



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PLUVIAL EN LA COSTA Y SIERRA DE LAS REGIONES TUMBES, PIURA, LAMBAYEQUE Y LA LIBERTAD CON LA HERRAMIENTA ESTADÍSTICA CPT: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA

Marina Farías, Kiara Tesén

Lima, agosto de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Farías, M. y Tesén, K. (2017). Evaluación del comportamiento pluvial en la costa y sierra de las regiones Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad con la herramienta estadística CPT: análisis de correlación canónica. En E. Carrera (Dir.), *I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos III Congreso Regional IPMA – LATNET*, (pp. 285-297). Lima: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PLUVIAL EN LA COSTA Y SIERRA DE LAS REGIONES TUMBES, PIURA, LAMBAYEQUE Y LA LIBERTAD CON LA HERRAMIENTA ESTADÍSTICA CPT: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA



Esta obra está bajo una licencia  
[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE  
PROYECTOS  
III CONGRESO IPMA-LATNET

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PLUVIAL EN LA COSTA Y  
SIERRA DE LAS REGIONES TUMBES, PIURA, LAMBAYEQUE Y LA  
LIBERTAD CON LA HERRAMIENTA ESTADÍSTICA CPT: ANÁLISIS DE  
CORRELACIÓN CANÓNICA**

Marina Farías <sup>a</sup>, Kiara Tesén <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Piura, Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Av. Ramón Mugica 131 – Urb. San Eduardo, Piura, Perú.

<sup>b</sup> Universidad de Piura, Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Av. Ramón Mugica 131 – Urb. San Eduardo, Piura, Perú.

<sup>b\*</sup> Autor en correspondencia: Tesén, Kiara.  
*Correo electrónico:* kiara.tesen@udep.pe

---

**Palabras clave:** Análisis de Correlación Canónica, climatología, variabilidad climática, predicción climática estacional.

## RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es determinar las diferencias en el comportamiento pluvial de las dos zonas geográficas, costa y sierra, que comprenden las regiones Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad, ubicadas en el norte del Perú, durante el trimestre enero, febrero y marzo (EFM) ante las variaciones de la temperatura superficial del mar (TSM). Se elaboraron modelos estadísticos de predicción climática estacional basados en el Análisis de Correlación Canónica (ACC), con el uso de la herramienta estadística Climate Predictability Tool (CPT). Como predictores se utilizan las TSM en el Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4) y oriental (Niño 1+2); y como predictante el campo de precipitación de 41 estaciones meteorológicas ubicadas en las 4 regiones mencionadas, con registros trimestrales para el periodo de 1971-2016. El ACC muestra que en la costa la precipitación pronosticada por la TSM observada en la región Niño 1+2 se asemeja a la observada; mientras que, para la sierra la mejor correlación la obtuvo la precipitación obtenida por la TSM de la región Niño 3.4. En ambos casos se obtiene una correlación para las precipitaciones en la región, que pueden verse influenciada por otros parámetros atmosféricos.

**Keywords:** Canonical Correlation Analysis, climatology, climate variability, seasonal climate prediction.

## ABSTRACT

The main objective of the investigation is to determine the differences in the pluvial behavior of the two geographical areas, coast and sierra, which comprise the Tumbes, Piura, Lambayeque and La Libertad regions, located in northern Peru during the months January, February, And March (trimester JFM) according to variations in sea surface temperature (SST). Statistical models of seasonal climate prediction based on Canonical

Correlation Analysis (CCA) were developed using the Climate Predictability Tool (CPT). As predictors, SST are used in the central equatorial Pacific (Niño 3.4) and eastern (Niño 1+2); and as a predictand, the precipitation field of 41 meteorological stations located in the 4 regions mentioned, with quarterly records for the period 1971-2016. The CCA shows that on the coast the precipitation predicted by the SST observed in the Niño 1+2 region resembles that observed; While for the sierra the best correlation was obtained by the SST of the Niño 3.4 region. In both cases a correlation is obtained for precipitation in the region, which can be influenced by other atmospheric parameters.

---

## 1 Introducción

El comportamiento pluvial de la costa norte de Perú está muy influenciado por anomalías climáticas como el ENSO (El Niño Southern Oscillation) y otras ondas atmosféricas que, en conjunto, modulan la distribución espacial de la lluvia, así como su intensidad y acumulación. Durante los meses de verano del 2017, se han presentado intensas lluvias, principalmente en las regiones del norte: Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad. Estas se han visto asociadas al calentamiento anómalo de la temperatura superficial del mar (TSM), cerca de las costas peruanas, sumado a los procesos de retroalimentación océano-atmósfera, siendo este fenómeno conocido por entidades nacionales como El Niño Costero.

La TSM es uno de los indicadores principales de la ocurrencia de un Fenómeno El Niño (FEN), evento que tiene repercusiones a nivel global y El Niño Costero, evento con repercusiones en las costas peruanas. Ambos se miden por medio de parámetros como el ONI (Índice Oceánico El Niño) y el ICEN (Índice Costero El Niño), respectivamente, basados en el calentamiento anómalo y sostenido de la TSM en dos regiones del Pacífico ecuatorial: central, Niño 3.4, y oriental, Niño 1+2, cercano a las costas de Perú y Ecuador.

En Perú, el Centro de Predicción Numérica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) utiliza, para la emisión de pronósticos climáticos, dos fuentes distintas de información: predicciones meteorológicas globales procedentes del modelo Global Forecast System (GFS) y valores reales de determinadas variables, procedentes de su red de estaciones meteorológicas. En base a estos emite pronósticos con respecto a las precipitaciones en las diferentes zonas geográficas del Perú. Sin embargo, el modelo numérico regional utilizado, ETA, aún no es muy preciso. Una de las desventajas de los modelos numéricos es que, las predicciones son hechas para grandes áreas y generalmente no son relevantes para ubicaciones específicas (escala más reducida). De ahí que dichas predicciones necesiten ser ajustadas para que puedan ser aplicadas a nivel local. Este proceso es conocido como disminución de escala (downscaling) e involucra una corrección estadística de las predicciones de los modelos de circulación general (Fallas & Alfaro, 2012).

En contribución a los modelos numéricos, entidades como el IRI (The International Research Institute for Climate and Society) diseñó, en 1977, la herramienta estadística Climate Predictability Tool (CPT). Ésta en la actualidad viene siendo empleada por alrededor de 23 países del Caribe y América Central para monitorear sequías y otros eventos climáticos (Science and Development Network, 2015), mediante la elaboración de modelos estadísticos; pudiéndose así, descargar el software y los datos de parámetros oceánico-atmosféricos en la página web del IRI.

Por ello, la investigación utiliza la herramienta estadística CPT para la elaboración de modelos estadísticos de predicción climática estacional basados en el Análisis de Correlación Canónica (ACC). El ACC es un método de análisis multivariado, diseñado para identificar combinaciones lineales de variables de un campo que está más

fuertemente correlacionado con combinaciones lineales de otro campo (Fallas & Alfaro, 2012).

Las precipitaciones, el presente año, 2017, han evidenciado una cierta relación entre el aumento de la TSM en el Pacífico ecuatorial y la precipitación observada en la región de estudio. Al dividir esta región en dos zonas geográficas, costa y sierra, se observan comportamientos diferentes antes dichas anomalías, según la región de monitoreo en el Pacífico ecuatorial.

## **2 Objetivos**

### **2.1 General**

Determinar las diferencias en el comportamiento pluvial de las dos zonas geográficas que comprenden las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad, ubicadas en el norte del Perú, durante el trimestre EFM, según la TSM.

### **2.2 Específicos**

Elaborar estudios diagnósticos que evidencien un comportamiento diferente entre las zonas geográficas costa y sierra.

Encontrar un modelo que se ajuste adecuadamente a las precipitaciones observadas en las cuatro regiones de estudio.

## **3 Metodología**

La investigación utilizó el Análisis de Correlación Canónica (ACC), que viene implementado dentro de CPT, basado en que se tienen dos campos de variables, predictoras y predictantes, para así realizar varias combinaciones lineales (Fallas & Alfaro, 2012).

Las variables predictoras serán los datos de la TSM en dos regiones de monitoreo, Pacífico ecuatorial oriental, región Niño 1+2, y central, región Niño 3.4; y las variables predictantes serán el campo de precipitación de 41 estaciones meteorológicas activas de SENAMHI ubicadas en las cuatro regiones de estudio. Estas estaciones han sido seleccionadas sobre la base de su ubicación geográfica, costa y sierra (Figura 38), según lo muestra la Tabla 18. Ambas variables han sido tomadas para el periodo 1971-2016.

**Tabla 18: Ubicación de estaciones meteorológicas en las zonas geográficas que comprenden Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad**

Regiones	Estaciones	
	Costa	Sierra
Tumbes	El Salto, El Tigre y Puerto Pizarro	
Piura	Bernal, Chulucanas Chusis, La Esperanza, Lancones, Mallares, Miraflores, Morropón, San Miguel y Pananga	Ayabaca, Bigote, Sapillica, Sausal de Culucan, Hda. Schumaya, Huarmaca, Porculla, San Pedro, Sondorillo y Tuluca
Lambayeque	Cayalti, Lambayeque, Reque, Virrey y Jayanca	Cueva Blanca, El Espinal y Puchaca
La Libertad	Talla	Cachicadan, Callancas, Huacamarcanga, Huamachuco, Huangacocha, Julcan, Mollepata, Quiruvilca, Sinsicap

**Figura 38: Ubicación de 41 estaciones meteorológicas en las regiones Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad.**



Al ingresar los datos a la CPT se indicaron las restricciones para no tomar datos faltantes que conlleven a error. El primer límite ingresado fue el número máximo de valores faltantes, 30%; teniendo cada estación un periodo de 46 años, esto equivale a que el modelo como máximo aceptará 13 datos faltantes por estación. El otro límite fue el número máximo de estaciones perdidas por año, 30%; ya que se cuenta con 41 estaciones, si se pierden más de 12 estaciones, el año no se considera en el análisis.

La CPT, al procesar los modelos, analiza diferentes modos o escenarios de correlación canónica y selecciona aquellos cuyo "índice de bondad" es mayor a 0.5.

La salida de cada modo canónico o escenario analizado muestra tres diagramas (Figura 41 y Figura 42). A la izquierda, el patrón de las variaciones de la TSM, y a la derecha las lluvias que traería consigo por encima o por debajo de los valores promedios en las

estaciones utilizadas. El diagrama del centro muestra los valores de cada modo con respecto al tiempo (Fallas & Alfaro, 2012).

Para la evaluación de los modelos se utilizan los índices que se explican brevemente a continuación (IRI):

Índice de correlación de Pearson: Describe la intensidad de la asociación lineal entre los pronósticos y las observaciones, mientras más cercano a 1, mejor es la correlación lineal.

Índice de correlación de Spearman: Describe la intensidad de la asociación monótonica entre los pronósticos y las observaciones.

Índice de acierto: Define el porcentaje de veces que la categoría de pronóstico corresponde con la categoría observada.

Error lineal en el espacio de las probabilidades (LEPS, por sus siglas en inglés): Define un índice mediante una tabla de conteo, que da diferentes valores para los aciertos en función de la categoría observada y con las probabilidades previas de la categoría. Este indicador de calidad penaliza más los errores de acierto por dos o más categorías.

## 4 Resultados

En ambos casos se mostrarán los valores de las medidas de validación para cada modelo ingresado al programa. Cabe recalcar que estas medidas se hacen entre los pronósticos de precipitación en base a la TSM y la precipitación observada en las regiones de estudio.

### 4.1 Estudios diagnósticos

El modelo 1 es aquel en donde la variable predictora es la TSM en la región Niño 1+2, y en el modelo 2, es la TSM en la región Niño 3.4.

El índice de correlación de Pearson es mayor en la costa para el modelo 1 (Figura 39), llegando a alcanzar valores cercanos a 0.70, y mostrando así una correlación lineal de mediana a moderadamente alta; mientras que para la sierra las correlaciones se mantienen de bajas a mediamente positivas y negativas, a excepción de tres estaciones, El Espinal, Puchaca y Sinsicap.

El segundo modelo muestra mejores resultados para prácticamente todas las estaciones de la sierra, llegando a alcanzar valores de 0.50 (Figura 40). En la costa, las correlaciones son moderadamente positivas, pero con valores inferiores a los obtenidos en el modelo 1.

El índice de acierto en el modelo 1, se mantiene en el rango de 30% a 50% en prácticamente todas las estaciones analizadas, con valores ligeramente mayores en la costa a comparación de la sierra. El caso contrario se puede observar en el modelo 2, en donde se obtienen mejores resultados para la sierra, con valores que llegan a 60% en la estación Callancas.

Las medidas de validación han evidenciado un comportamiento diferente en base a la ubicación de la TSM en el Pacífico ecuatorial.

Figura 39: Medidas de validación de modelo 1 (Región Niño 1+2)

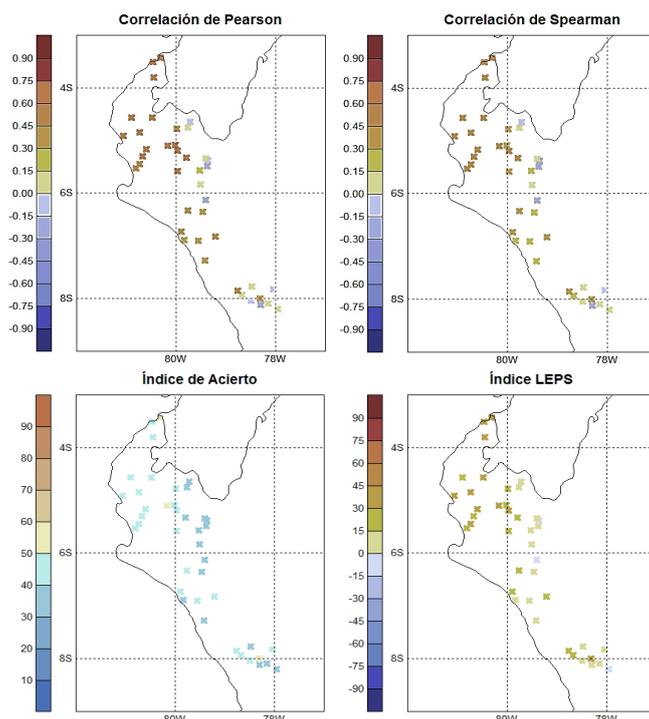
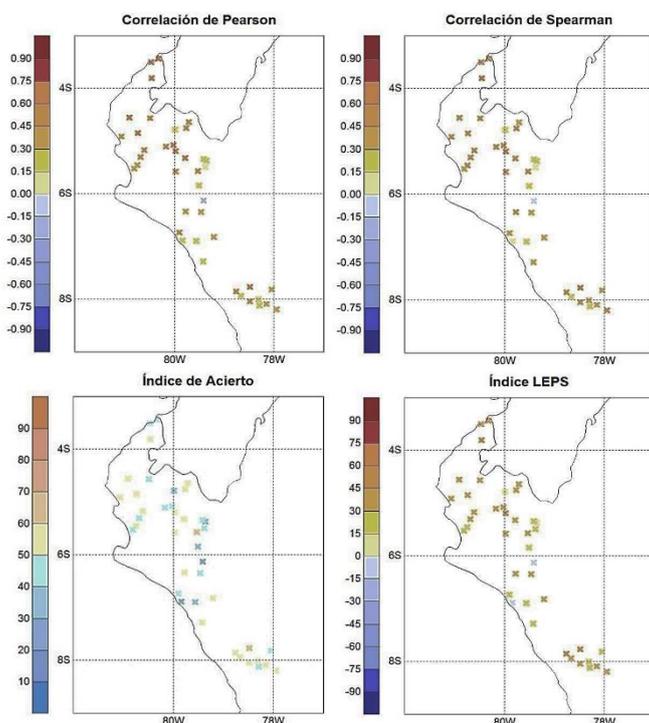


Figura 40: Medidas de validación de modelo 2 (Región Niño 3.4)



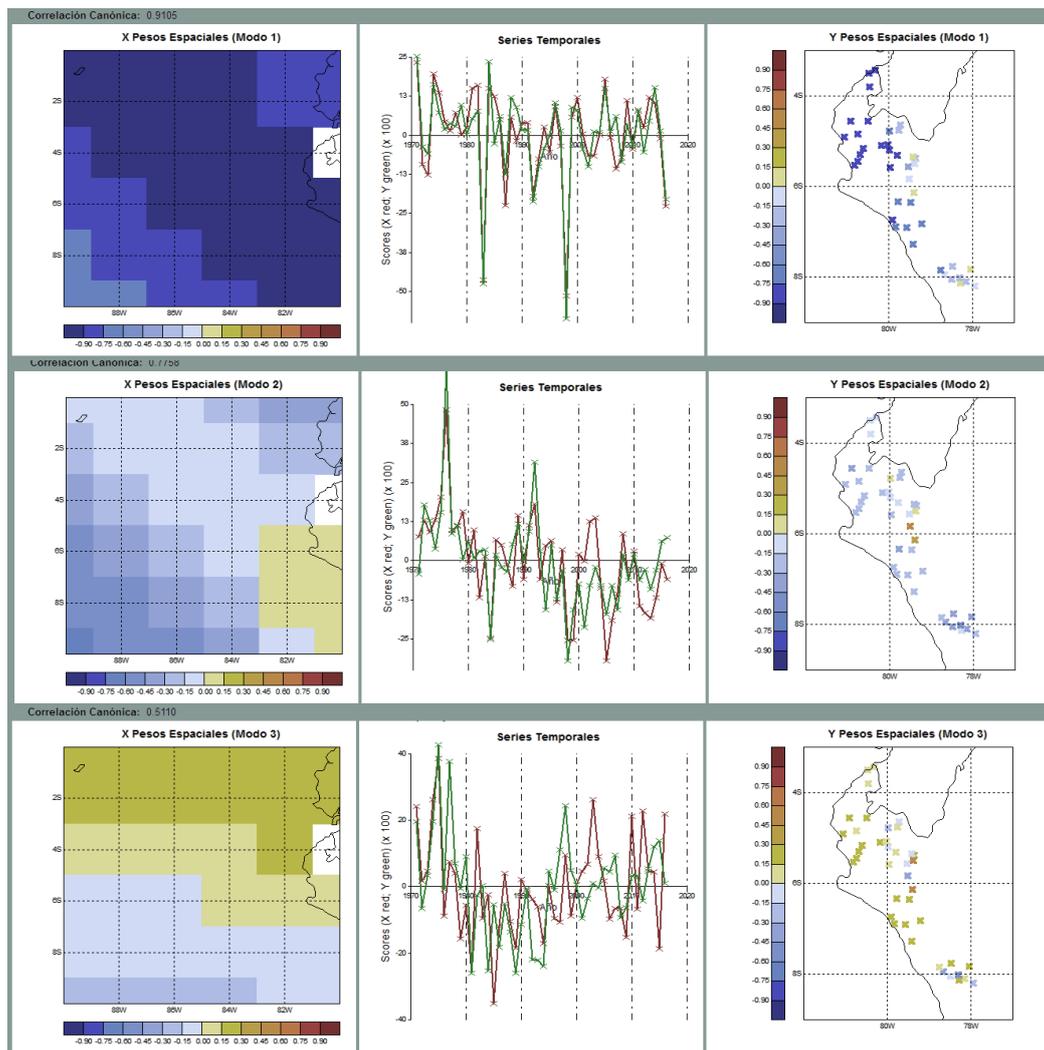
Con respecto a los modos canónicos, el análisis para el modelo 1 solo seleccionó 3 modos canónicos o escenarios, de los 8 iniciales, pues los demás muestran un valor de correlación canónica inferior a 0.50 (Figura 41).

El modo 1 muestra que para la región Niño 1+2, bajo condiciones La Niña Costera (Pacífico ecuatorial oriental frío), las lluvias son inferiores a los valores normales sobre prácticamente todas las regiones estudiadas, aunque con mayor notoriedad en la costa.

El modo 2 muestra que bajo condiciones normales, es decir, con valores ligeramente por encima o por debajo de lo normal en el Pacífico ecuatorial oriental, la precipitación observada en las regiones estudiadas mantendría un comportamiento normal, oscilando ligeramente por debajo y encima de lo normal.

El modo 3 indica que para un Pacífico cálido (indicios de un evento El Niño Costero) se observarían lluvias normales y ligeramente por encima en las regiones estudiadas.

**Figura 41: TSM y precipitación modelada para los modos canónicos o escenarios del modelo 1 (Región Niño 1+2)**



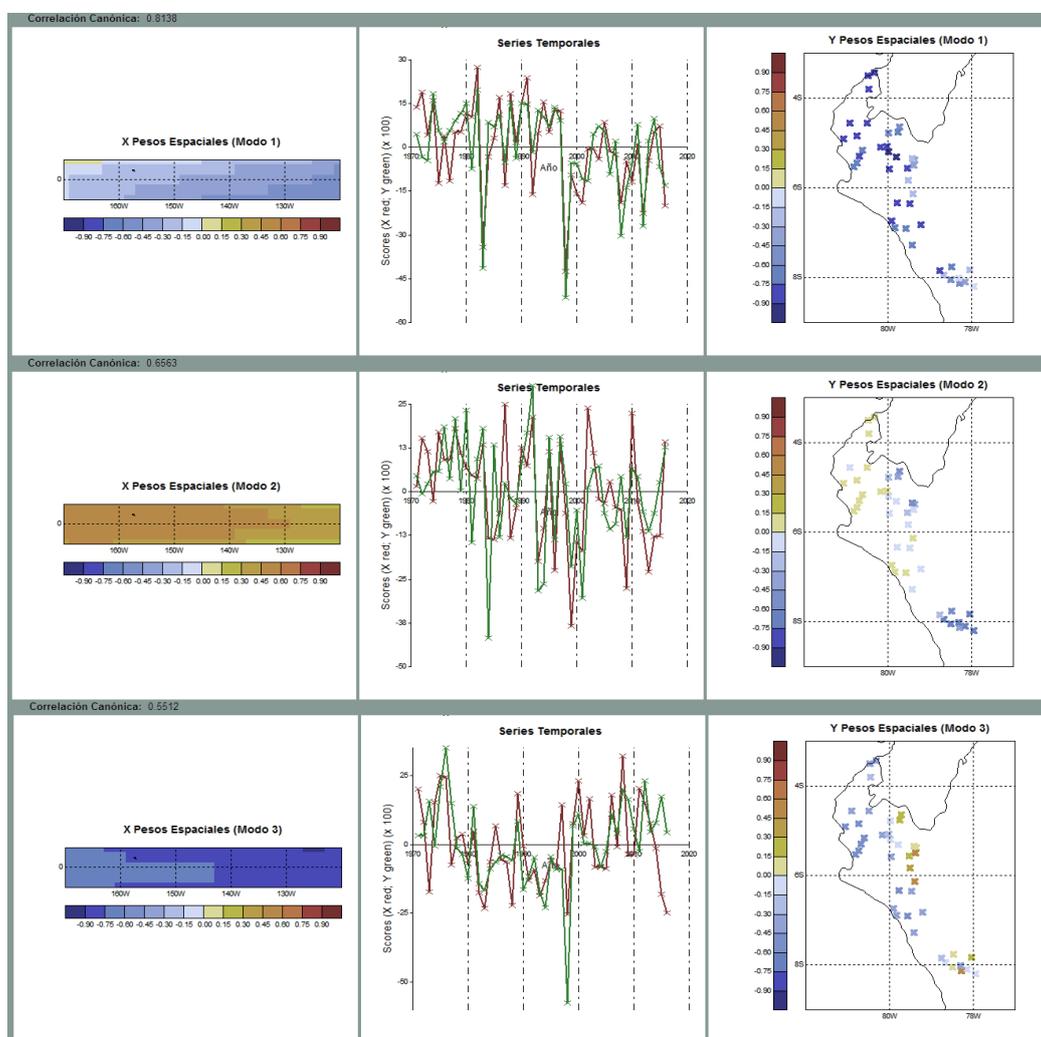
Asimismo, para el modelo 2, el análisis solo retuvo 3 modos canónicos pues los demás muestran un valor de correlación canónica inferior a 0.50 (Figura 42).

El modo 1 muestra que para la región Niño 3.4, bajo condiciones normales, es decir, con valores ligeramente por encima o por debajo de lo normal en el Pacífico ecuatorial central, la precipitación observada en las regiones estudiadas tendría valores por debajo de lo normal en prácticamente todas las regiones, principalmente en la costa.

El modo 2 indica que para un Pacífico cálido (evento El Niño) se observarían lluvias normales y ligeramente por encima en prácticamente toda la costa.

El modo 3 muestra que, bajo condiciones La Niña (Pacífico ecuatorial frío), las lluvias son inferiores a los valores normales sobre prácticamente todas las estaciones, exceptuando solo algunas en la sierra.

**Figura 42: TSM y precipitación modelada para los modos canónicos o escenarios del modelo 1 (Región Niño 3.4)**



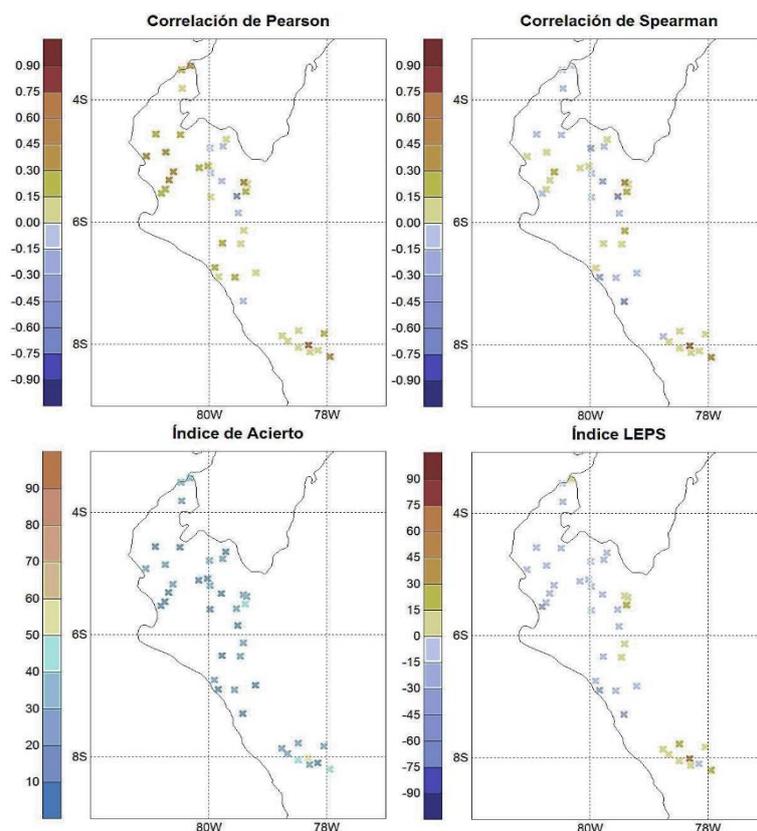
En ambos modelos, las series temporales muestran que para años donde ha ocurrido un FEN muy fuerte, 1982-83 y 1997-98, los pronósticos (líneas verdes) fueron valores inferiores a los observados realmente (líneas rojas).

#### 4.2 Modelos predictivos

El modelo 3 es aquel en donde la variable predictora es la TSM en la región Niño 1+2 y para el modelo 4 es la TSM en la región Niño 3.4.

El modelo 3 muestra correlaciones lineales, medianas a moderadas positivamente, en prácticamente todas las estaciones de la costa (Figura 43). Los valores obtenidos son similares a los del modelo 4 (Figura 44), aunque estos últimos son un poco mayores, mientras que, la diferencia sí se hace notoria en la mayoría de estaciones de la sierra de las cuatro regiones estudiadas.

**Figura 43: Medidas de validación del modelo 3 (Región Niño 1+2)**

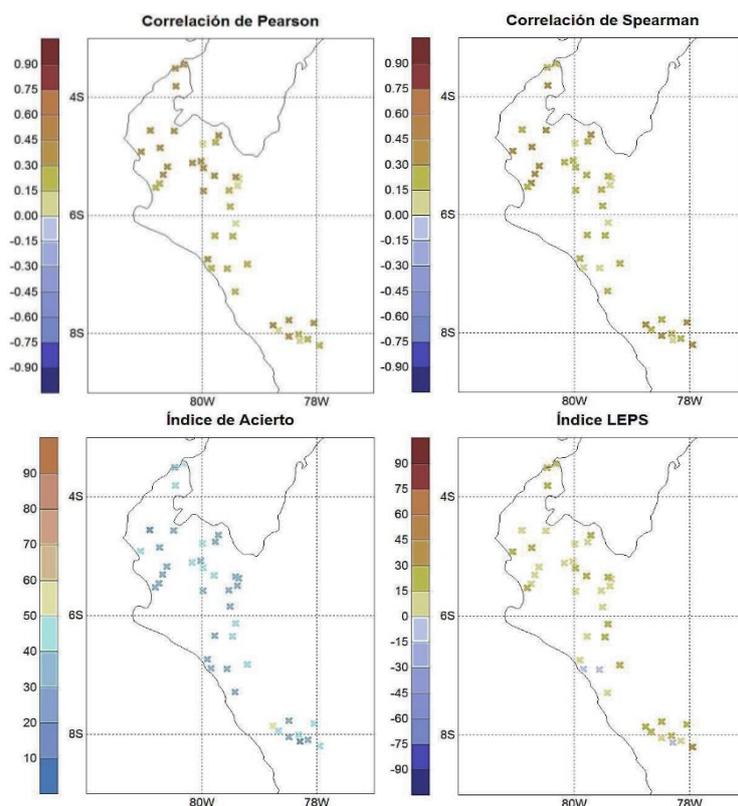


Este comportamiento se mantiene en los valores obtenidos por las cuatro medidas de validación, observándose que los índices de acierto se acercan a 50% en la mayoría de estaciones.

Para el año 2016, el modelo 3 pronosticó lluvias ligeramente por encima de los valores reales observados en prácticamente todas las estaciones analizadas. Mientras que, en el modelo 4 se puede observar que se pronosticaron lluvias muy por encima de lo normal.

El 2016, fue pronosticado en sus inicios, por entidades internacionales y nacionales, como un FEN de moderado a fuerte. Esto, debido a que la TSM en la región Niño 3.4 sí evidenciaba un aumento de la TSM. Sin embargo, para Perú, la zona de interés en el monitoreo del fenómeno El Niño es la Región 1+2, debido a la ubicación de la misma. En esta zona, el pico más alto en las anomalías de la TSM fue de +2.87, llegando a descender rápidamente, valor que no llegaba a acercarse a los observados en los eventos extraordinarios, que presentaron picos de +4.62 en El Niño 82-83 y +4.15 en El Niño 97-98.

Figura 44: Medidas de validación del modelo 4 (Región Niño 3.4)



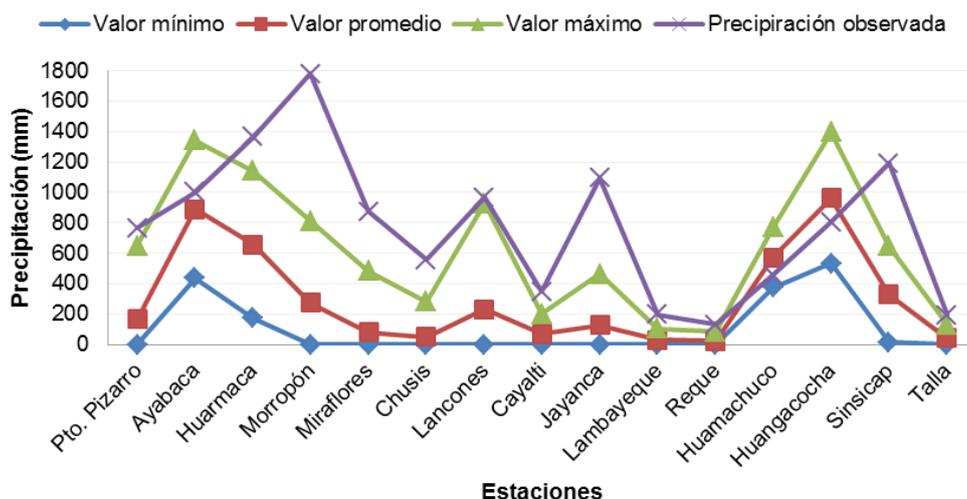
Por lo expuesto anteriormente, para el análisis del mejor pronóstico para el trimestre EFM de 2017, se tomará el modelo 3, en donde la variable predictora es la TSM observada en la región Niño 1+2, debido al comportamiento que se presentó el año 2016.

CPT, en cada modelo emite un rango de valores mínimos y máximos de precipitación acumulada, al igual que un valor promedio. Estos se obtienen por medio del Análisis de Correlación Canónica entre las variables, predictora y predictante, que fueron ingresadas al modelo, y guardan relación con el comportamiento explicado en los modos canónicos ante las variaciones de la TSM.

En la Figura 45, se muestra que la precipitación acumulada observada en el trimestre EFM de 2017, llega a superar los valores emitidos por los modelos en la mayoría de estaciones, aunque en algunas sí se mantiene por debajo de los valores máximos establecidos.

La diferencia se explica pues los modelos predictivos toman la TSM en el trimestre OND, y en el 2017, el aumento brusco en las temperaturas en la región Niño 1+2, y más aún, cerca de las costas de Perú, se dio a finales del mes de enero.

**Figura 45: Precipitación acumulada para el trimestre EFM 2017**



## 5 Conclusiones

Al realizar los estudios diagnósticos se encontró una tendencia con respecto al comportamiento de precipitaciones en base a la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial. Los estudios mostraron que en la costa la precipitación pronosticada por la TSM observada en la región Niño 1+2 se asemeja a la observada. Mientras que, en la sierra la mejor correlación la obtuvo la precipitación obtenida por la TSM de la región Niño 3.4. En ambos casos se obtiene una correlación para las precipitaciones en la región, que pueden verse influenciada por otros parámetros atmosféricos, tales como vientos, presiones, presencia de la zona de convergencia intertropical, entre otros.

Los modos canónicos del modelo 1 representan óptimamente el comportamiento de las regiones ante las variaciones de la TSM en el Pacífico ecuatorial oriental. Los modos muestran que bajo condiciones de El Niño (La Niña), es decir un Pacífico muy cálido (frío) se producirán lluvias por encima (por debajo) de lo normal en prácticamente todas las regiones estudiadas, principalmente en la costa.

Se sabe que, en Perú el desarrollo de un FEN, y más aún de un Niño Costero, se ve influenciado por el calentamiento anómalo de la TSM en la región Niño 1+2, cerca de la costa peruana. Esto se vio apoyado desde los modos canónicos de los modelos analizados en los estudios diagnósticos hasta en los modelos predictivos. Pues es uno de los dos modelos que presenta los valores más altos con respecto a las medidas de validación. Por ello, para predicciones climáticas estacionales, sería bueno tener en cuenta la TSM en la región Niño 1+2 durante el trimestre OND.

En adición al modelo numérico utilizado por SENAMHI, modelo regional ETA, sería conveniente analizar los resultados de modelos estadísticos. Estos modelos pueden crearse o utilizarse por medio de herramientas, como es el caso de CPT. Una de las ventajas del manejo de la herramienta estadística CPT, es que permite un acceso fácil a la data de parámetros oceánico-atmosféricos para todo el mundo; pudiendo seleccionarlos por regiones y periodos determinados. Además, no requiere de un equipo altamente potente para procesar los modelos que se ingresen.

## Referencias Bibliográficas

ENFEN. (2012-2017). Comunicados Oficiales ENFEN. Recuperado el 17 de marzo, de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0812>

Fallas, B. y Alfaro, E. J. (2012). Uso de herramientas estadísticas para la predicción estacional del campo de precipitación en América Central como apoyo a los Foros Climáticos Regionales. 2: Análisis de Correlación Canónica. Revista de Climatología, 12, 93-105.

Google Earth. Google Earth. Recuperado el 28 de junio de 2017, de <https://earth.google.com/>

IRI. The Climate Predictability Tool. Recuperado el 15 de enero de 2017, de <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>

MONGABAY. (2017). Lluvias e inundaciones en la Costa de Perú: Científicos explican las causas. Recuperado el 28 de febrero de 2017, de <https://es.mongabay.com/2017/02/peru-lluvias-inundaciones-mar/>

Science and Development Network. (2015). Herramienta de predicción climática muestra su eficacia. Recuperado el 15 de enero de 2017, de <http://www.scidev.net/america-latina/cambio-climatico/noticias/herramienta-de-prediccion-climatica-muestra-su-eficacia.html>

SENAMHI. Datos Históricos. Perú. Recuperado el 18 de enero de 2017, de [http://www.senamhi.gob.pe/main\\_mapa.php?t=dHi](http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi)

SENAMHI. Red de Estaciones Hidrometeorológicas - Data histórica. Perú. Recuperado el 20 de enero de 2017, de <http://www.peruclima.pe/?p=data-historica>.

Tesén K. (2017). Evaluación y mejora de pronósticos El Niño con la herramienta estadística CPT para la región Piura (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Perú.