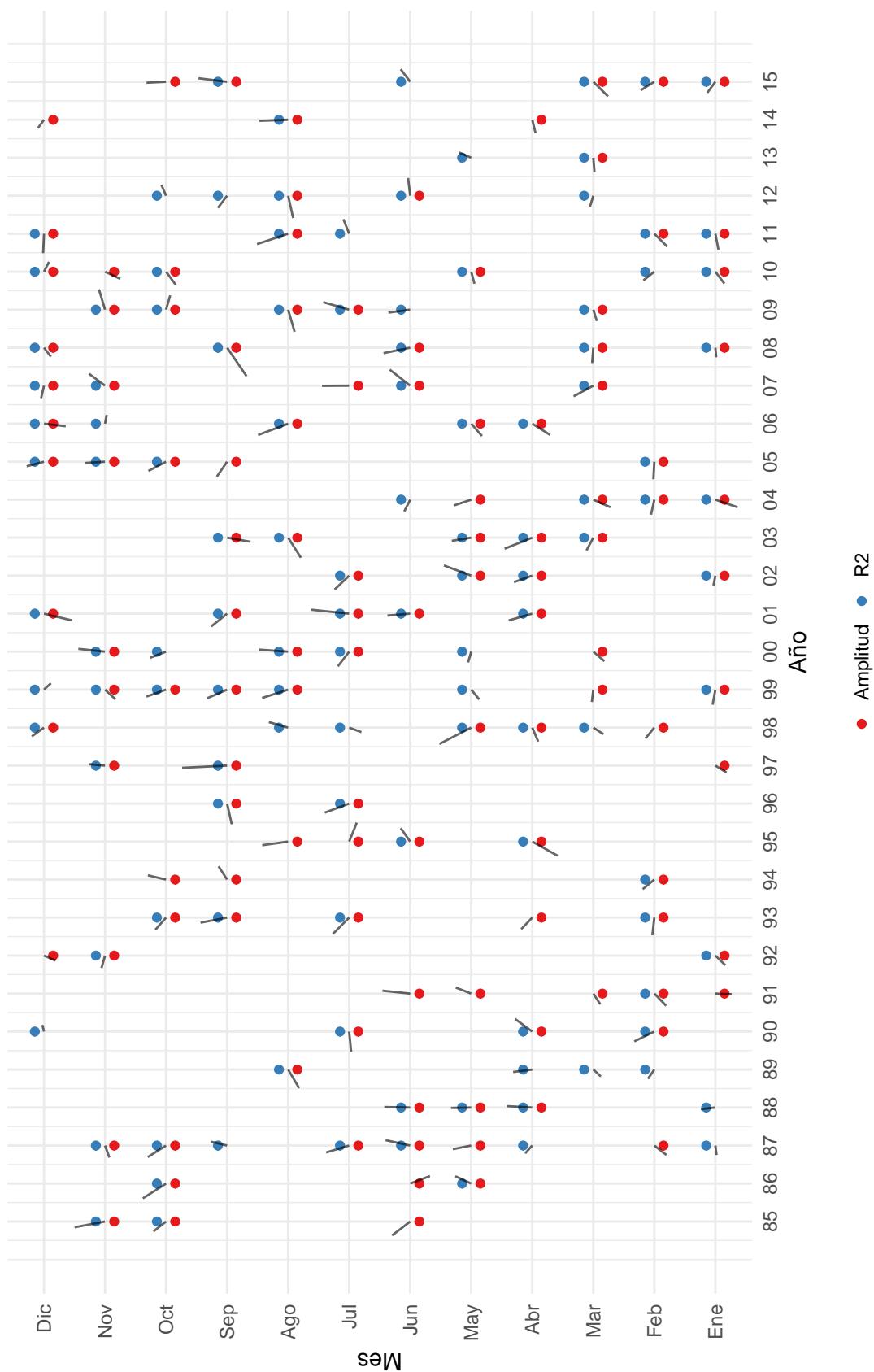


Figura 7.51: Tabla de selecciónfig:selección-tabla

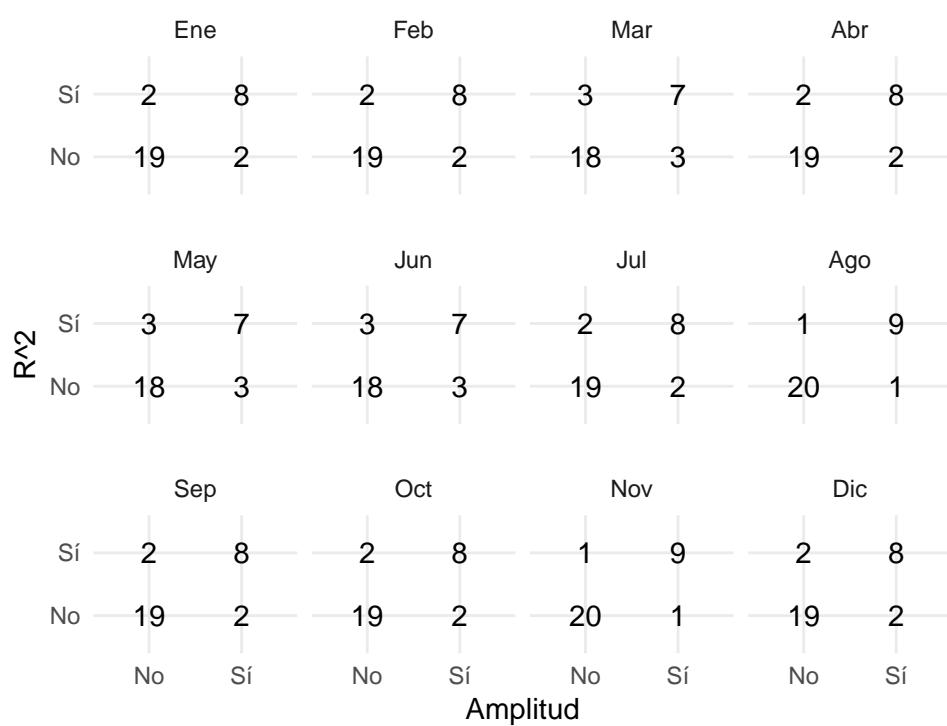


Figura 7.52: Tabla de interacciónfig:interaccion-tabla

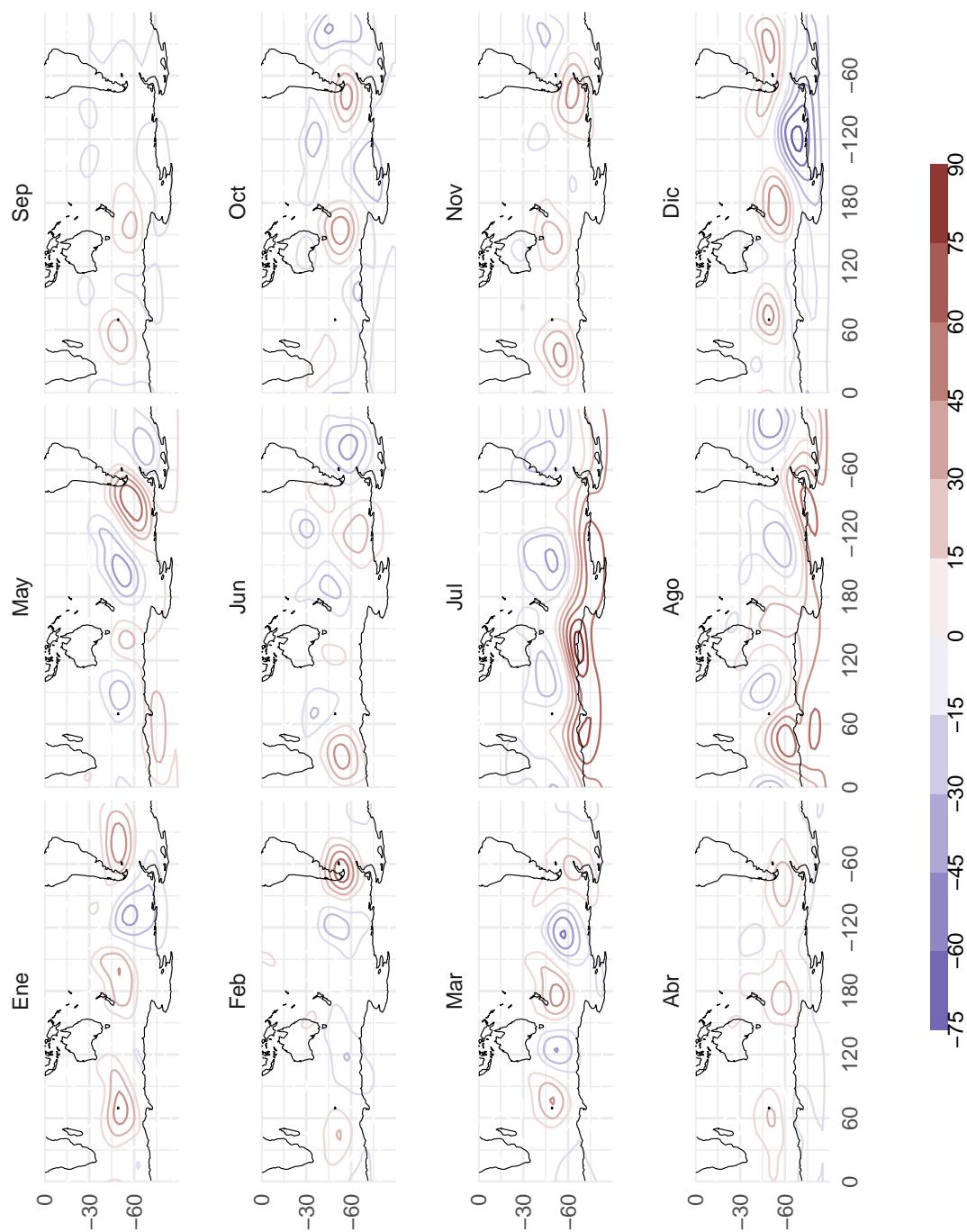


Figura 7.53: Composición de camposfig:gh-comp

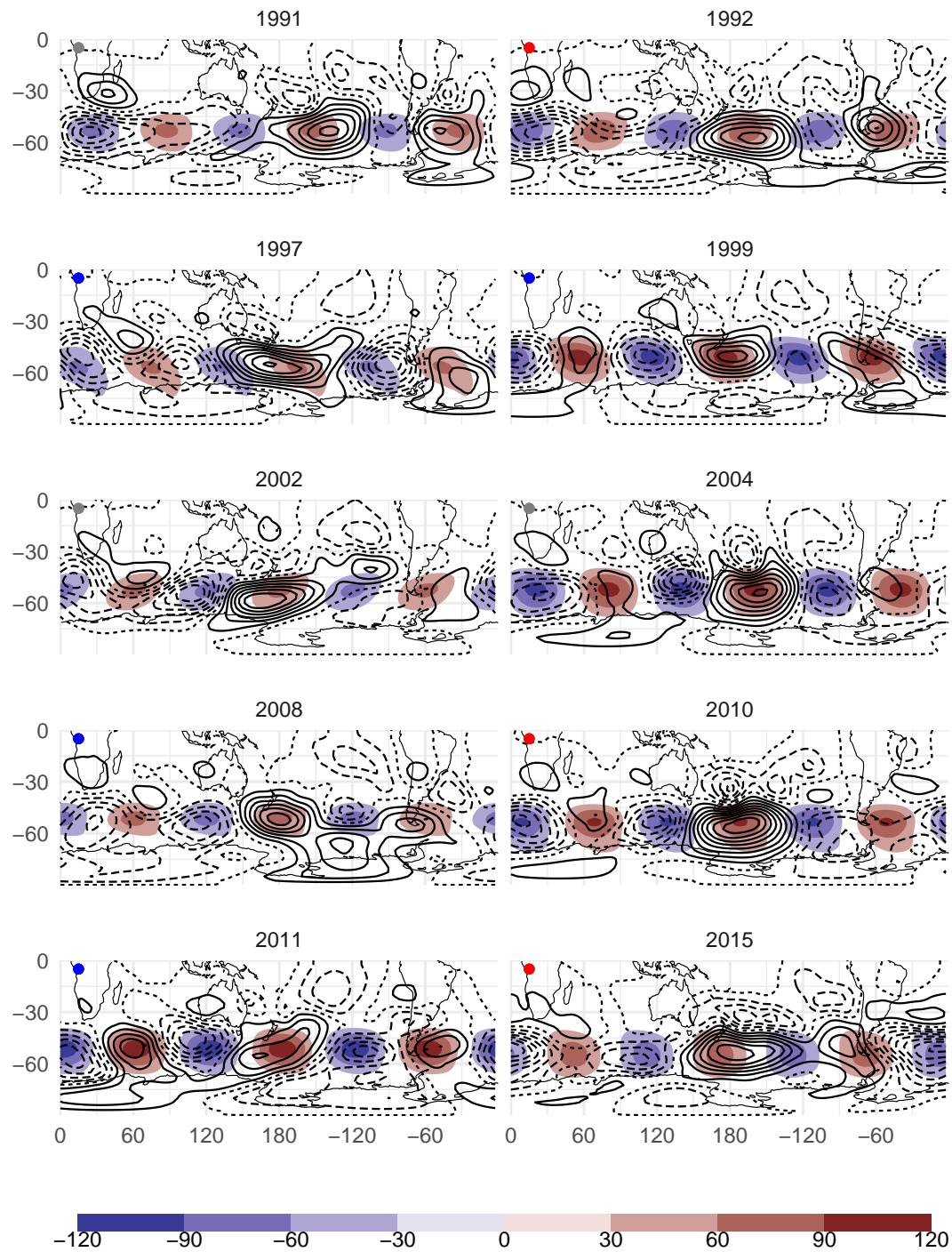


Figura 7.54: Campos para los 10 eneros seleccionados.fig:gh-qs3-select-ene

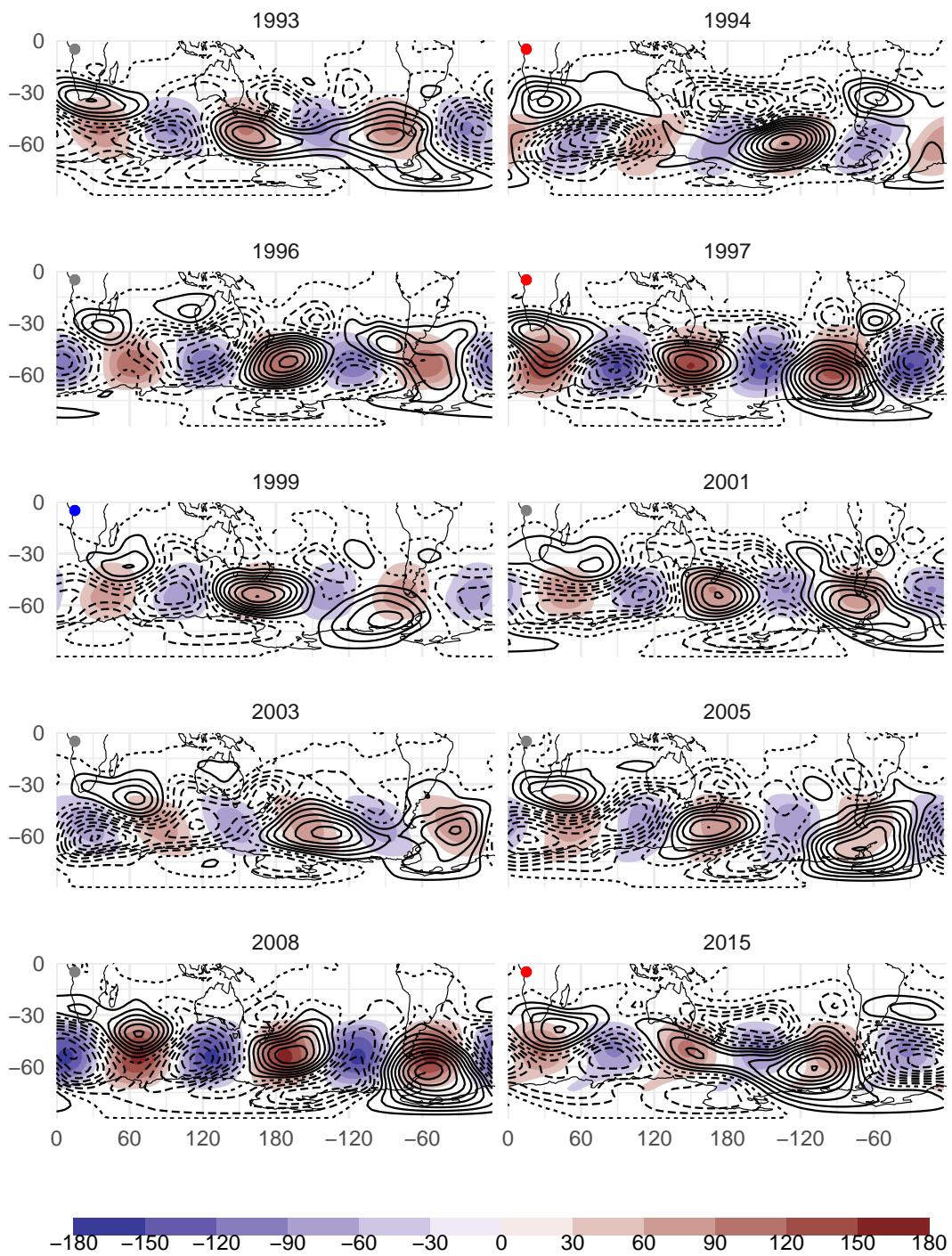


Figura 7.55: Campos para los 10 septiembre seleccionados.fig:gh-qs3-select-sep

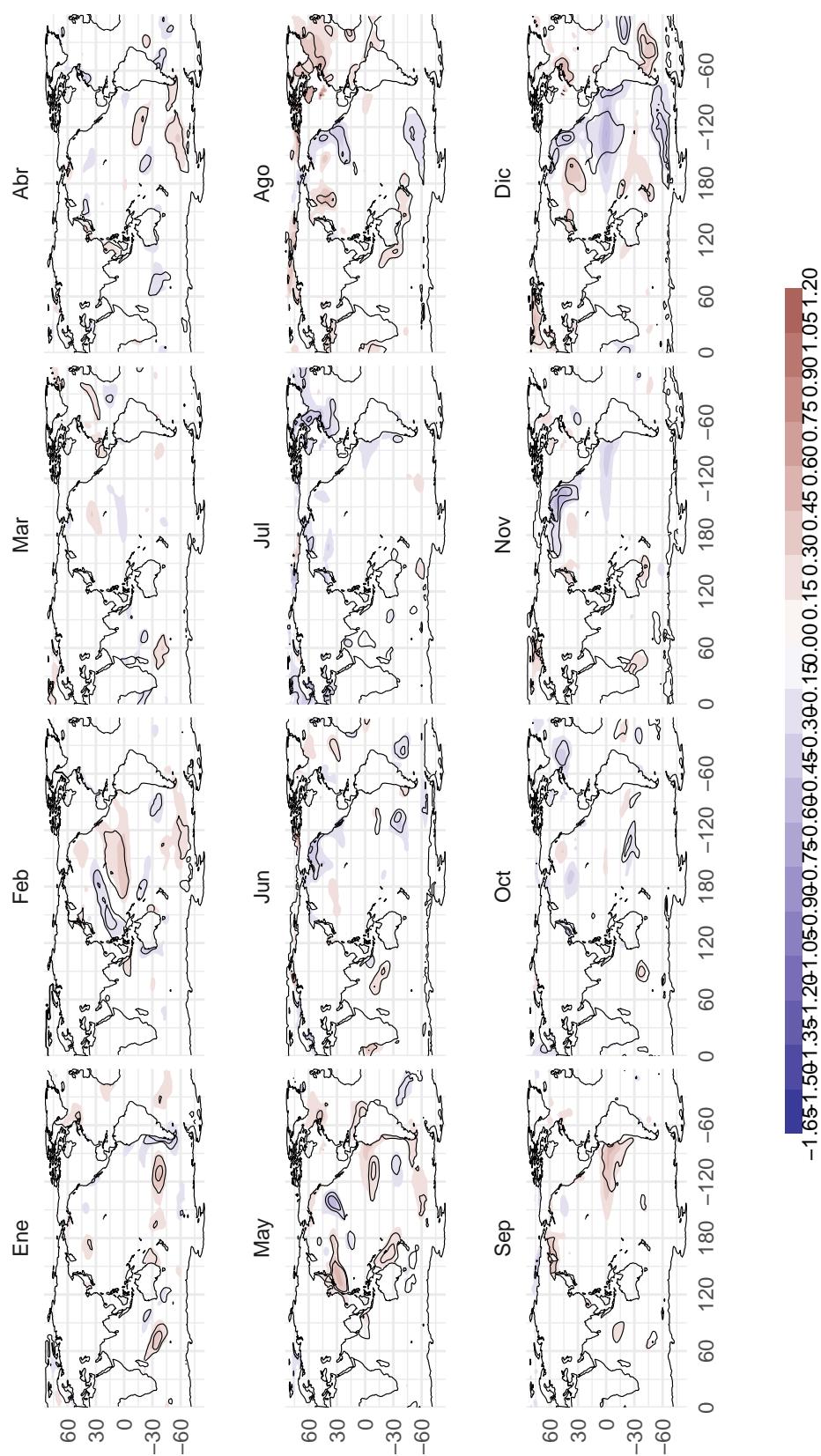


Figura 7.56: Regresión de SST con la amplitud de la onda 3fig:regr-sst-ncep

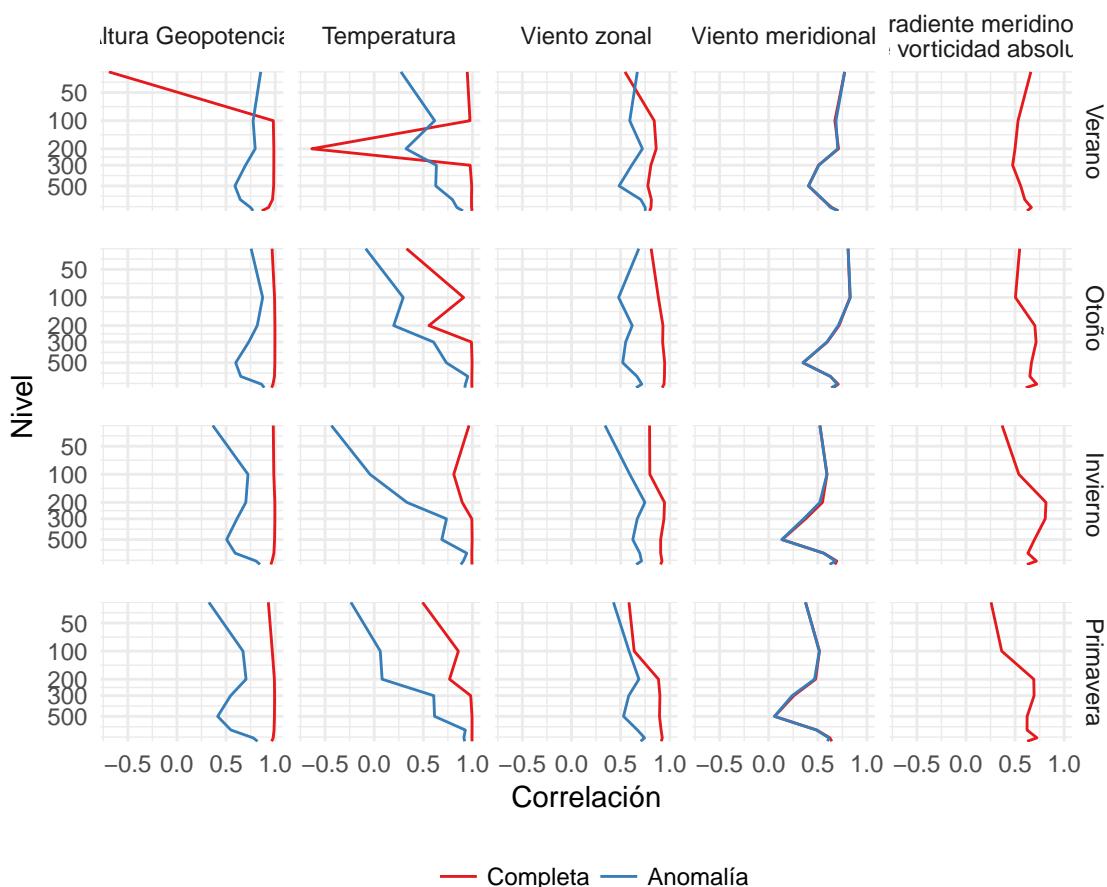


Figura 7.57: Correlación lineal entre campos de SPEEDY y NCEP.fig:cor-sp-nc

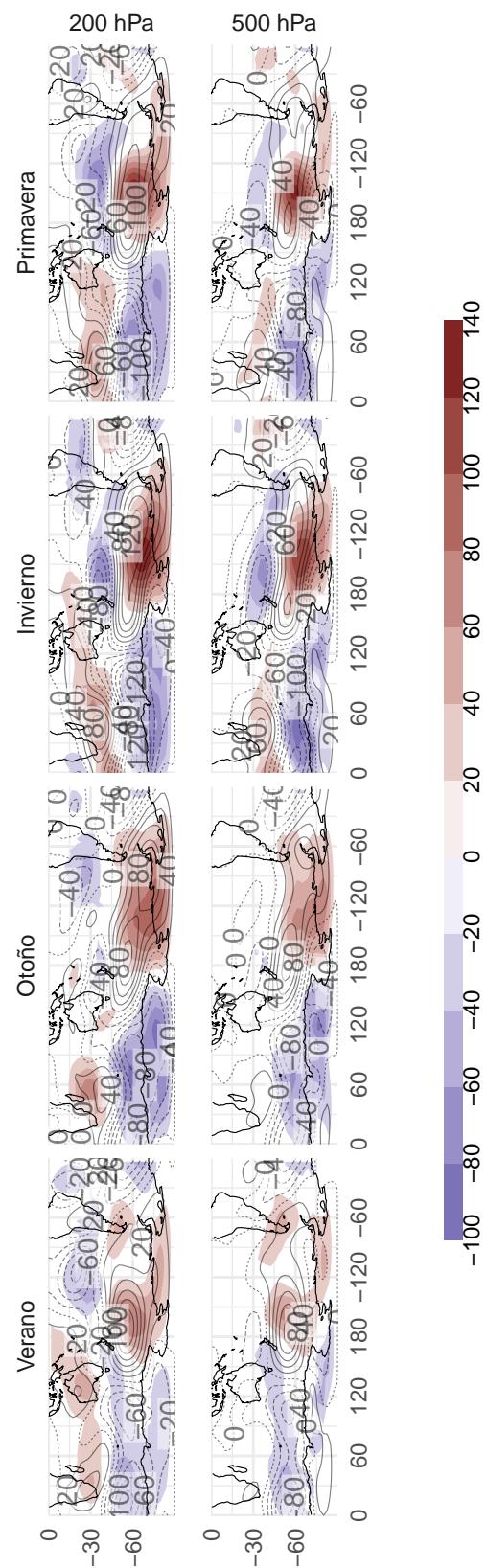


Figura 7.58: Anomalía zonal de altura geopotencial (speedy sombreado, ncep contornos)fig:ghz-sp-nc

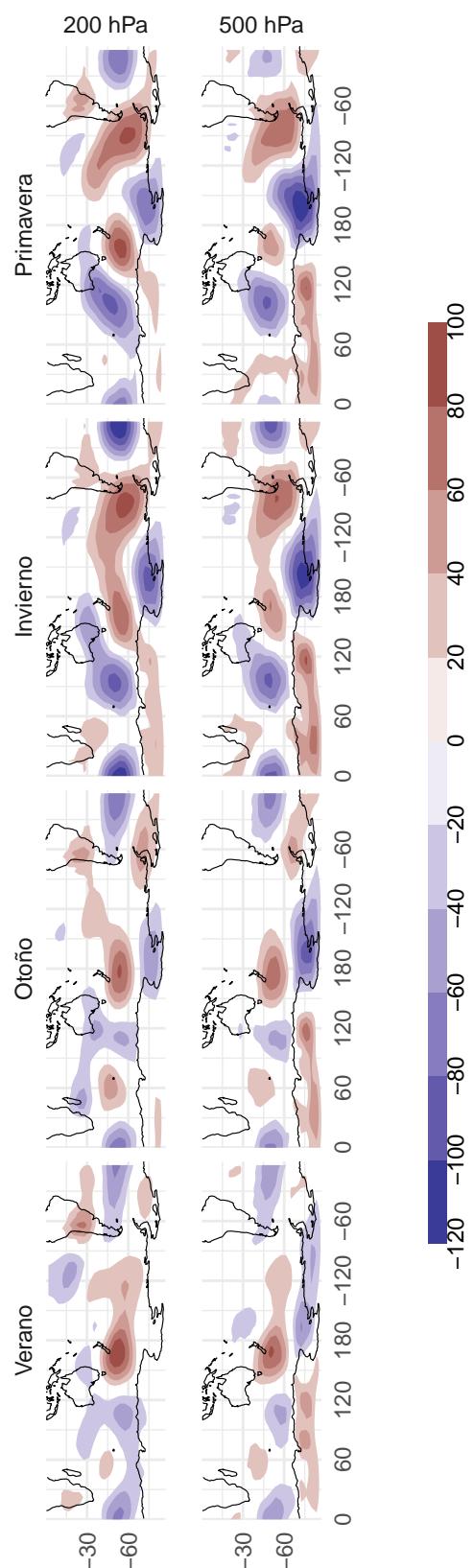


Figura 7.59: Diferencia entre speedy y ncepfig:ghz-dif-sp-nc

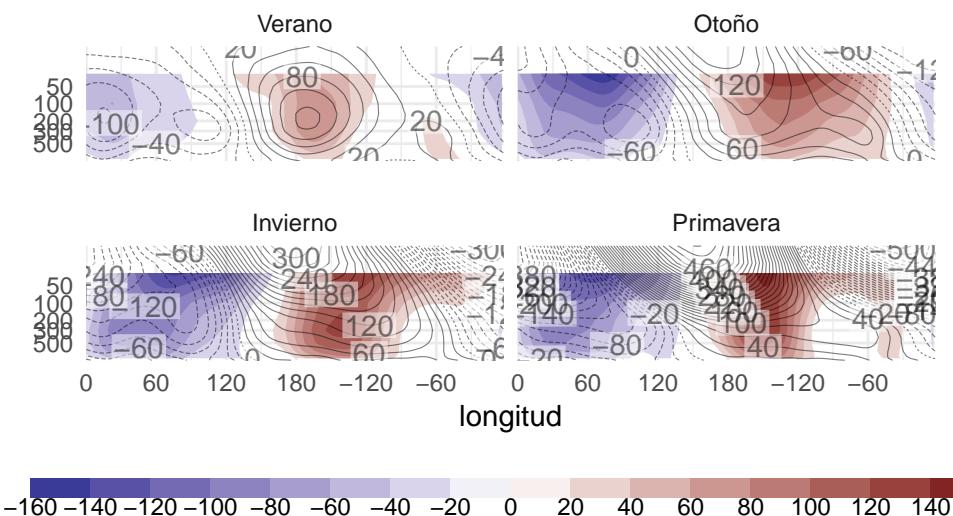


Figura 7.60: Corte zonal de anomalía de geopotencial en  $-60^{\circ}$  (speedy sombreado, ncep contornos).fig:ghz-sp-nc-corte60

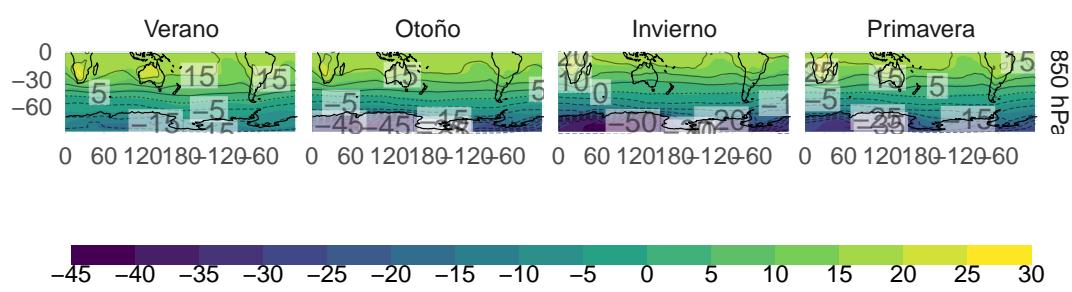


Figura 7.61: Temperaturafig:t-nc-sp

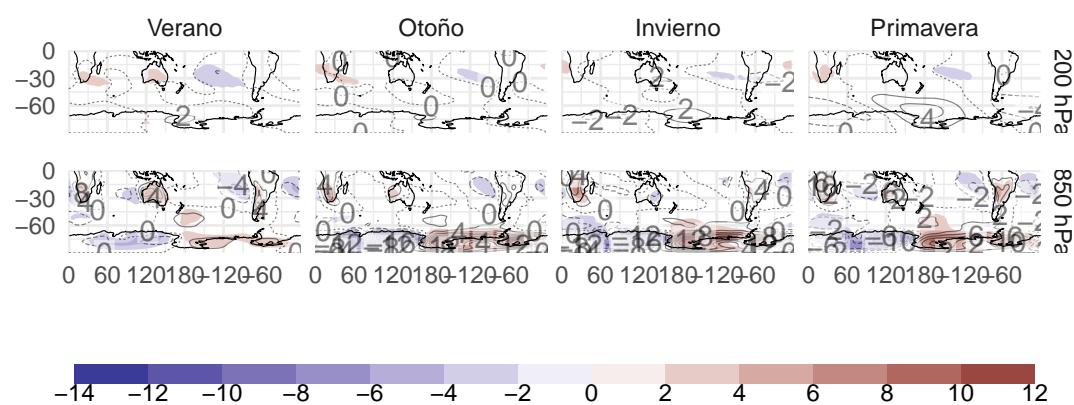


Figura 7.62: T\*fig:tz-sp-nc

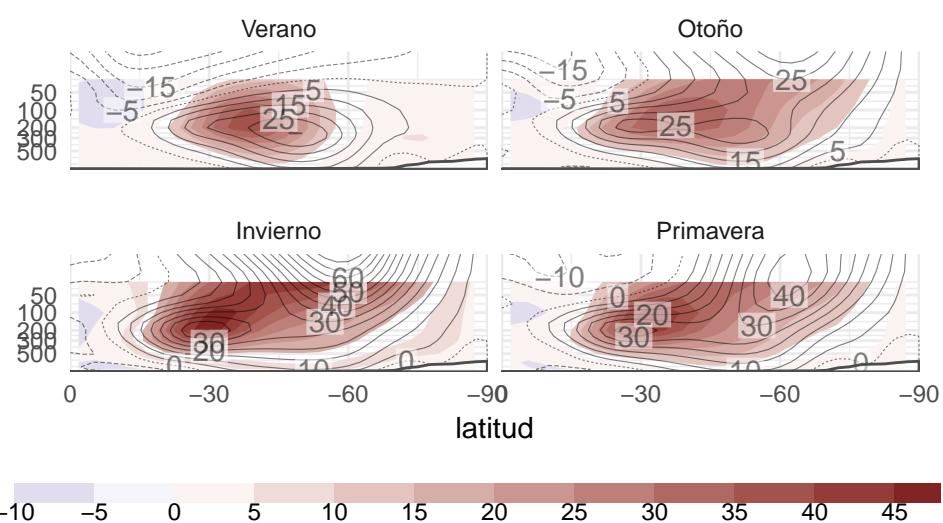


Figura 7.63: Viento zonal medio (speedy contornos, ncep sombreado).fig:u-sp-nc-corte

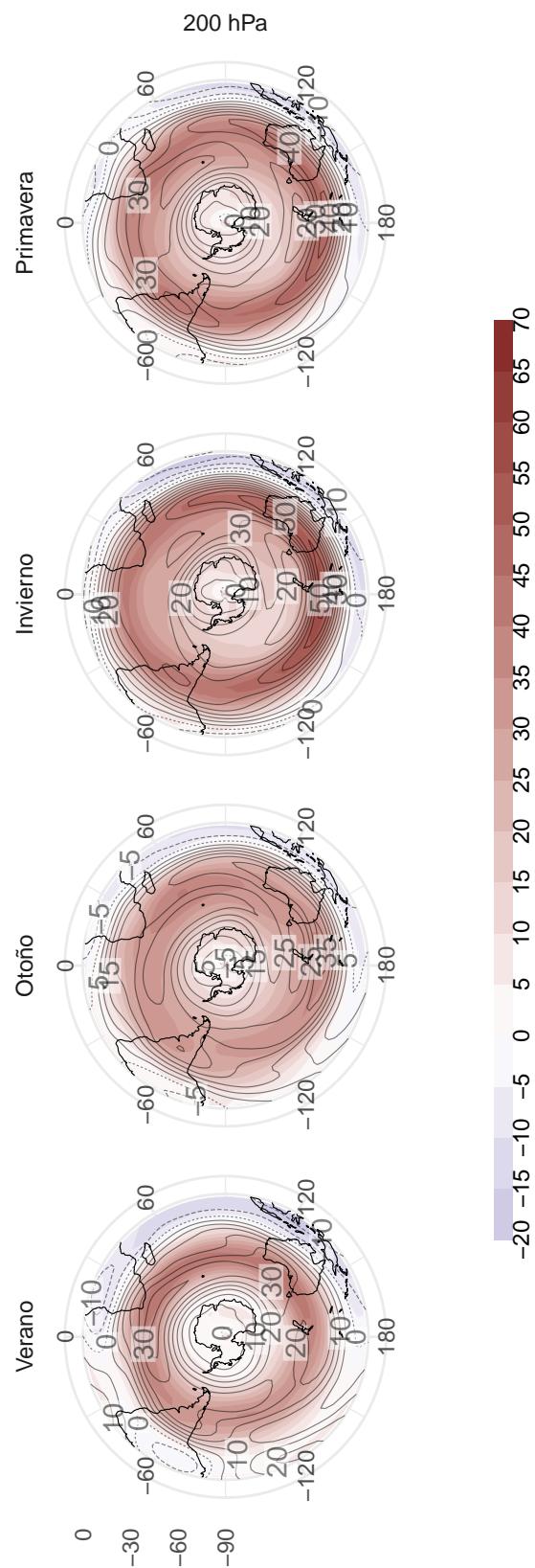


Figura 7.64: Viento zonal (contornos ncep, sombreado speedy).fig:u-sp-nc

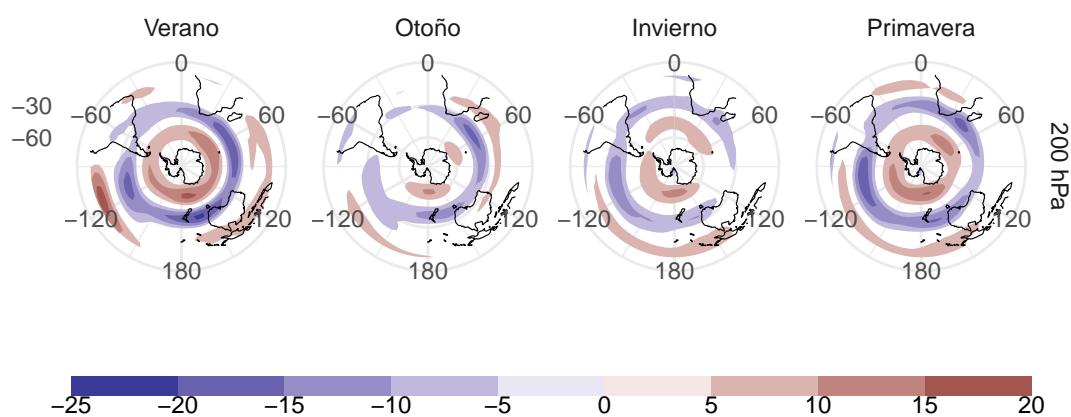


Figura 7.65: Diferencia entre ncep y speedy en viento zonal  
fig:u-dif-sp-nc

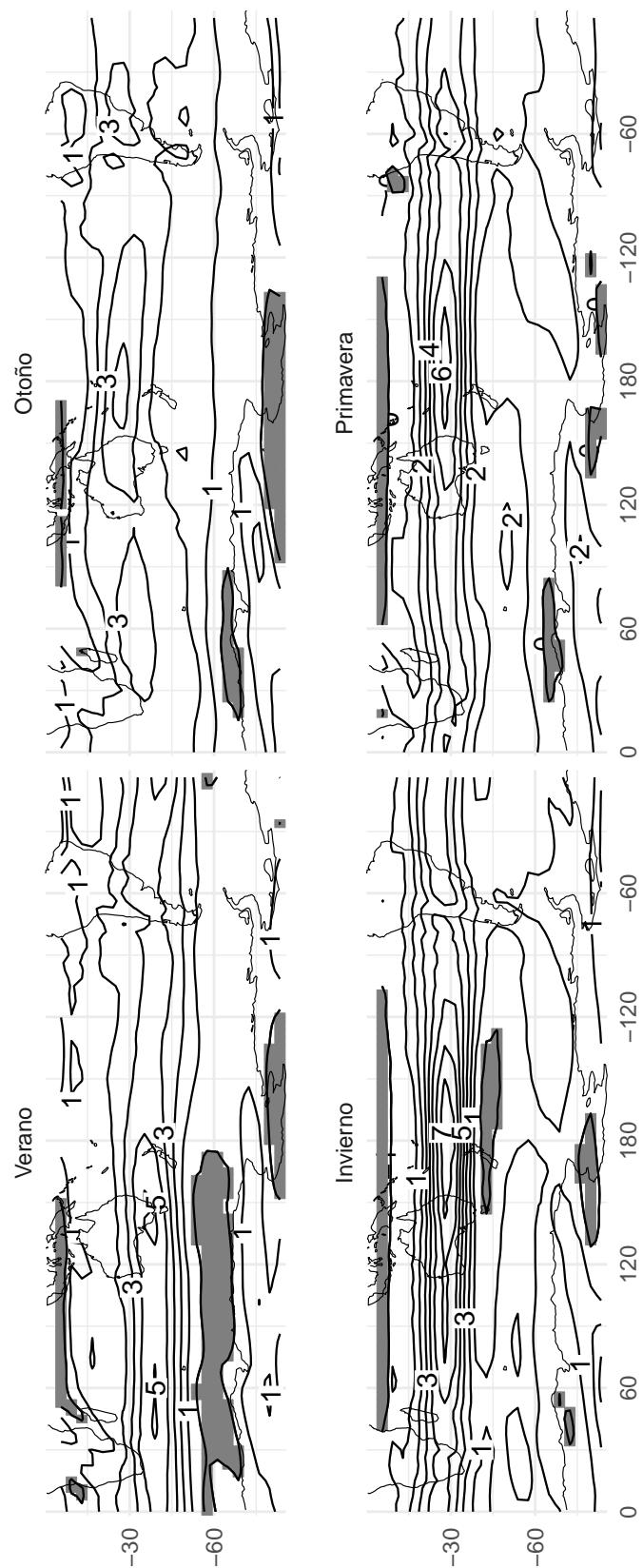


Figura 7.66: Gradiente meridional de vorticidad absoluta (speedy).fig:etady-sp-nc

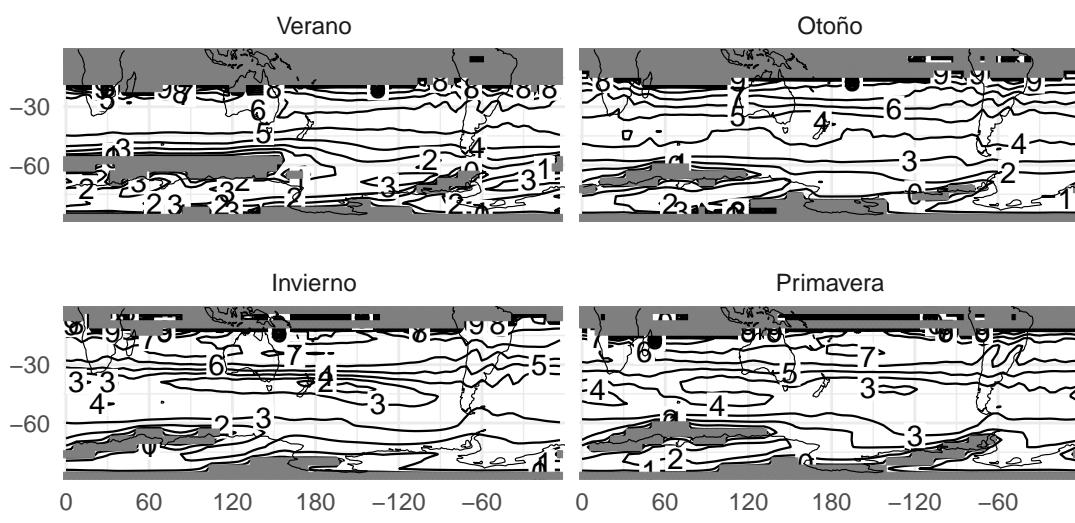


Figura 7.67: Número de onda estacionario en 300hPa (speedy).fig:ks-sp

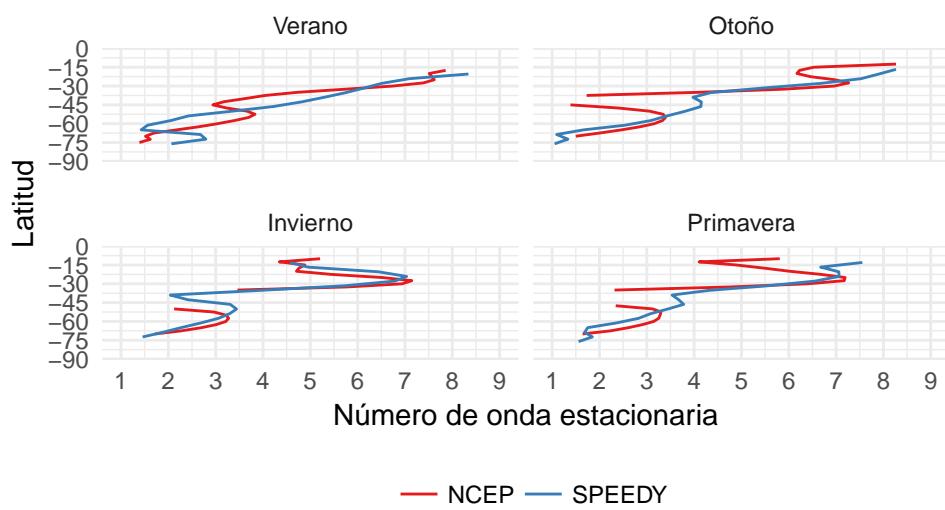


Figura 7.68: Número de onda estacionario medio por círculo de latitud.fig:ks-sp-nc-corte

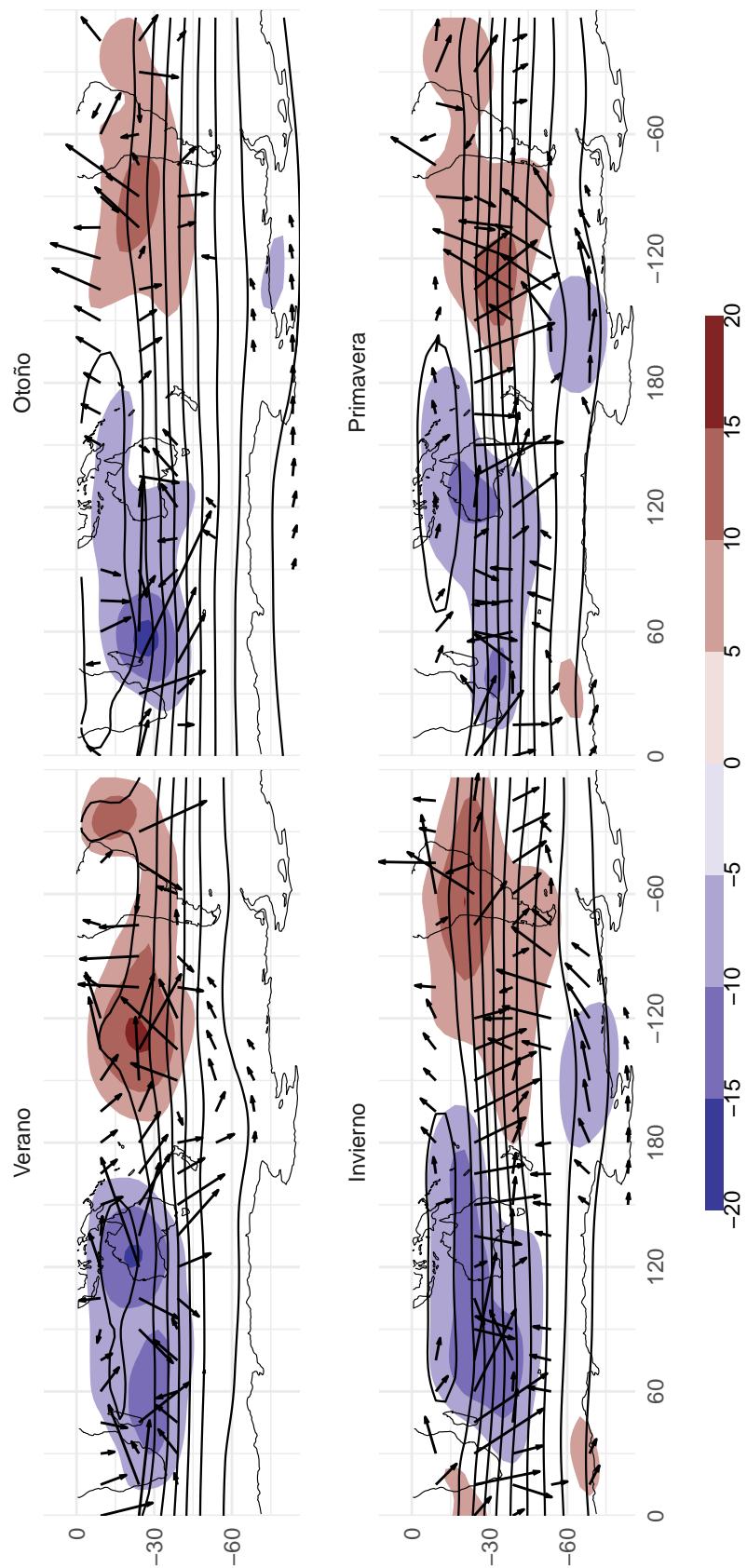


Figura 7.69: Función corriente x 1099fig:psi-sp

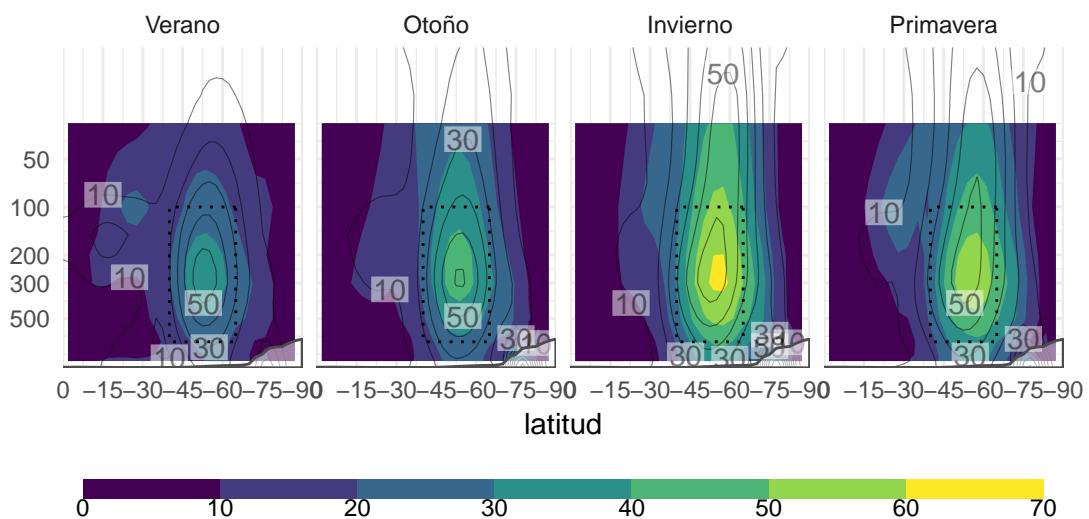


Figura 7.70: Amplitud de Fourier (speedy en sombreado, ncep en contornos).fig:ampl-sp-nc

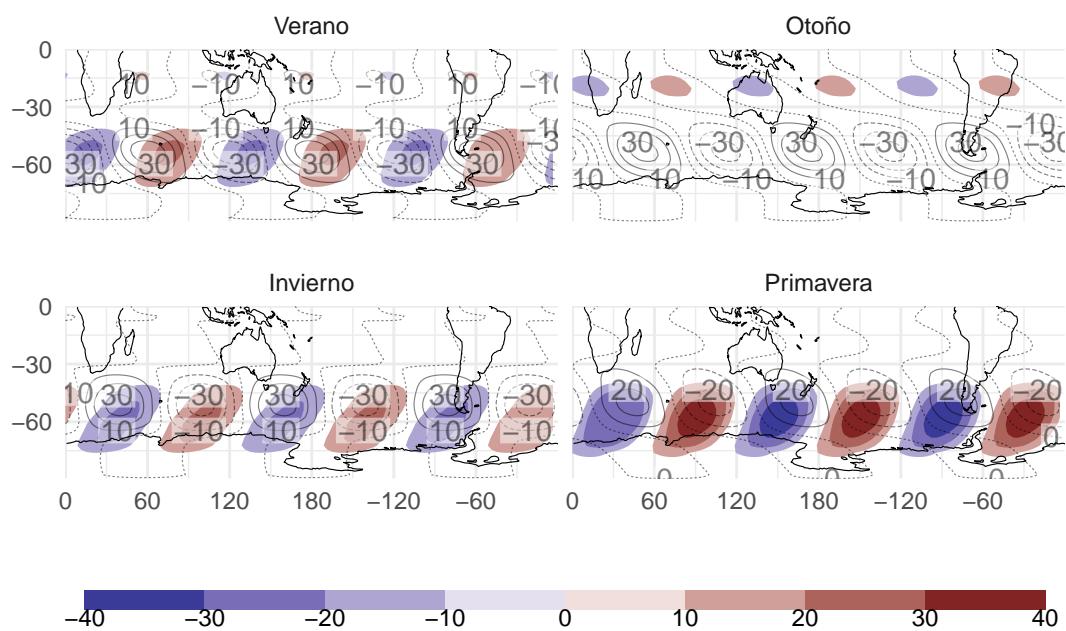


Figura 7.71: Media de reconstrucción de onda 3 (sombreado speedy, contornos ncep) fig:qs2-sp-nc

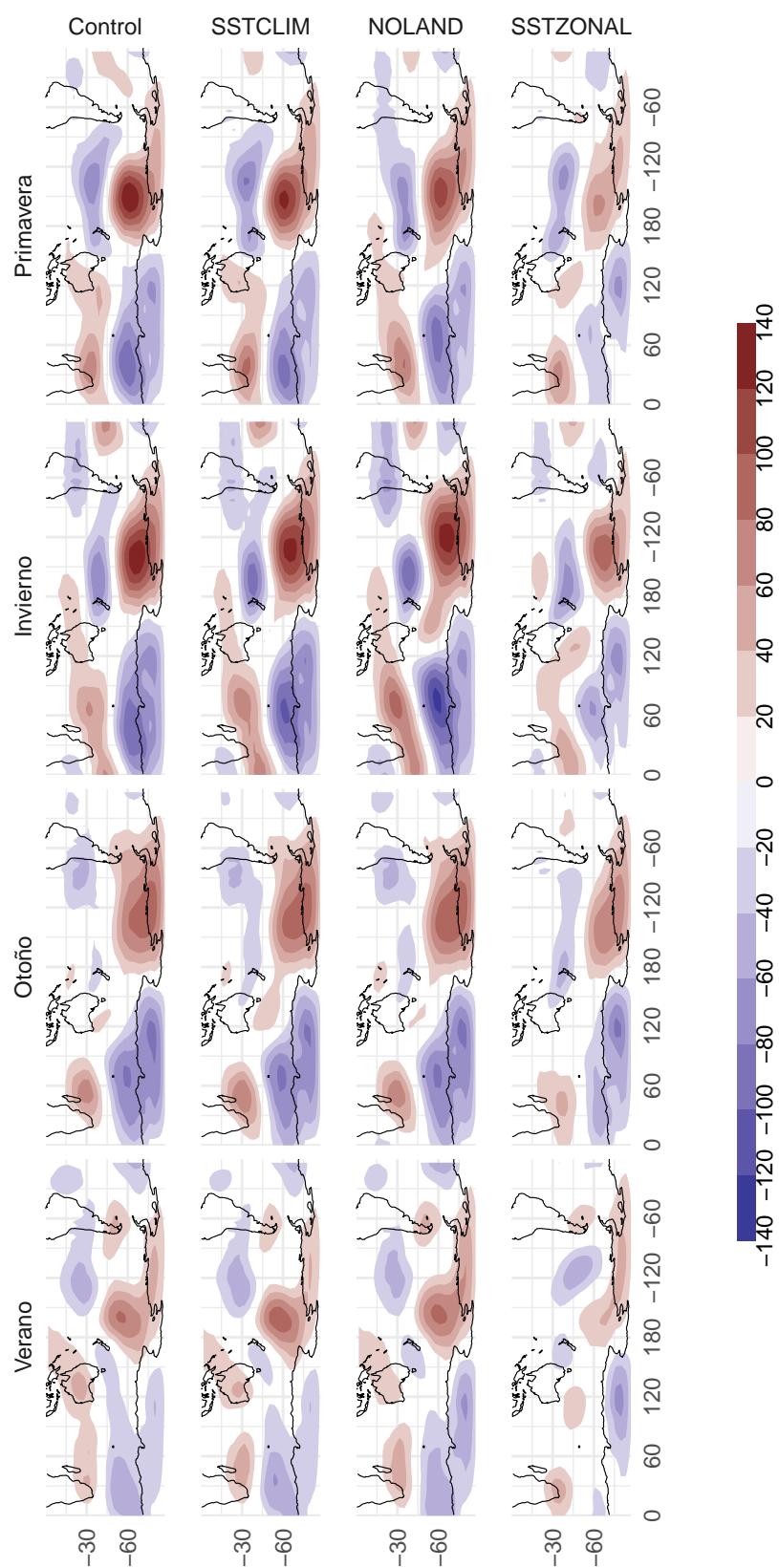


Figura 7.72: Anomalía zonal de altura geopotencial.fig:ghz-sp-runs

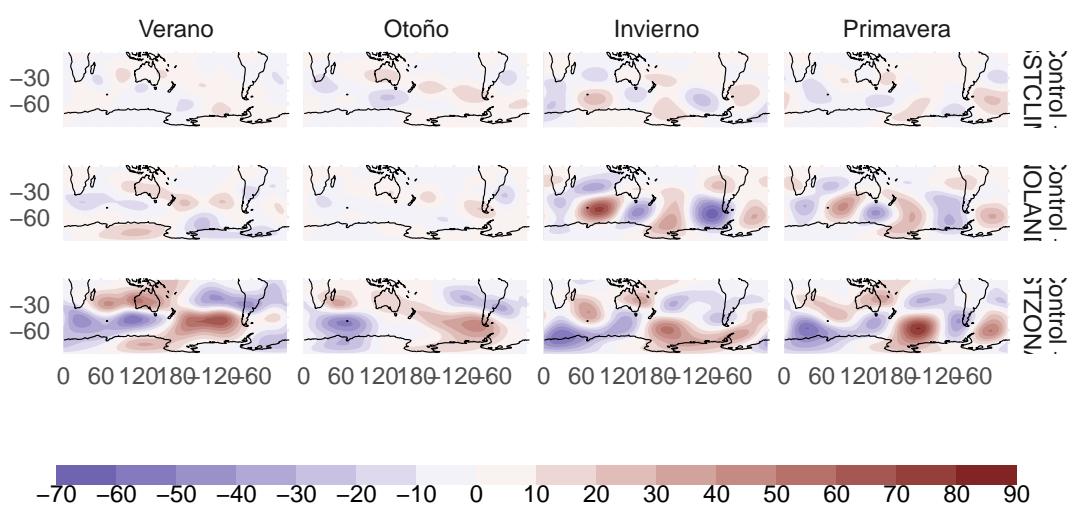


Figura 7.73: Diferencia Control - corrida para Z\*fig:ghz-dif-sp-runs

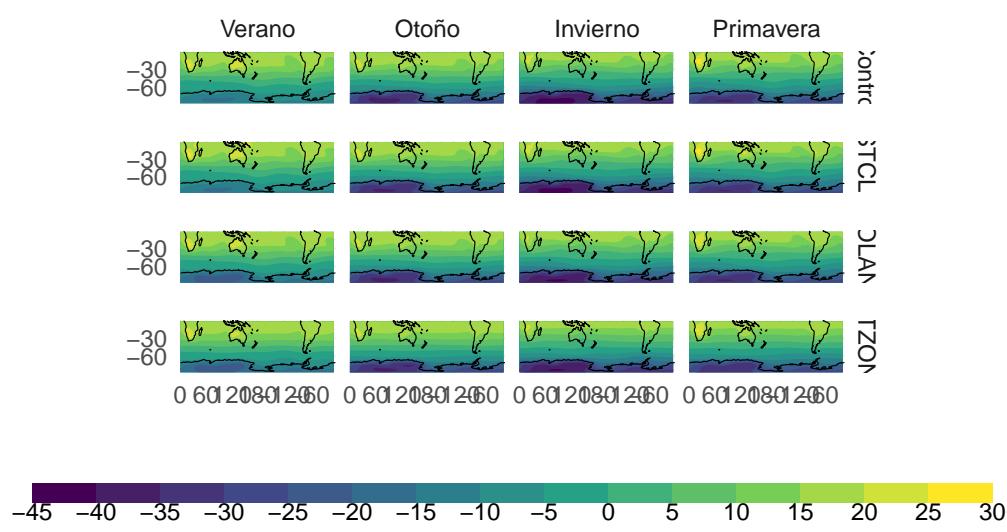


Figura 7.74: Temperatura media en 850hPa.fig:t-sp-runs

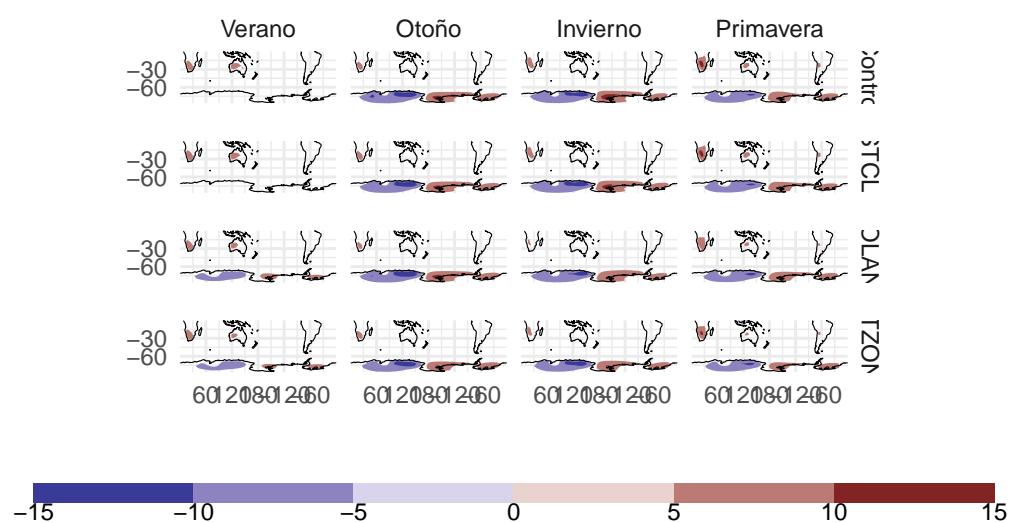


Figura 7.75: Temperatura media en 850hPa.fig:tz-sp-runs

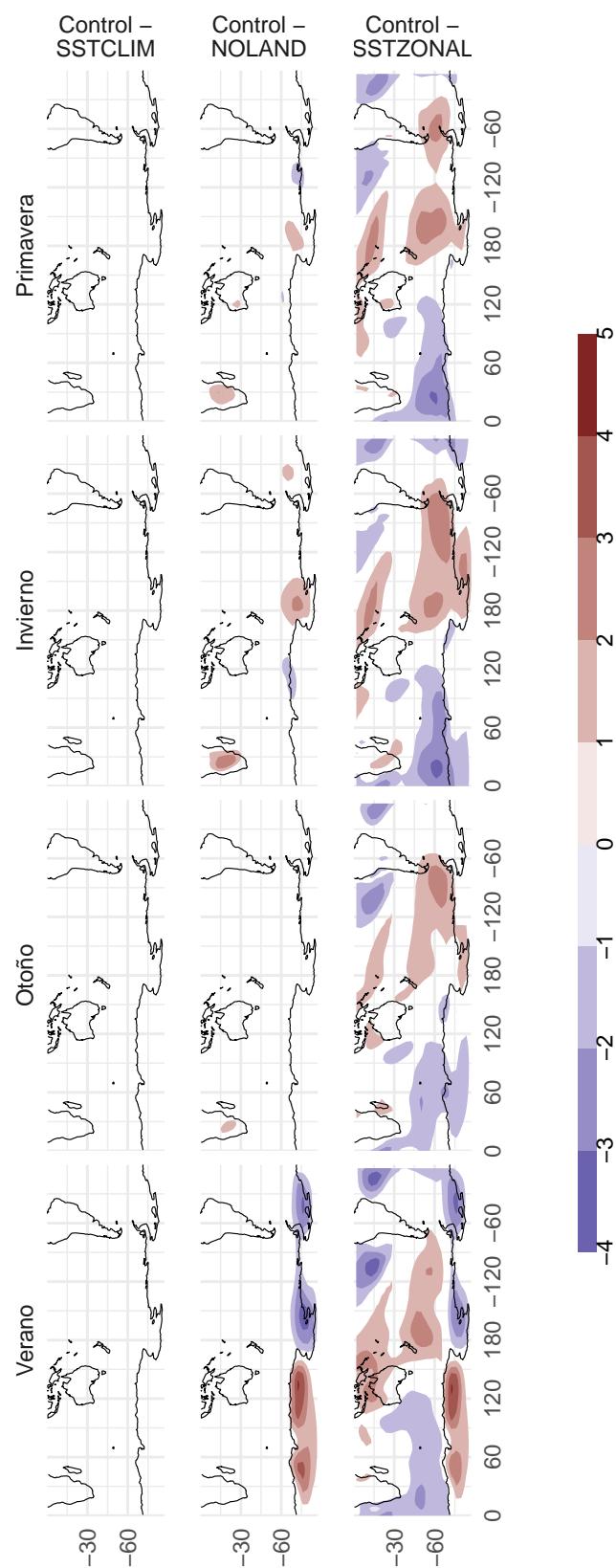
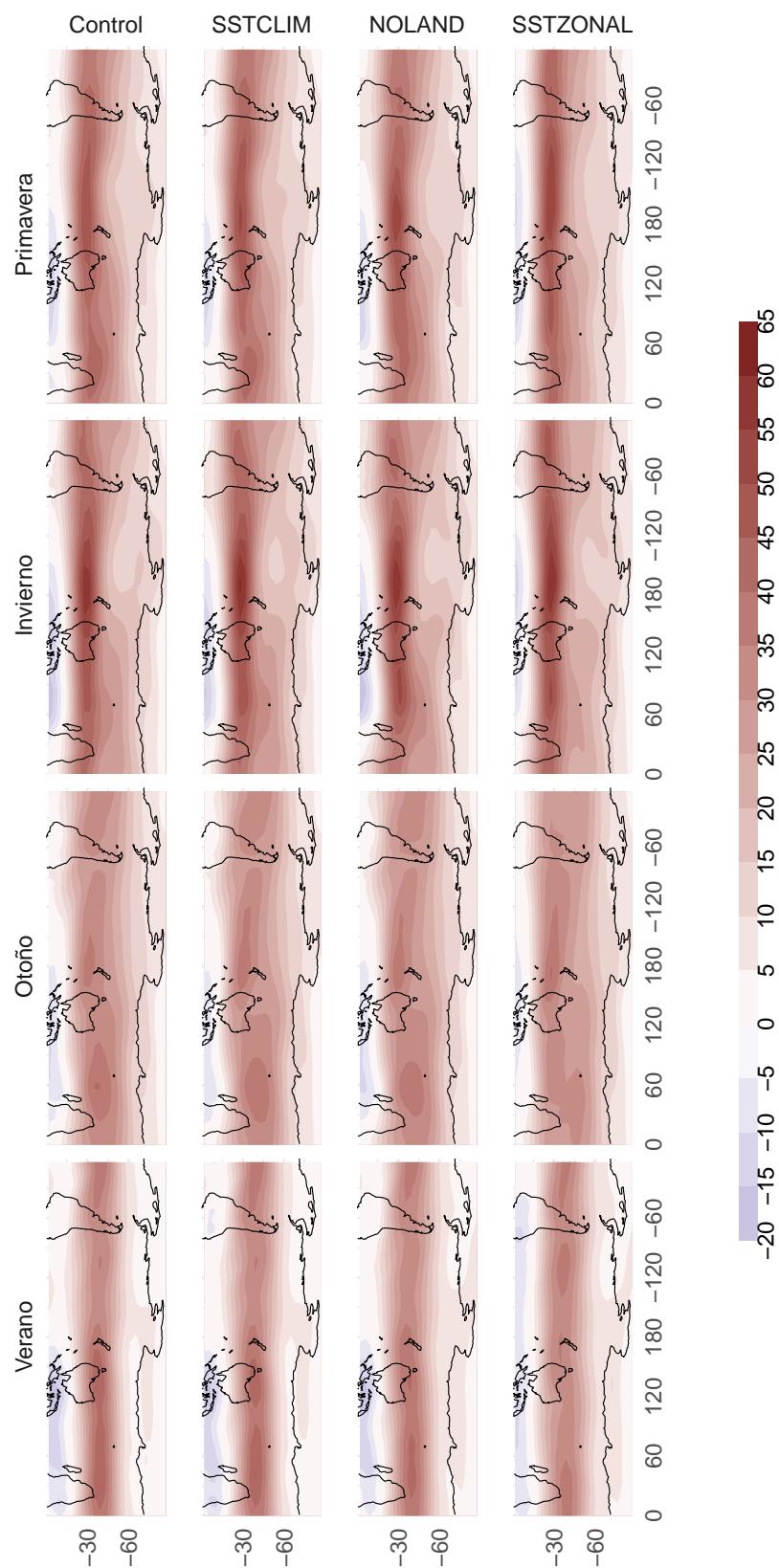


Figura 7.76: Diferencia Control - corrida para T\*fig:tz-dif-sp-runs

Figura 7.77: Viento zonal  
fig:uz-sp-runs

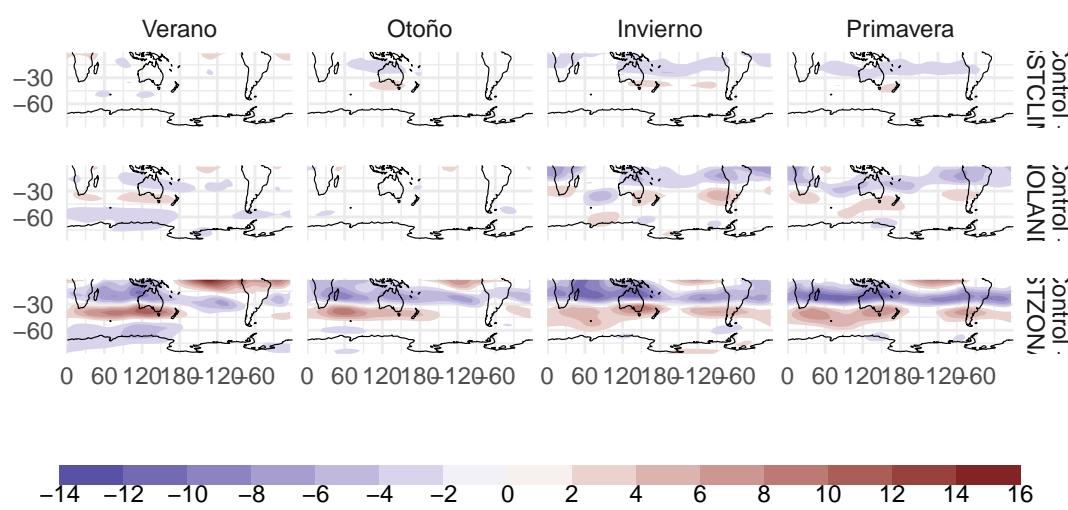


Figura 7.78: Diferencia control - corrida para U.fig:u-dif-sp-runs

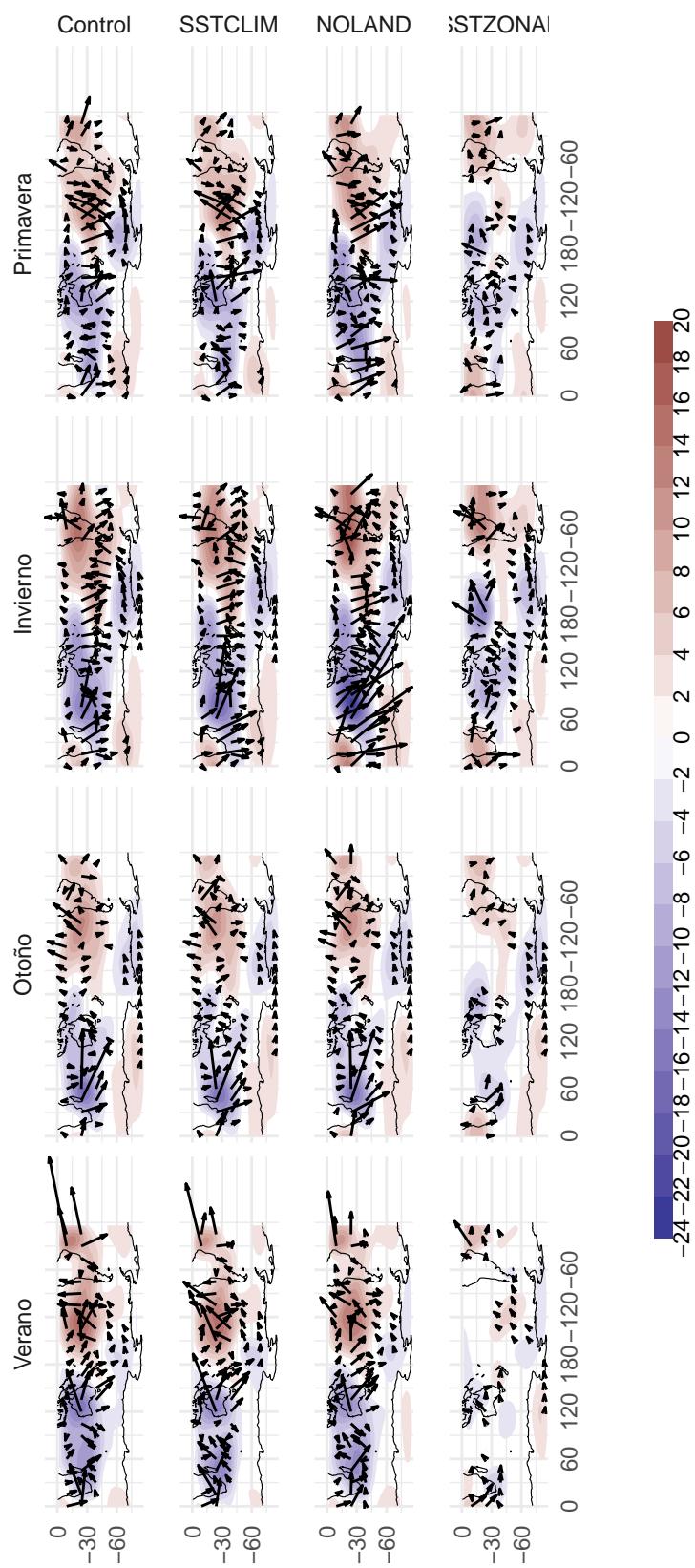


Figura 7.79: Anomalía zonal de función corriente y flujos de acción de onda.fig:psi-sp-runs

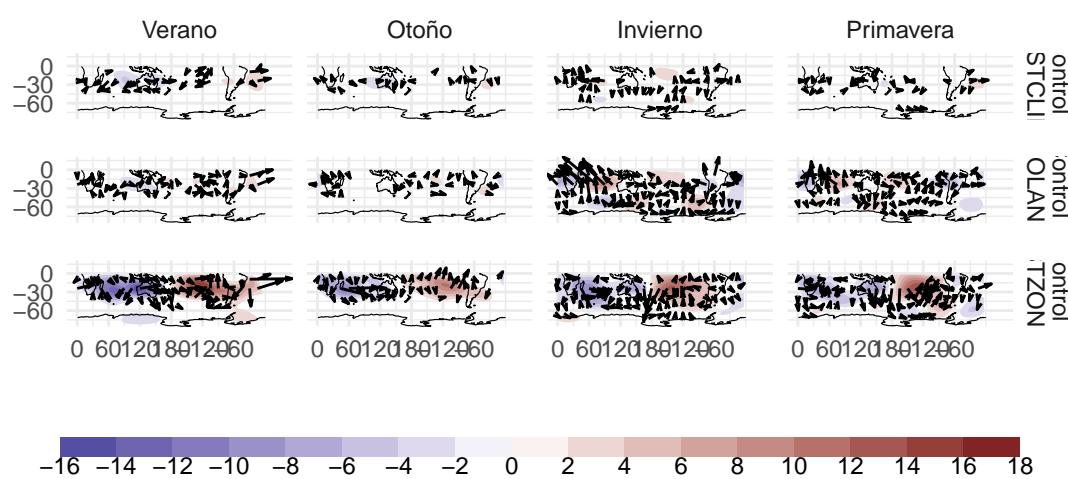


Figura 7.80: Diferencia en psi.z y flujo de acción de onda.fig:psiz-dif-sp-runs

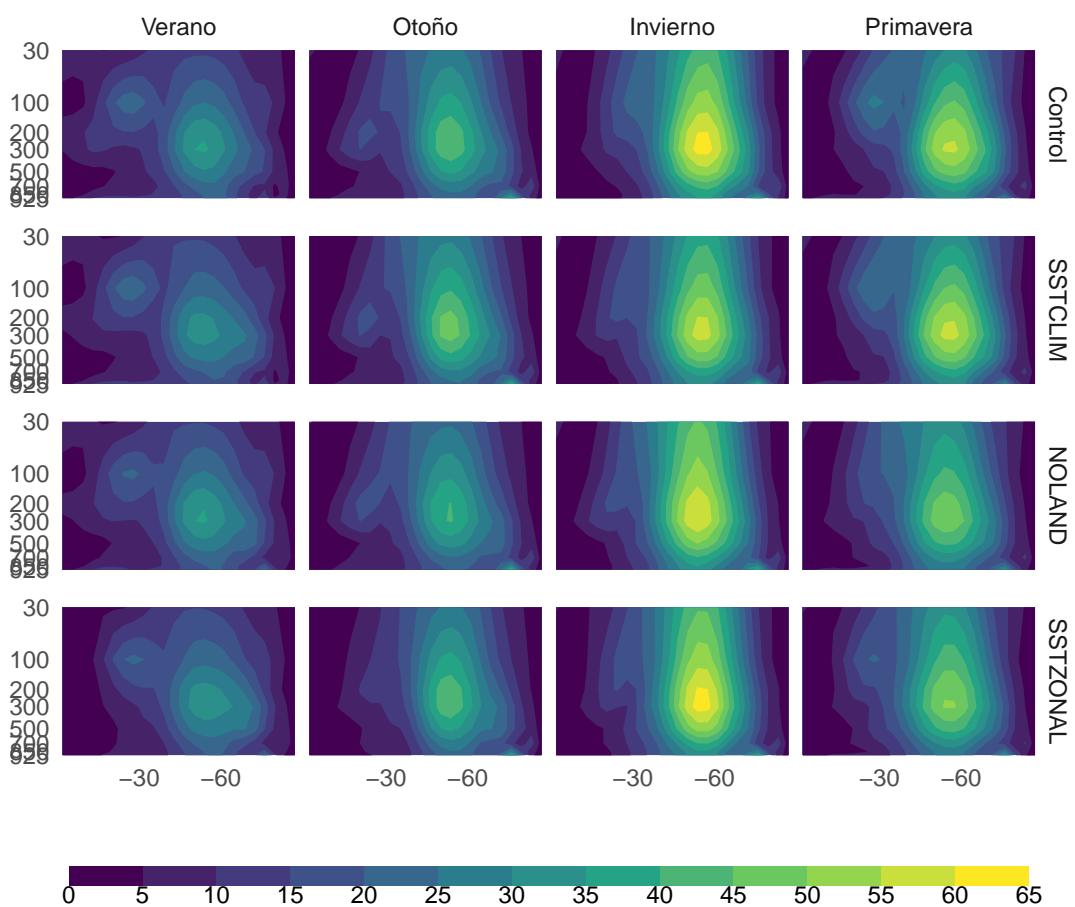


Figura 7.81: Amplitud media de la onda 3 para cada corrida.fig:ampl-sp-runs

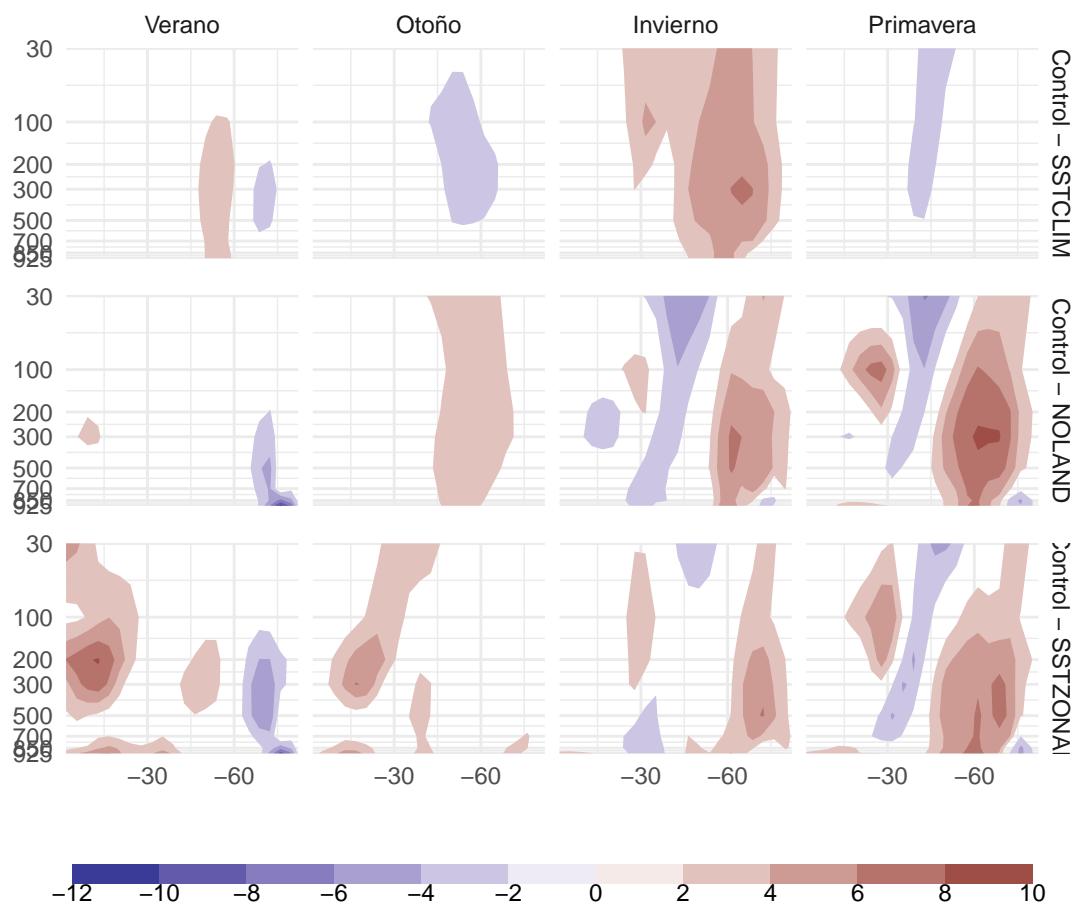


Figura 7.82: Diferencia de amplitud entre la corrida control y cada corrida.fig:ampl-dif-sp-runs

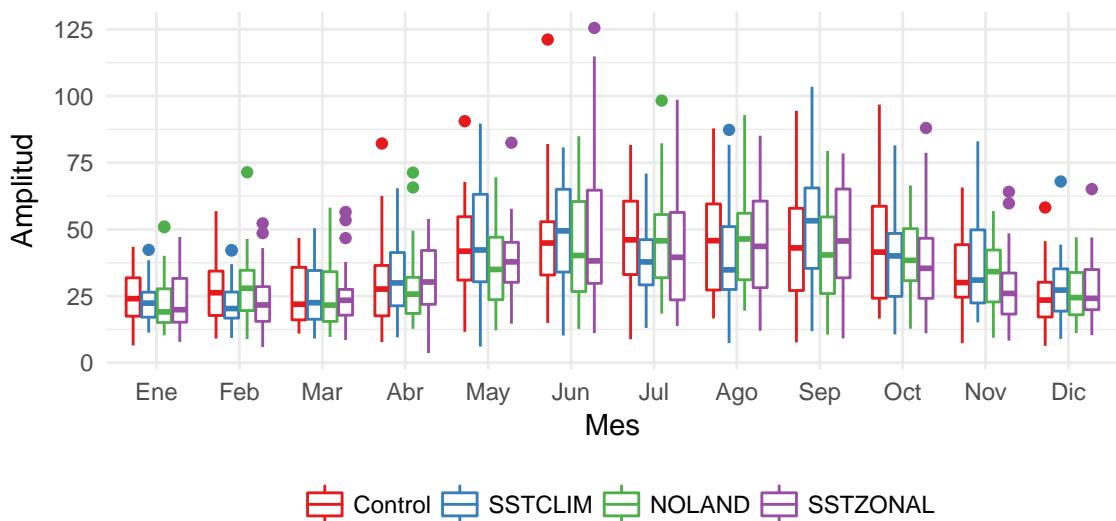


Figura 7.83: Ciclo anual de amplitud de onda 3.fig:index-sp-boxplot

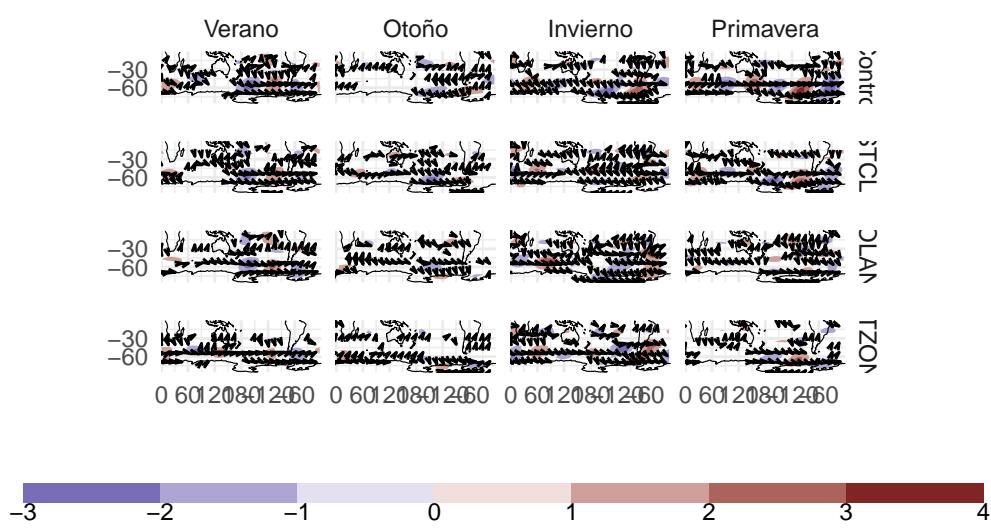


Figura 7.84: Regresión en función corriente.fig:regr-psi-sp-runs