

# INFLUENCIA DE EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS) EN LA OCURRENCIA DE HELADAS EN EL SUR DE LOS ANDES PERUANOS

Segundo Informe de Avance de Estudios para el  
Plan Operativo Institucional 2017

## Descripción breve

En el marco del desarrollo del POI 2017, se presenta el segundo informe de avance del estudio en mención. Este segundo informe consiste en la presentación previa de la investigación de acuerdo al formato requerido por la Revista Brasileira de Meteorología al cual se pretende someter. Se presenta el resumen en los tres idiomas solicitados, la introducción, descripción de los materiales y pasos de la metodología. Así como los resultados, conclusiones y la revisión bibliográfica.

Cristina Pamela Davila Arriaga

DICIEMBRE 2017

## INFLUENCE OF EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) ON FROST IN THE SOUTH PERUVIAN ANDES

### Abstract:

The frosts are meteorological events that have greater intensity and frequency in the Andean region due the elevated topography and their intensity is identified through minimum air temperatures equal to or less than 0°C. Fluctuations in the patterns of global atmospheric circulation, associated with changes in sea surface temperature (SST) in the region 3.4 of Pacific Ocean, are known as El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and in the region 1.2, as Coastal El Niño. The main objective of this work was to determine the influence of ENSO and Coastal El Niño on the occurrence of frost in the south of Peruvian Andes by analyzing the minimum air temperature. The correlation between the minimum temperature and SST of region 3.4 and region 1.2 were verified. Furthermore, the changes of circulations patterns during frost days considering ENSO years were analyzed using composites analysis in period 1979 – 2014. The results showed direct relation between the minimum temperature and SST region 1.2 in winter, however it relation is significant for punctual areas. According to composites, during ENSO years, the air subsidence is higher, while water vapor and air temperature present lower values when compared to the climatology.

Keywords: Frost, minimum air temperature, ENSO, Coastal El Niño, correlation, composite analysis.

## INFLUÊNCIA DO EL NIÑO OSCILAÇÃO DO SUL (ENOS) NA OCORRÊNCIA DE GEADAS NO SUL DOS ANDES PERUANOS

### Resumo:

As geadas são eventos meteorológicos que apresentam maior frequência nos Andes pela influência da topografia e sua intensidade se identifica através de temperaturas mínimas do ar ( $t_{min}$ ) iguais ou menores que  $0^{\circ}\text{C}$ . As mudanças nos padrões da circulação atmosférica global, associados com o aquecimento da temperatura superficial do mar (TSM) na região 3,4 do Oceano Pacífico são conhecidas como El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) e na região 1,2, como El Niño Costero. O objetivo deste trabalho foi determinar a influência do ENOS e do El Niño Costero na ocorrência de geadas no sul dos Andes peruanos através da análise da  $t_{min}$ . Verificou-se a correlação entre as  $t_{min}$  e a TSM da região 3,4 e região 1,2. Além disso, analisaram-se os padrões de circulação durante os dias com geadas considerando os anos ENOS utilizando a técnica de composições no período 1979 – 2014. Os resultados mostraram uma relação direta entre as  $t_{min}$  e a TSM da região 1,2 na estação de inverno, porém esta relação é significativa em áreas pontuais. Segundo as composições, durante os anos ENOS, a subsidência do ar é maior, enquanto que o vapor de água e a temperatura do ar apresentam menores valores quando comparado com a climatologia.

Palavras-chaves: Geadas, temperatura mínima do ar, ENOS, El Niño Costero, correlação, análise de composições.

## INFLUENCIA DE EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS) EN LA OCURRENCIA DE HELADAS EN EL SUR DE LOS ANDES PERUANOS

### Resumen:

Las heladas son eventos meteorológicos cuya intensidad se identifica con temperaturas mínimas del aire ( $t_{min}$ ) iguales o menores a los  $0^{\circ}\text{C}$ . Las fluctuaciones en los patrones de circulación atmosférica global, asociados a los cambios en la temperatura superficial del mar (TSM) en la región 3.4 del Océano Pacífico, son conocidas como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y en la región 1.2, como El Niño Costero. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia del ENOS y El Niño Costero en la ocurrencia de heladas en la parte sur de los Andes Peruanos mediante el análisis de la  $t_{min}$ . Se verificó la correlación entre las  $t_{min}$  y la TSM de la región 3.4 y 1.2. Así mismo, se analizaron los patrones de circulación durante los días de heladas considerando años ENOS mediante la generación de compuestos en el período 1979 – 2014. Se obtuvo una relación directa entre las  $t_{min}$  y la TSM de la región 1.2 durante la estación de invierno, sin embargo esta relación es significativa en áreas puntuales. Según los compuestos, durante años ENOS, la subsidencia del aire es mayor, mientras que el vapor de agua y la temperatura del aire presentan menores valores comparado con la climatología.

Palabras claves: Heladas, temperatura mínima del aire, ENOS, El Niño Costero, correlación, análisis de compuestos.

## 1. Introducción

Según el Atlas de las Dinámicas del Territorio Andino, elaborado por la Secretaría General de la Comunidad Andina (2009), las variaciones de la topografía en la Cordillera de los Andes favorecen la ocurrencia de heladas en regiones con alturas mayores a 2500 msnm principalmente en la estación de invierno. Estas heladas pueden ser de tipo meteorológico o agronómico. Las heladas meteorológicas se registran cuando la temperatura mínima del aire llega a valores menores o iguales que 0°C, y las agronómicas corresponden a una disminución de la temperatura del aire que tiene un impacto negativo en los cultivos y no necesariamente llega a valores negativos de temperatura. También pueden ser clasificadas en heladas por advección o heladas radiativas debido a la causa de su origen. Las heladas por advección son producidas por la invasión de masas de aire frío de las regiones polares y pueden presentarse en cualquier hora del día, mientras que las heladas radiativas son originadas por la pérdida de radiación emitida por la superficie cuando las noches presentan cielos despejados y vientos calmos (FAO-SENAMHI, 2010 y Comunidad Andina, 2009). En el caso del Altiplano peruano, las heladas son producidas mayormente por la pérdida de radiación en las madrugadas (Davila y da Rocha, 2016), pues la topografía plana, cielos despejados y vientos de poca intensidad interactúan para la disminución de la temperatura del aire hasta llegar a valores negativos (FAO-SENAMHI, 2010).

La mayoría de estudios realizados sobre El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en el Perú, se refieren a los impactos hidrológicos que el fenómeno provoca sobre el territorio. Francou y Pizarro (1985) hicieron una correlación estadística entre los valores de la temperatura superficial del mar del Océano Pacífico y los valores de la precipitación de estaciones meteorológicas en el Altiplano, teniendo como resultado la existencia de una correlación estadística entre la fase positiva del ENOS y las sequías en el Altiplano, debida probablemente a una tendencia más anticiclónica de la circulación del aire. En el Informe de Pasantía Phi-Lac Unesco, realizada por Erika Meerhoff en el año 2008, se hizo un análisis de los impactos del ENOS 1997-1998 en las regiones de América Latina. El análisis hecho para el Perú concluyó que El Niño 1997-1998 provocó inundaciones en el litoral norte y centro, además de sequías en la sierra y nevadas

aisladas en el invierno. Pero no todos los fenómenos de El Niño tienen la misma intensidad en los impactos, por ejemplo, en un informe realizado por la Corporación Andina de Fomento, afirma que la sequía en el Altiplano en el ENOS 1997/1998 fue menos intensa que en el ENOS 1982/1983 e incluso en algunas regiones se tuvo anomalías positivas de precipitación.

En relación a la ocurrencia de heladas en el Altiplano, cuando ocurren anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Océano Pacífico, el informe de la Comunidad Andina 'El Niño y La Niña' cita la explicación gráfica de Luhr (2003, pag. 449) donde explica que en condiciones de El Niño se tiene el aumento de las heladas y sequías en el Altiplano debido a la ausencia de nubosidad y cielos despejados que favorecen la pérdida de radiación de la superficie en las noches.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Materiales

Fueron tres tipos de datos usados en el trabajo: datos observados de temperatura mínima del aire, datos de reanálisis y de la TSM. Se tomaron en cuenta datos observados diarios de temperatura mínima del aire de 29 estaciones meteorológicas distribuidas en la parte sur de la región andina peruana, departamentos de Cusco, Puno, Tacna, Moquegua y Arequipa, con una altitud superior a 3 200 m (Figura 1). El período de años fue de 1965 – 2016. Estos datos cuentan con un control de calidad realizado en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En el caso de los datos de reanálisis, estos fueron descargados del website de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) con resolución espacial de 2.5°x2.5°. Las variables meteorológicas consideradas fueron: temperatura del aire (°C), altura geopotencial (m), velocidad vertical en términos de omega (Pa/s), humedad relativa (%) y las componentes U y V del viento (m/s). Debido que las heladas son eventos que ocurren en horario específico, se presentan los análisis cada 6 horas (00:00UTC, 06:00UTC, 12:00UTC y 18:00UTC).

Los valores de la TSM fueron descargados del website del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts para el período 1965 – 2016.

### 2.2 Metodología

### 2.2.1. Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica de estadística multivariada que transforma linealmente un conjunto de “X” variables en un conjunto con un número menor de variables con el objetivo de explicar la información que esas variables tienen en común. Es una técnica favorable cuando se analizan series temporales de muchos años ya que reduce la dimensionalidad del conjunto de datos conservando la mayor cantidad de información posible. En nuestro caso, existe una sola variable que es la temperatura mínima, pero se tienen 29 series de tiempo de 52 años que representan a un área de estudio. Se aplicó el ACP en los datos sin tendencia y sin estacionalidad con la finalidad de hallar la variabilidad espacial que los 29 puntos presentan.

Para el ACP, se construyó un script utilizando el software R project. A partir de la matriz de anomalías de temperatura mínima de todas las estaciones meteorológicas, se calculó la matriz de la covariancia para generar los autovectores y autovalores. Son los autovectores los que muestran la variabilidad espacial de los datos y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total que recogen de la muestra (Pearson, 1901).

La cantidad de autovectores calculados está dada por el número de series temporales consideradas; es decir, si hay 29 series temporales entonces serán calculadas 29 autovectores reduciendo así, las dimensiones de los datos originales.

### 2.2.2. Análisis de Correlación

El análisis de correlación se basa principalmente en el cálculo de la correlación de Pearson, el cual permite medir la relación o asociación que existe entre dos variables con distribución normal (Wilks, 2006). El valor de la correlación varía en el intervalo de -1 y 1. Los valores positivos indican una relación directa entre las variables, es decir las dos aumentan o disminuyen al mismo tiempo; mientras que los valores negativos de correlación representan una relación inversa, una de las variables aumenta cuando la otra disminuye. Un valor de 0 muestra que no existe relación entre las variables.

En esta etapa, se utilizaron los datos de la TSM en anomalías para la correlación con las anomalías de temperatura mínima del aire de cada punto de estación meteorológica en distintas

estaciones del año (verano e invierno) para el período 1965 – 2016. Se aplicó el test estadístico T-Student con un nivel de significancia de 90% con el objetivo de comprobar si la correlación encontrada entre las variables va más allá del azar.

### 2.2.3. Análisis de Compuestos

El método de compuestos consiste en calcular el promedio de los eventos a ser estudiados, por lo que describen las características medias del evento. Se calcularon las anomalías como la diferencia entre los compuestos para los días con heladas y la climatología de los años considerados. Los compuestos fueron calculados utilizando el software CDO (Climate Data Operator) y luego fue aplicado el método Monte Carlo para identificar las zonas con significancia al 90%. Se tomaron en cuenta dos conjuntos de fechas: los días con heladas durante los meses junio, julio y agosto de 1979 – 2014 y los días con heladas sólo en los años El Niño.

## 3. Resultados

Los primeros cuatro componentes principales (CP) calculados explican el mayor porcentaje de la variancia total de los datos de anomalías de temperatura mínima: 65% (Figura 2a), siendo que la primera CP explica un 46.8% de la variabilidad y según la distribución espacial, muestra un comportamiento climático similar en los puntos de estación en Puno y Arequipa (Figura 2b).

La Figura 3 y Figura 4 presentan los mapas de correlación entre las temperaturas mínimas de los puntos de estación y la TSM de la región 1.2 y 3.4, respectivamente. Se puede apreciar que la región 1.2, relacionado con el Niño Costero, se correlaciona de forma directa y significativa con las temperaturas mínimas de la sierra sur en Cusco (estación Urubamba), puntos alrededor del Lago Titicaca y Moquegua en el verano (Figura 3a). Sin embargo, para el invierno, la Figura 3c muestra que esta correlación directa sólo llega a presentarse en Cusco (estaciones Granja Kcayra y Acomayo), mientras que en Puno (estación Capachica) la correlación es negativa y significativa.

Para el caso de la región 3.4, relacionada con el ENSO, la correlación es directa y significativa sólo en Cusco (estaciones Granja Kcayra y Urubamba) y Moquegua en verano (Figura 4a). En

el invierno, no existe una relación significativa entre las temperaturas mínimas del aire y la TSM de esta región del Océano Pacífico (Figura 4c).

#### 4. Conclusiones

- Según las estaciones meteorológicas usadas en el estudio, la región de la sierra sur del Perú, que comprende los departamentos de Cusco, Arequipa, Puno, Moquegua y Tacna, presentan una variabilidad climática uniforme, con especial énfasis en Puno y Arequipa.
- Considerando tanto la región 1.2 como la región 3.4 del Océano Pacífico, las correlaciones entre las temperaturas mínimas del aire y la TSM tienen valores más altos en verano, mientras que en invierno disminuyen o no son significativas estadísticamente.
- Así mismo, la relación que existe entre las temperaturas mínimas del aire y la TSM es directa, es decir ante un aumento (disminución) de la TSM en el Pacífico se espera un aumento (disminución) en las temperaturas mínimas del aire para estos departamentos. Por lo tanto, la ocurrencia de heladas será menor (mayor).
- Es importante señalar que, la región 1.2 del Océano Pacífico, relacionado con el Niño Costero, presenta correlación con más puntos de estación en la zona de estudio que la región 3.4 del Pacífico Central.

#### 5. Referencias Bibliográficas

- Carrillo, C. (2003). Fundamentos del Análisis de Fourier. Departamento de Enxeñería Eléctrica Escola Técnica Superior de Enxeñeiros Industriáis. Universidade de Vigo.
- Chelliah, M. y Arkin, P. (1992). Large-Scale Interannual Variability og Monthly Outgoing Longwave Radiation Anomalies over the Global Tropics. *Journal of Climate*.
- Comunidad Andina. (2009). *Atlas de las dinámicas del territorio Andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales*. (p. 185). Capítulo: Cuando hiela, 132-139.
- Comunidad Andina. (2009). *Atlas de las dinámicas del territorio Andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales*. (p. 185). Capítulo: El Niño y La Niña, 150-155.
- Corporación Andina de Fomento. El Fenómeno El Niño 1997-1998: Memorias, retos y soluciones. Volume V: Perú.

- Garreaud, R. D., & Aceituno, P. (2001). Atmospheric circulation over South America: mean features and variability.
- González, P. (2004). Comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agroecosistemas de la Región del Maule durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998-1999.
- Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI. (2008). *Documento País 2008. Vulnerabilidades, Capacidades y Gestión de Riesgo en la República del Perú* (p. 177).
- Informe de Pasantía Phi-Lac UNESCO (2008). Meerhoff, E. Análisis de los impactos causados por el fenómeno meteorológico El Niño 1997-1998 a escala regional y por países.
- Lagos, P., Silva, Y. y Nickl, E. (2004). El Niño y la precipitación en los Andes del Perú.
- Lavado-Casimiro, W. y Espinoza, J. (2013). Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (19650-2007). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.2, 171 - 182, 2014
- León, G., Zea, J. y Eslava, J. (2000). Circulación General del Trópico y la Zona de Confluencia Intertropical en Colombia. *Meteorol. Colomb.* 1:31-38. ISSN 0124-6984. Santa Fe de Bogotá, D.C. – Colombia.
- Martínez, R., Carrascal, D., Andrade, M., Blacutt, L. y otros (2012). Síntesis del Clima de los Andes Tropicales. En Herzog, S., Martínez, R., Jørgensen, & P., Tiessen, H. (2012). *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales* (p. 117 – 130).
- Organización Mundial de Meteorología – OMM. (1996). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. Sexta edición, OMM N° 8. Ginebra, Suiza.
- Rodionov, S. N. (2004). A sequential algorithm for testing climate regime shifts.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2014). *El Fenómeno El Niño en el Perú*.

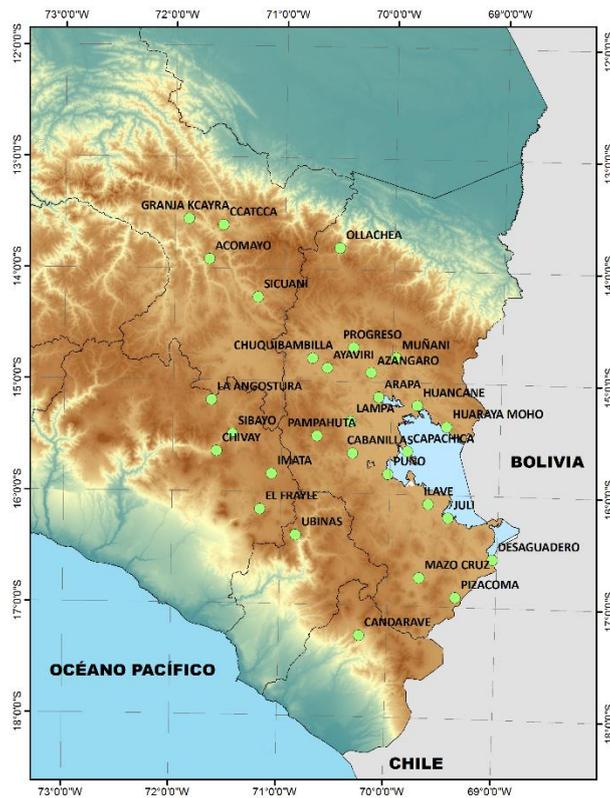


Figura 1: Mapa de ubicación de las estaciones meteorológica.

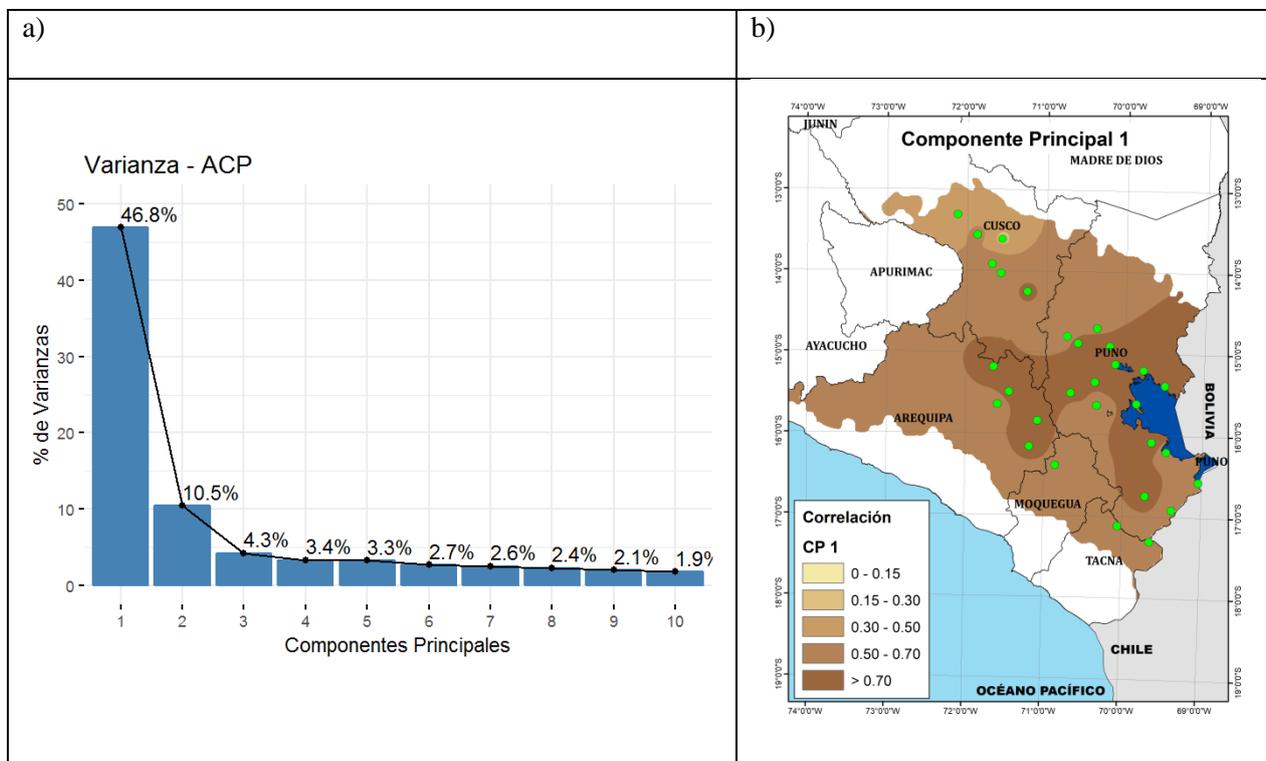


Figura 2: (a) Varianza explicada de los componentes principales (b) Distribución espacial de la primera componente principal.

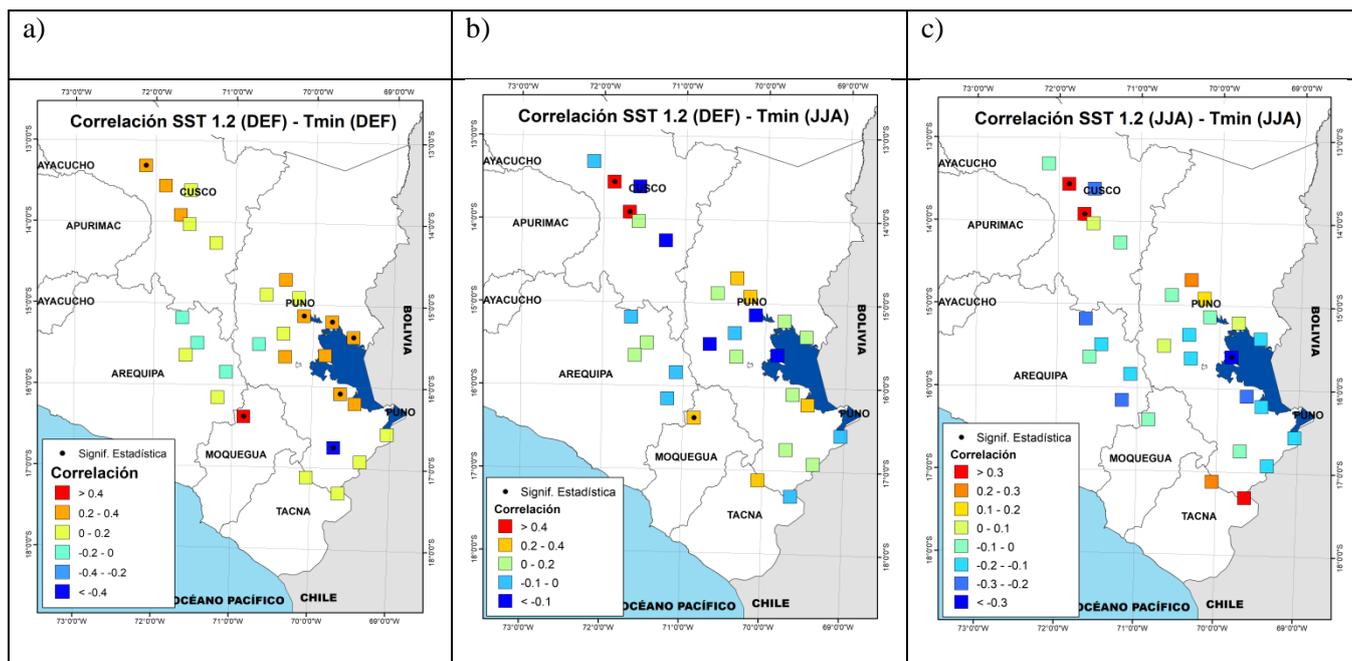


Figura 3: Valores de correlación y significancia estadística (a) TSM de la región 1.2 en verano y tmin en verano (b) TSM de la región 1.2 en verano y tmin en invierno y (c) TSM de la región 1.2 en invierno y tmin en invierno.

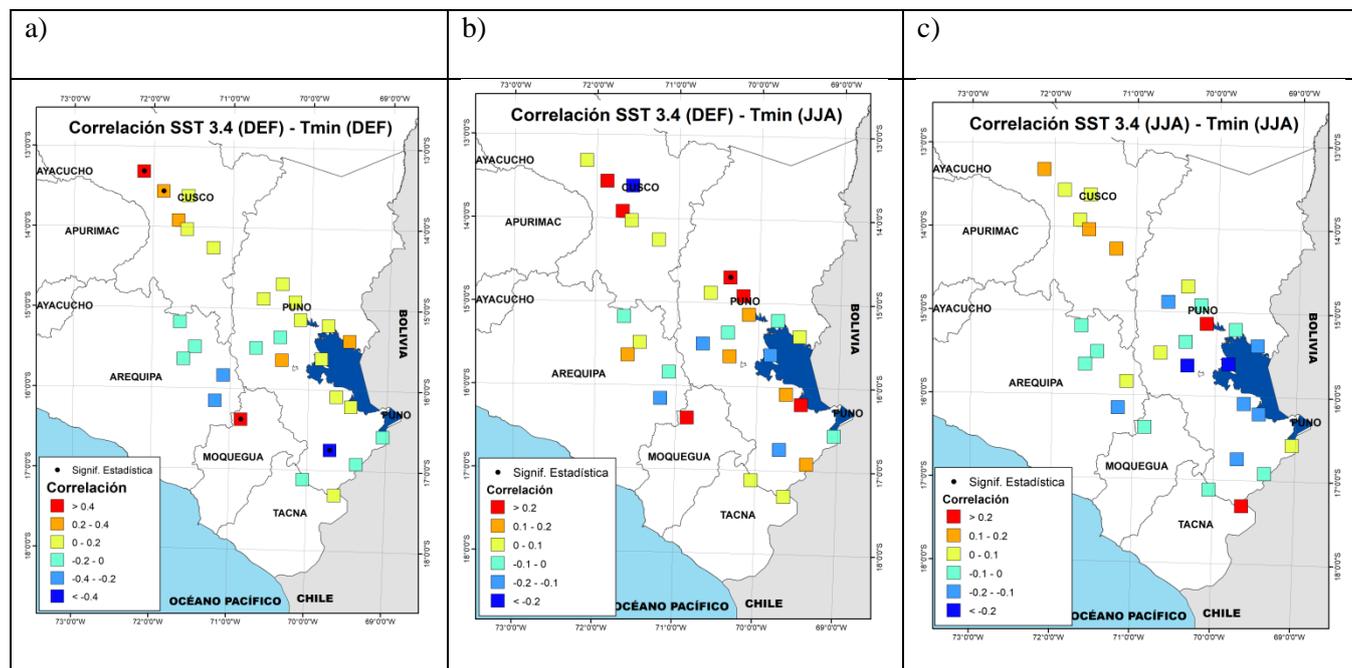


Figura 4: Valores de correlación y significancia estadística (a) TSM de la región 3.4 en verano y tmin en verano (b) TSM de la región 3.4 en verano y tmin en invierno y (c) TSM de la región 3.4 en invierno y tmin en invierno.