

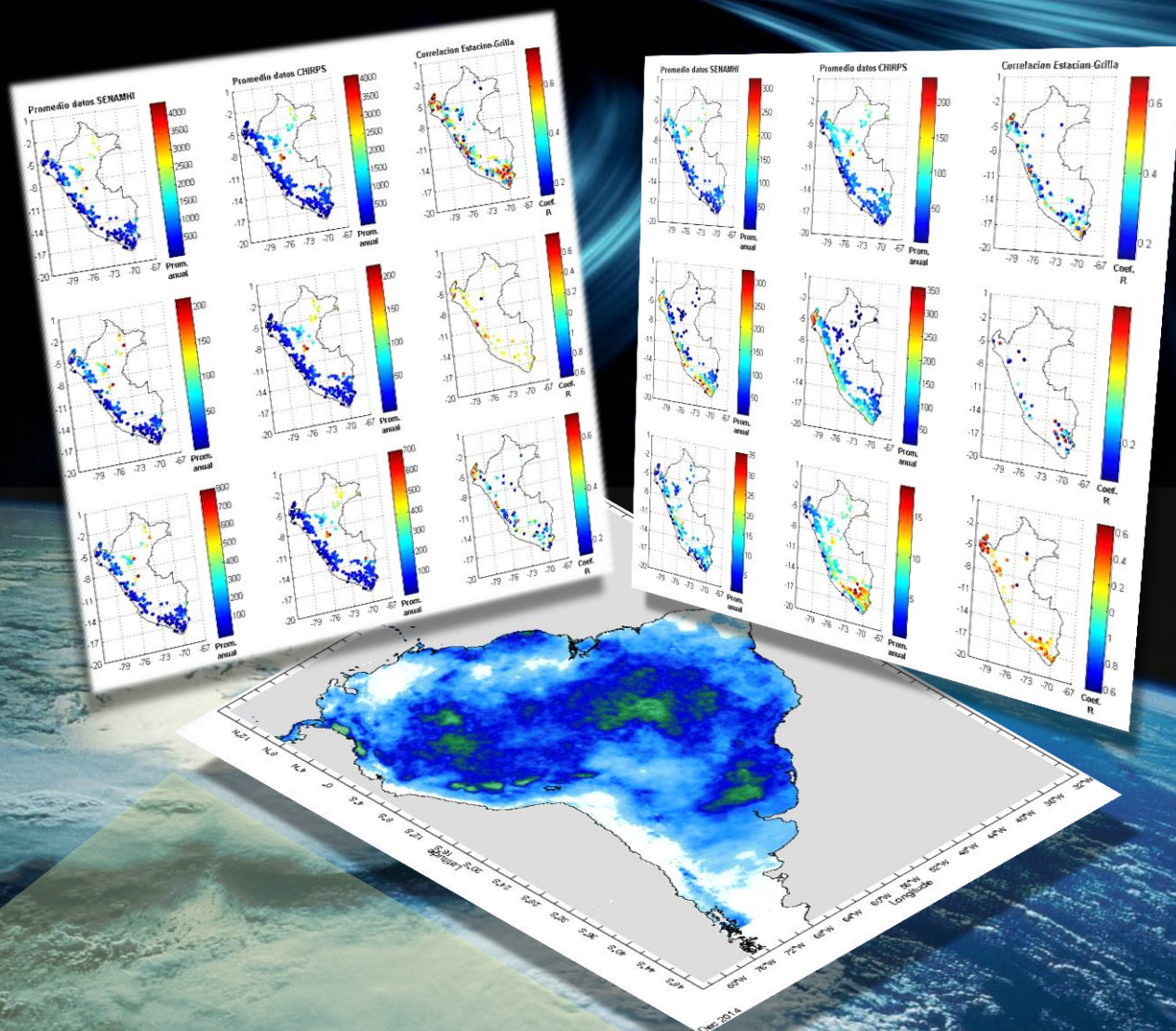


PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI

VALIDACIÓN DE DATOS CHIRPS DE PRECIPITACIÓN PARA MONITOREO DE PERIODOS SECOS Y HÚMEDOS EN EL PERÚ





PERSONAL DIRECTIVO

Ing. Amelia Díaz Pabló
Presidente Ejecutivo del SENAMHI

Ing. Esequiel Villegas Paredes
Director Científico del SENAMHI

Ing. Oscar G. Felipe Obando
Director de Hidrología y Recursos Hídricos del SENAMHI

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

REVISOR DEL ESTUDIO

PhD. Waldo Lavado Casimiro
Director de Hidrología Aplicada del SENAMHI

RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Ing. Raúl Túpac Yupanqui Vélez
Especialista en Hidrología del SENAMHI

Lima-Perú
Noviembre 2015

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	3
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
I. ASPECTOS GENERALES	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 ANTECEDENTES.....	8
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.4 OBJETIVOS.....	9
II. ZONA DE ESTUDIO	9
2.1 RELIEVE	10
2.2 HIDROGRAFÍA.....	11
2.3 CLIMA	11
III. DATOS UTILIZADOS	12
3.1 REGISTROS DE PRECIPITACIÓN OBSERVADA	12
3.1 ANÁLISIS DE ESTACIONES CLIMÁTICAS EN TIERRA	14
3.2 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA GENERADA POR SENSORAMIENTO REMOTO	24
IV. METODOLOGÍA.....	25
4.1 DEFINICIÓN DE LOS ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN	25
V. RESULTADOS	28
VI. CONCLUSIONES.....	32
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa físico del Perú	10
Figura 3.1: Mapa del Perú con las direcciones regional administradas por el SENAMHI	13
Figura 3.2: Mapa del Perú con la ubicación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI y su distribución en el territorio peruano.....	24
Figura 3.3: Esquema conceptual de la generación de datos CHIRPS	25
Figura 4.1: Esquema conceptual de la metodología seguida en el presente trabajo...	27
Figura 5.1: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) PRCTOT, b) P95 y c) P99.....	28
Figura 5.2: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) SDII, b) R20MM y c) R10MM	29
Figura 5.3: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) R20MMTOT, b) R10MMTOT y c) RX1D.....	30
Figura 5.4: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) RX5D, b) CDD y c) CDW	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1: Distribución de las DRE por departamentos del Perú.....	13
Tabla 3.2: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-1	15
Tabla 3.3: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-2	16
Tabla 3.4: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-3	16
Tabla 3.5: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-4	17
Tabla 3.6: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-5	18
Tabla 3.7: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-6	19
Tabla 3.8: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-7	20
Tabla 3.9: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-8	21
Tabla 3.10: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-9	21
Tabla 3.11: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-10.....	22
Tabla 3.12: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-11.....	22
Tabla 3.13: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-12.....	22
Tabla 3.14: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-13.....	23
Tabla 4.1: Índices extremos de precipitación calculados en la presente investigación	26

RESUMEN

Este estudio evalúa la performance de los datos de precipitación diaria estimada por sensoramiento remoto, el producto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), en capturar el comportamiento de los periodos secos y húmedos en el Perú durante el periodo 1983 – 2014. Diferentes índices de precipitación extrema distribuidas en tres categorías: percentiles, umbrales absolutos e índices máximos, son analizados y comparados con los mismos índices extremos de precipitación obtenidos utilizando los datos de precipitación diaria registrados por el Servicio de Hidrología y Meteorología del Perú (SENAMHI-PERU).

Los resultados mostraron que el producto CHIRPS a escala diaria y 0.05° de resolución espacial logró una mejor performance con los índices extremos obtenidos utilizando los datos registrados en tierra en la captura de los patrones de comportamiento de la precipitación extrema, particularmente en la costa norte del Perú, sectores de la costa del pacifico central y el altiplano peruano. Se observó que los índices extremos obtenidos con precipitación diaria registrados por el SENAMHI tienden a sobrestimar los índices extremos obtenidos mediante los datos del CHIRPS, sin embargo los resultados determinaron que el producto CHIRPS si logra detectar los eventos extremos producidos en la costa norte del Perú la cual es una zona afectada por el Fenómeno de El Niño, pero falla en detectar eventos de precipitaciones mínimas.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of a newly developed daily precipitation climate data record, called Climate Hazard Group Infrared Precipitation with Station (CHIRPS), in capturing the behavior of daily extreme precipitation events (including the monitoring of dry and wet periods) in Peru during the period of 1983-2014. Different extreme precipitation indices, in three categories of percentile, absolute threshold, and maximum indices, are studied and compared with the same extreme precipitation indices obtained using daily precipitation data (ground-gauge based) recorded by the Servicio de Hidrología y Meteorología del Perú (SENAMHI-PERU).

The result shows that CHIRPS at daily scale and 0.05° spatial resolution achieved a better performance with the extreme indices using the ground-gauge data (SENAMHI data) in capturing the behavior of daily extreme precipitation events, particularly on the north coast, Pacific central coast and the Peruvian plate. It was noted that extreme indices obtained with SENAMHI data tend to overestimate the extreme indices obtained by CHIRPS data, however, the result determined that the CHIRPS does managed to detect extreme events produced on the north coast of Peru which is affected by the ENSO. But fails to detect minimal rainfall events.

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

La precipitación es el principal componente del ciclo hidrológico y elemento primario de entrada para modelos climáticos e hidrometeorológicos. Más aun, la precisión de las cantidades de precipitación a una suficiente resolución espacial y temporal es un prerequisite para un amplio rango de aplicaciones de los modelamientos climáticos globales (Dai et al., 2006, Sorooshian et al., 2011) así como climatologías locales y predicción de inundaciones.

Durante la última década, diversos grupos de investigación se han enfocado en el desarrollo de la tecnología de sensores de satélites y su exploración con el fin de obtener en tiempo real una estimación de lluvia a escala global. Recientes avances especialmente en la evaluación cuantitativa de patrones de lluvia, resolución de los sensores y frecuencia de muestreo, abren nuevos horizontes en aplicaciones hidrológicas a escala global. Está claro la utilidad de estas mediciones, tanto para los modelos meteorológicos de circulación global como para la modelización hidrológica en escalas menores, como sería el caso de regiones poco o nada instrumentadas y con ello fortalecer la capacidad de gestión de los recursos hídricos, mejorar la predicción meteorológica y de desastres naturales y ofrecer rigor científico que ayude a la toma decisiones fundamentadas.

Desde el año 1999 la "U.S. Geological Survey" (USGS) en conjunto con la universidad de California en Santa Bárbara (UCSB) y con el apoyo de la "U.S. Agency International Development (USAID), "National Aeronautics and Space Administration" (NASA) y la "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA), han estado desarrollando técnicas para la generación de datos de precipitación grillados en regiones donde no hay estos registros. Las primeras investigaciones se centraron en la combinación de modelos de mejora de la precipitación inducida por el terreno con datos de la estación interpolados. Esta data sirvió para un número de objetivos de alerta temprana. Las reciente, la USGS y la UCSB combinaron nuevas fuentes de observaciones de satélites, datos de precipitación media de estaciones y modelos de predictores de precipitación basadas en elevaciones, latitud y longitud para generar altas resoluciones (0.05° , aproximadamente 5 km) globales de precipitación mensual media creadas por el "Climate Hazard Precipitation Climatology" (CHPClim) (Funk et al., 2012). Luego se realizó un procesamiento adicional para mezclar observaciones de estaciones climáticas con estas estimaciones de la lluvia por satélite para generar una serie continua desde el año 1981 hasta el presente denominada "Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations" (CHIRPS) con resolución temporal diaria y escala espacial de 0.05° y 0.25° a nivel mundial.

Es por ello que el producto CHIRPS (0.05° y 0.25° de resolución espacial y escala diaria), proporciona la oportunidad de estudiar el comportamiento de los patrones globales de la precipitación extrema sobre las últimas tres décadas. Sin embargo, un paso importante es determinar la eficacia de estos conjuntos de datos para diversas

aplicaciones mediante la prueba y comparación con los datos de precipitación observadas (disponibles) en tierra. Esto requiere pruebas de independencia y comparación con observaciones disponibles en tierra sobre un determinado periodo de tiempo. El objetivo primario del presente estudio es evaluar la eficacia del producto CHIRPS en capturar el comportamiento de los eventos de precipitación extrema en el Perú incluyendo los periodos secos y húmedos.

1.2 Antecedentes

Históricamente, los datos de precipitación están basados en observaciones en tierra mediante estaciones meteorológicas las cuales han servido como al fuente principal de mediciones de precipitación para varias aplicaciones hidrológicas, hidrometeoros lógicos y climatológicos. Sin embargo en muchas regiones del mundo la red de estaciones meteorológicas o pluviométricas es escasos o insuficientes para captar la variabilidad espacial y temporal de los sistemas de precipitación. En muchos casos estas redes de medición son inexistentes, limitando la información climática lo cual limita la capacidad para realizar investigaciones hidroclimatológicas y el uso d modelos hidrológicos físicos y estadísticos para la gestión de los recursos hídricos.

Con el propósito de obtener una significativa distribución espacial y temporal de la variabilidad de la precipitación, se requiere un vasto conjunto de datos para estimar los valores asociados a los eventos extremos. Tradicionalmente, estos datos son proporcionados por redes "in situ" de estaciones de monitoreo climático los cuales tienen elevados costos de mantenimiento sobretodo en grandes áreas de difícil acceso como las zonas alto andinas y selva amazónica.

En la actualidad, se tiene un gran conjunto de productos estándar que son una mezcla de mediciones a partir de sensores instalados en satélites con observaciones de precipitación en tierra que ofrecen estimaciones de precipitación más detalladas y con resolución espacial y temporal, por ejemplo, se tiene al GCP (Schneider et al. 2010), CMORPH (Joyce et al, 2004) y PERSIANN (Sorooshian et al. 2000).

En el presente estudio se propone utilizar la base de datos CHIRPS cuya resolución espacial es de 0.05° y a escala diaria, cuyas características de resolución espacio-temporal lo convierten en una poderosa herramienta para el análisis de las lluvias en el Perú.

1.3 Justificación

El Perú se caracteriza por su variabilidad climática lo cual repercute en sus épocas húmedas y secas. Ambos periodos son muy marcados y con influencia notable en la población, se tiene conocimiento de terribles inundaciones producto de eventos extremos como el ENSO pero también largas sequias las cuales han afectado y generado cuantiosas pérdidas en la población

Es por el por ello que el SENAMHI como ente encargado de la hidrología y meteorología del Perú se enfoca en el estudio de los periodos secos y húmedos, valiéndose de su amplia red de estaciones metodológicas distribuidas en todo el Perú.

Sin embargo esta red no llega a todos los rincones del país lo cual genera deficiencias en el estudio de fenómenos climáticos y de la hidrología

Una alternativa viable para el monitoreo de las lluvias extremas en el Perú son los datos de satélites metodológicos o de percepción remota los cuales cubren todo el territorio nacional con resoluciones espaciales muy finas y a paso de tiempo ideal para realizar monitoreo de la lluvia.

La Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos (DGH) es el órgano de línea encargado de realizar estudios, investigaciones, proyectos y servicios en el área de la hidrología y recursos hídricos y sus aplicaciones en el país. Teniendo como una de sus funciones la de ejecutar la vigilancia y evaluación del recurso hídrico superficial, a fin de contribuir a la preservación y conservación del medio ambiente y al desarrollo de las actividades humanas.

Es en este contexto que el SENAMHI tienen como objetivo validar diversas fuentes satelitales con el fin de poder ser utilizadas en el estudio de la hidrología en el Perú, es por ello que se requiere analizar si los datos de la percepción remota realmente puede servir para el monitoreo de lluvias extremas en todo el territorio peruano y así poder tener una herramienta eficaz para la toma de decisiones frente a eventos de lluvias extremas tanto para las épocas húmedas como para la época seca.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluación del producto de estimación de precipitación diaria CHIRPS en monitorear las precipitaciones en las épocas húmedas y secas sobre el territorio peruano.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar y comparar los índices de percentil, umbrales absolutos y máximas entre información de lluvia diaria CHIRPS y los registros de precipitación diaria proporcionados por el SENAMHI.
- Evaluación del comportamiento de los eventos de precipitación extrema de los datos del CHIRPS y los registros del SENAMHI en diversas regiones del Perú.

II. ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en todo el territorio del Perú, el país se encuentra en la zona intertropical de Sudamérica comprendida entre la Línea del Ecuador y el Trópico de Capricornio. Cubre un área de 1 285 215 km², lo que lo convierte en el vigésimo país más grande en tamaño de la Tierra y el tercero de América del Sur. Limita al norte con Ecuador y Colombia, al este con Brasil, al sureste con Bolivia, al sur con Chile y al oeste con el océano Pacífico. Posee una enorme multiplicidad de

paisajes debido a sus condiciones geográficas, lo que a su vez le da una gran diversidad de recursos naturales.

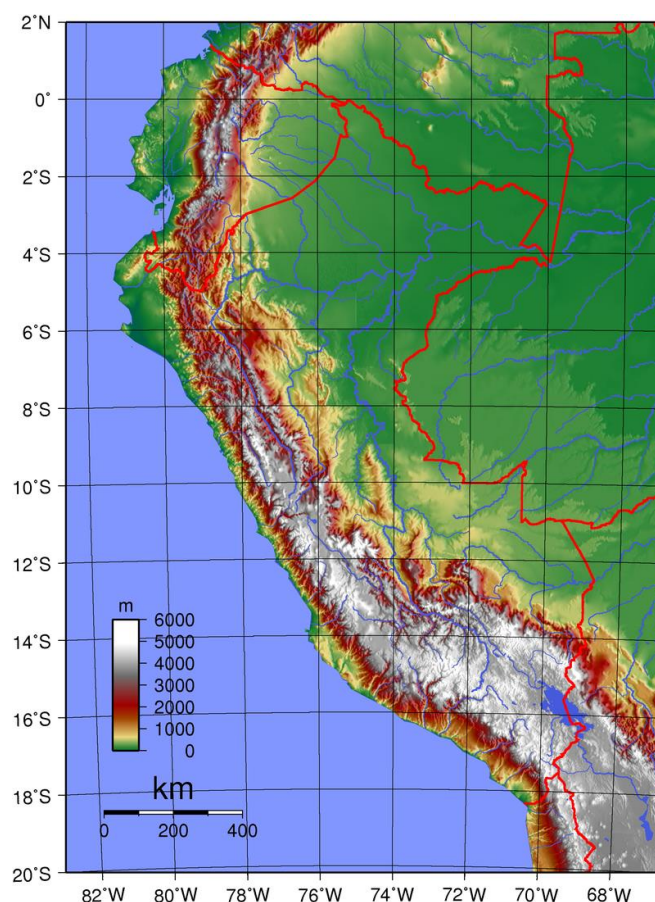


Figura 2.1: Mapa físico del Perú

Fuente: Elaboración propia

La zona de estudio, aguas arriba de la estación Chosica R-2, ha sido intervenida desde aproximadamente los años 60's, desde la construcción del Túnel Grathon hasta la implementación de los proyectos Marca I a Marca III, estos últimos se resumen en el Cuadro 2.1 y tienen como principal objetivo el de cubrir la creciente demanda de agua de la ciudad de Lima.

2.1 Relieve

La cordillera de los Andes (Figura 2.1) divide al país en tres regiones fisiográficas mayores: costa, sierra y selva. La costa peruana es una franja desértica y llana que corre paralela al litoral, su ancho alcanza un máximo de 180 km en el desierto de Sechura. Desde la latitud 6° S hasta la frontera con Chile se extiende el sector peruano del desierto del Pacífico el cual se encuentra atravesado por valles originados por ríos cortos de régimen estacional

La sierra está conformada por un sistema de cordilleras. Estas montañas corren alineadas en cadenas paralelas: tres en el norte, tres en el centro y dos en el sur. Los andes del norte confluyen con los del centro en el nudo de Pasco, mientras que los del centro confluyen con los del sur en el nudo de Vilcanota a la altura del Cuzco. Los

Andes del norte son más bajos y más húmedos que el promedio, en ellos se encuentra el abra de Porculla, que con 2145 msnm es el punto más bajo de la cordillera andina. Los andes del centro son los más altos y empinados, es aquí donde se encuentra el pico más alto del país, el nevado Huascarán, con 6768 msnm. Los andes del sur son de mayor espesor que los del norte y centro. En este sector se encuentra la meseta del Collao, también conocido como altiplano.

La selva, ubicada hacia el este, es una vasta región llana cubierta por vegetación. Constituye casi el 60% de la superficie del país. Se aprecian dos regiones distintas: selva alta y selva baja. La selva alta se ubica en todo el flanco oriental de los andes. Su altura varía entre los 3500 y 800 msnm. Abarca desde la zona fronteriza septentrional hasta el extremo sur del país. El relieve de esta zona es variado, al ser la salida de las fuertes pendientes los andes y el ingreso a la región plana y natural de la selva.

La cuenca del río Rímac limita al Norte con la cuenca del río Chillón, al Sur con la cuenca de los ríos Mala y Lurín, por el Este con la cuenca del río Mantaro y por el Oeste con el océano Pacífico.

La selva baja o bosque tropical amazónico se ubica entre los 800 y los 80 msnm, en esta zona se encuentran los ríos más extensos y navegables como es el caso del Amazonas, que pasa por la ciudad de Iquitos. La forma del relieve es llana y destaca la presencia de la cordillera de Contamana, ubicada en la margen izquierda del río Yavarí. Su punto más alto alcanza los 780 msnm.

2.2 Hidrografía

El país cuenta con cincuenta y cuatro cuencas hidrográficas, cincuenta y dos de las cuales son pequeñas cuencas costeras que vierten sus aguas al océano Pacífico. Las otras dos son la cuenca del Amazonas, que desemboca en el océano Atlántico, y la cuenca endorreica del lago Titicaca, ambas delimitadas por la cordillera de los Andes. En la segunda de estas cuencas nace también el río Amazonas que, con sus 6872 km, es el río más largo y caudaloso del mundo.¹⁴² Su vertiente ocupa el 75 % del territorio peruano.

El Perú contiene el 4 % del agua dulce del planeta.¹⁴³ La mayoría de ríos peruanos drenan desde los Andes y hacia una de las tres vertientes hidrográficas del país. Los procedentes de los Andes que desembocan en el océano Pacífico son de corto recorrido, torrentosos y de régimen variable según la intensidad de las lluvias que se producen en la sierra.

2.3 Clima

A diferencia de otros países ecuatoriales, el Perú no presenta un clima exclusivamente tropical; la influencia de los Andes y la corriente de Humboldt conceden una gran diversidad climática al territorio peruano.¹⁴⁶ La costa central y sur del país presentan un clima subtropical árido o desértico, con una temperatura promedio de 18 °C y precipitaciones anuales de 150 mm, por acción del mar frío de Humboldt. En cambio,

la costa norte posee un clima árido tropical, debido al mar tropical, con una temperatura promedio por encima de los 24 °C y lluvias durante el verano.¹⁴⁷ Cuando hay ocurrencia del fenómeno de El Niño, la temperatura promedio de toda la costa se eleva (con máximas mayores a 30 °C) y las lluvias se incrementan de manera significativa en la costa norte y central.

En la sierra se observan los siguientes climas: clima templado sub-húmedo, en áreas entre los 1000 y los 3000 msnm, con temperaturas alrededor de los 20 °C y precipitaciones entre los 500 y 1200 mm al año; clima frío entre los 3000 y 4000 msnm, con temperaturas anuales promedio de 12 °C y heladas durante el invierno; clima frígido o de puna, en áreas entre los 4000 y 5000 msnm, con una temperatura promedio de 6 °C y precipitaciones anuales de 700 mm; y clima de nieve o gélido en zonas por encima de los 5000 msnm, con temperaturas debajo de los 0 °C y nevadas.¹⁴⁸ En la selva hay dos tipos de clima: clima semitropical muy húmedo en la selva alta, con precipitaciones mayores a los 2000 mm al año y temperaturas promedio alrededor de los 22 °C; y el clima tropical húmedo en la selva baja, con precipitaciones que oscilan los 2000 mm al año y temperaturas promedio de 27 °C.

III. DATOS UTILIZADOS

3.1 Registros de precipitación observada

En el presente trabajo se utilizaron las estaciones pluviométricas distribuidas a nivel nacional, los registros comprenden de datos de precipitación diaria la cual ha sido medida a las 7:00 y 19:00 horas, toda la información pluviométrica fue proporcionada por el SENAMHI.

La distribución de las estaciones pluviométricas está a cargo del SENAMHI, la cual se desarrolla en direcciones regionales, cada una de ellas posee un conjunto de estaciones pluviométricas pertenecientes a zonas de similares condiciones climáticas y geográficas. En total se tienen 13 direcciones regionales (DRE).

Las direcciones regionales (Ver Figura 3.1 y Tabla 3.1) trabajan en la vigilancia integral del tiempo, clima y agua a nivel regional, la misma que permite proporcionar información oportuna y confiable a las autoridades regionales y locales sobre la eminente presencia de fenómenos atmosféricos brindando información climática y alerta temprana; que permitirá aminorar los efectos negativos de los riesgos naturales y contribuir al desarrollo sostenible regional y local.



Figura 3.1: Mapa del Perú con las direcciones regional administradas por el SENAMHI
Fuente: Elaboración SENAMHI

Tabla 3.1: Distribución de las DRE por departamentos del Perú

Dirección regional	Departamento	Dirección regional	Departamento
DRE-1	Piura	DRE-7	Moquegua
	Tumbes		Tacna
DRE-2	Amazonas	DRE-8	Loreto
	Cajamarca	DRE-9	San Martín
DRE-3	La libertad	DRE-10	Huánuco
	Cajamarca		Ucayali
DRE-4	Ancash	DRE-11	Junín
	Lima		Huancavelica
DRE-5	Ayacucho	DRE-12	Pasco
	Huancavelica		Cuzco
	Ica		Apurímac
DRE-6	Arequipa	DRE-13	Puno

3.1 Análisis de estaciones climáticas en tierra

Los datos de precipitación diaria están sujetos a errores e inconsistencias por lo que su uso directo sin evaluar su estructura, consistencia, presencia de valores atípicos, entre otros, constituye un enfoque de caja negra que incrementa el grado de incertidumbre sobre la validez de los resultados obtenidos ya sea para diversos fines como la modelación y/o comparaciones como es el caso de esta investigación.

El Análisis Exploratorio de Datos (AED) surge de los trabajos realizados por Turkey (PHI-UNESCO, 2003), desde entonces su uso se ha venido incrementando, ya que se ha comprobado que el examen previo de los datos es un paso necesario. Este análisis toma su tiempo, y habitualmente se descuida por parte de los analistas de datos. Muchas veces las tareas implícitas en dicho examen pueden parecer insignificantes y sin consecuencias a primera vista, pero son una parte esencial de cualquier análisis estadístico. Cuando el objetivo es hacer predicción, la geoestadística opera básicamente en dos etapas. La primera es el análisis estructural, en la cual se describe la correlación entre puntos en el espacio.

Aplicación del AED

El primer paso del AED es hacer accesible los datos a cualquier técnica estadística, para ello se incorporan de acuerdo a las opciones disponibles del programa estadístico utilizados, se efectúa la entrada de datos y su codificación (Salvador Figueras y Gargallo, 2003).

Una vez organizados los datos se procede a las siguientes etapas:

- Cuantitativo o numérico: se refiere al conjunto de procedimientos estadísticos que producen un resultado numérico o tabular, son muy importantes y constituyen la corriente principal en términos del análisis clásico.
- Gráfico: constituye una gran colección de herramientas estadísticas que generalmente son referidas como técnicas gráficas, donde se incluye: gráficos de dispersión, histogramas, probabilidades, caja y bloques, etc.

En la práctica, para analizar los datos se utiliza una mezcla de ambos tipos de análisis.

Periodo de análisis

El periodo de análisis estará comprendido entre 1980 -2014, además como requisito fundamental para seleccionar una estación pluviométrica en la presente investigación será que sus datos registrados tengan por menos una longitud igual o mayor al 80% del periodo de análisis, es decir, que una estaciones pluviométrica con al menos 28 años de registros será seleccionada de manera parcial para luego aplicarse el AED, caso contrario (estaciones con registros menores a 28 años) será automáticamente descartadas de la presenta investigación.

Red de estaciones pluviométricas utilizadas

Las estaciones meteorológicas aceptadas para la presente investigación se presentan en los siguientes cuadros en función de las direcciones regionales correspondientes.

Tabla 3.2: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-1

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
000237	AYABACA	PIURA	79° 43'43	04° 38'38	2.740	1963-01	2014-12
152100	BERNAL	PIURA	80° 45'45	05° 29'29	20	1963-11	2014-12
000136	CAÑAVERAL	TUMBES	80° 39'39	03° 56'56	140	1974-09	2014-12
152112	CHALACO	PIURA	79° 49'48	05° 02'2	1.640	1963-11	2014-12
000255	CHULUCANAS	PIURA	80° 10'10	05° 06'6	90	1972-01	2014-12
000231	CHUSIS	PIURA	80° 50'50	05° 31'31	14	1963-11	2014-12
000135	EL SALTO	TUMBES	80° 19'19	03° 26'26	3	1968-05	2014-12
151100	EL TIGRE	TUMBES	80° 27'1	03° 46'1	40	1963-09	2014-10
152111	HACIENDA BIGOTE	PIURA	79° 47'47	05° 20'20	480	1963-12	2014-10
000239	HUANCABAMBA	PIURA	79° 33'1	05° 15'1	1.950	1951-08	2014-12
000248	HUARMACA	PIURA	79° 31'31	05° 34'34	2.240	1963-10	2014-12
000230	LA ESPERANZA	PIURA	81° 04'4	04° 55'55	30	1966-07	2014-12
152103	LANCONES	PIURA	80° 29'29	04° 34'34	135	1963-09	2014-12
000208	MALLARES	PIURA	80° 44'44	04° 51'51	45	1961-01	2014-12
000207	MIRAFLORES	PIURA	80° 37'37	05° 10'10	30	1971-04	2014-12
000235	MORROPON	PIURA	79° 59'1	05° 11'1	140	1963-10	2014-12
152101	PANANGA	PIURA	80° 53'53	04° 33'33	440	1963-11	2014-11
000134	PAPAYAL	TUMBES	80° 14'14	03° 34'34	50	1963-11	2014-09
000132	PUERTO PIZARRO	TUMBES	80° 27'26	03° 30'30	1	1963-09	2013-12
000130	RICA PLAYA	TUMBES	80° 27'27	03° 48'48	98	1963-11	2014-12
000247	SAN MIGUEL	PIURA	80° 41'41	06° 14'14	23	1973-01	2014-12
150001	SAN PEDRO	PIURA	80° 02'2	05° 05'5	320	1975-01	2014-12
000238	SAUSAL DE CULUCAN	PIURA	79° 46'46	04° 45'45	1.050	1963-01	2014-12
000240	TABACONAS	CAJAMARCA	79° 17'17	05° 19'19	1.790	1964-12	2014-12
152107	VIRREY	LAMBAYEQUE	79° 58'58	05° 34'33	275	1964-01	2014-12
105117	PORCULLA	PIURA	79° 22'0	05° 49'0	1.183	1980-01	2014-12

Tabla 3.3: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-2

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
105068	BAGUA CHICA	AMAZONAS	78° 32'32	05° 39'38	410	1966-09	2014-12
105046	MAGUNCHAL	AMAZONAS	78° 11'11	05° 53'53	680	1963-03	2014-09
100015	BAMBAMARCA	CAJAMARCA	78° 31'31	06° 40'39	2.450	1961-07	2014-12
106022	CHANCAY BAÑOS	CAJAMARCA	78° 52'52	06° 34'33	1.640	1987-02	2014-12
105065	CHONTALI	CAJAMARCA	79° 05'5	05° 38'37	1.627	1963-11	2014-12
106084	CHOTANO LAJAS	CAJAMARCA	78° 44'55	06° 33'36	2.163	1985-07	2014-09
106058	COCHABAMBA	CAJAMARCA	78° 53'53	06° 27'26	1.650	1963-10	2008-11
105057	EL LIMON	CAJAMARCA	79° 19'19	05° 55'55	1.080	1965-04	2014-09
106054	HUAMBOS	CAJAMARCA	78° 57'56	06° 27'27	2.250	1965-11	2014-09
105067	JAEN	CAJAMARCA	78° 46'46	05° 40'39	640	1949-09	2014-12
106053	LLAMA	CAJAMARCA	79° 07'7	06° 30'29	2.080	1967-09	2014-09
105025	SALLIQUE	CAJAMARCA	79° 19'1	05° 39'1	1.750	1963-09	2014-09
105058	SAN IGNACIO	CAJAMARCA	78° 59'58	05° 08'7	740	1946-01	2014-12
106056	SANTA CRUZ	CAJAMARCA	78° 56'55	06° 37'36	2.060	1963-10	2014-12
106068	UDIMA	CAJAMARCA	79° 05'4	06° 48'47	2.454	1963-10	2014-09
100136	TALLA (GUADALUPE)	LA LIBERTAD	79° 25'24	07° 16'16	125	1937-02	2014-12

Tabla 3.4: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-3

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
107028	AUGUSTO WEBERBAUER	CAJAMARCA	78° 29'29	07° 09'8	2.660	1933-10	2014-12
107054	CALLANCAS	LA LIBERTAD	78° 29'29	07° 46'46	1.490	1971-06	2014-12
107008	CAJABAMBA	CAJAMARCA	78° 03'2	07° 37'37	2.550	1963-10	2014-12
201207	CHILETE	CAJAMARCA	78° 51'1	07° 13'1	1.317	1969-04	2014-12
107052	CONTUMAZA	CAJAMARCA	78° 49'49	07° 21'21	2.520	1964-02	2014-12
107063	COSPAN	CAJAMARCA	78° 32'1	07° 26'1	2.450	1963-10	2014-12
107002	GRANJA PORCON	CAJAMARCA	78° 37'36	07° 02'2	3.180	1966-06	2014-12
107009	HUAMACHUCO	LA LIBERTAD	78° 03'3	07° 49'49	3.150	1964-07	2014-12
107092	Lag. HUANGACocha	LA LIBERTAD	78° 04'6	07° 56'14	3.780	1971-07	2014-12
108043	JULCAN	LA LIBERTAD	78° 29'28	08° 03'3	3.460	1963-09	2014-09
107055	LIVES	CAJAMARCA	79° 02'2	07° 05'5	1.850	1963-09	2014-09
106019	LLAPA	CAJAMARCA	78° 49'49	06° 59'59	3.030	1963-09	2014-12
107017	MAGDALENA	CAJAMARCA	78° 39'38	07° 15'15	1.260	1963-09	2014-12
108046	MOLLEPATA	LA LIBERTAD	77° 57'57	08° 11'10	2.580	1963-09	2014-12
107037	NAMORA	CAJAMARCA	78° 20'20	07° 12'12	2.760	1963-09	2014-12
108044	QUIRUVILCA	LA LIBERTAD	78° 19'19	08° 00'0	3.980	1965-08	2014-12
108042	SALPO	LA LIBERTAD	78° 37'1	08° 00'1	3.400	1963-09	2014-12
107057	SAN BENITO	CAJAMARCA	78° 55'54	07° 24'24	1.620	1963-09	2014-12
107005	SAN JUAN	CAJAMARCA	78° 29'28	07° 17'17	2.460	1964-01	2014-12
107059	SINSICAP	LA LIBERTAD	78° 45'45	07° 51'51	2.180	1963-09	2014-09
107006	SAN MARCOS	CAJAMARCA	78° 10'10	07° 19'19	2.290	1963-03	2014-12

Tabla 3.5: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-4

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
111004	ALCANTARILLA	LIMA	77° 33'1	11° 03'1	120	1967-01	2014-12
110042	AMBAR	LIMA	77° 17'1	10° 45'1	2.100	1980-01	2014-12
110057	ANDAJES	LIMA	76° 54'1	10° 47'1	3.950	1963-09	2014-12
112124	ANTIOQUIA	LIMA	76° 30'1	12° 05'1	1.839	1963-09	2014-12
111057	ARAHUAY	LIMA	76° 42'1	11° 37'1	2.800	1980-01	2014-12
111077	AUTISHA	LIMA	76° 36'41	11° 44'18.2	2.314	1980-02	2014-12
112128	AYAVIRI	LIMA	76° 08'1	12° 23'1	3.228	1963-09	2014-12
109014	BUENA VISTA	ANCASH	78° 12'1	09° 26'1	419	1964-08	2014-12
109046	CAJAMARQUILLA	ANCASH	77° 44'28.9	09° 37'59.74	3.028	1963-11	2014-12
111058	CANCHACALLA	LIMA	76° 31'53.9	11° 50'42.3	2.554	1987-09	2014-12
113006	CAÑETE	LIMA	76° 19'50.5	13° 04'30.2	158	1936-07	2010-07
111091	CARAMPOMA	LIMA	76° 30'56	11° 39'19.1	3.489	1965-03	2014-12
112133	CARANIA	LIMA	75° 52'20.7	12° 20'40.8	3.875	1963-09	2014-12
111070	CARHUACAYAN	JUNIN	76° 17'1	11° 12'1	4.150	1968-10	2014-12
109045	CHACCHAN	ANCASH	77° 46'32.1	09° 32'7.7	2.285	1963-09	2014-12
110039	CHAMANA	ANCASH	77° 33'32.2	10° 12'27.3	2.000	1980-09	2014-12
109019	CHAVIN	ANCASH	77° 10'31.9	09° 35'10.8	3.210	1986-01	2014-12
109049	COTAPARACO	ANCASH	77° 35'1	09° 59'1	3.008	1963-11	2010-11
111085	HUAMANTANGA	LIMA	76° 45'1	11° 30'1	3.392	1963-09	2014-07
112080	HUANCATA	LIMA	76° 13'1	12° 13'1	2.700	1980-01	2014-07
112134	HUANGASCAR	LIMA	75° 50'2.2	12° 53'55.8	2.533	1963-09	2014-12
111089	HUAROS	LIMA	76° 34'1	11° 24'1	3.585	1963-09	2014-07
111022	HUAYAN	LIMA	77° 07'1	11° 27'1	350	1963-08	2014-12
111088	LACHAQUI	LIMA	76° 37'1	11° 33'1	3.668	1963-09	2014-07
112082	LANGA	LIMA	76° 24'1	12° 06'1	2.860	1930-01	2014-07
111018	LOMAS DE LACHAY	LIMA	77° 22'1	11° 22'1	300	1930-08	2014-12
109038	MALVAS	ANCASH	77° 39'1	09° 56'1	3.500	1981-08	2014-12
111028	MARCAPOMACocha	JUNIN	76° 19'31.1	11° 24'17	4.479	1964-09	2014-12
111027	MATUCANA	LIMA	76° 22'41.8	11° 50'21.8	2.479	1964-02	2014-12
111144	MILLOC	LIMA	76° 21'1	11° 34'17.6	4.398	1986-01	2014-07
109039	MILPO	ANCASH	77° 14'1	09° 53'1	4.400	1980-07	2014-12
111023	ÑAÑA	LIMA	76° 50'20.8	11° 59'19.7	566	1964-01	2014-12
110051	OCROS	ANCASH	77° 24'1	10° 24'1	3.230	1965-01	2014-12
110020	OYON	LIMA	76° 46'1	10° 40'1	3.641	1963-09	2014-12
112058	PACARAN	LIMA	76° 03'18.3	12° 51'43.4	721	1964-01	2014-12
110056	PACCHO	LIMA	76° 56'1	10° 57'1	3.250	1965-03	2014-07
111083	PALLAC	LIMA	76° 48'1	11° 21'1	2.333	1963-08	2014-07
110053	PAMPA LIBRE	LIMA	76° 58'1	10° 52'1	1.800	1969-04	2014-12
111067	PARIACANCHA	LIMA	76° 30'1	11° 23'1	3.800	1968-09	2014-07
109040	PARIACOTO	ANCASH	77° 53'24.1	09° 33'34.8	2.000	1980-09	2014-12
110063	PARQUIN	LIMA	76° 43'1	10° 58'1	3.590	1965-03	2014-07
110021	PICOY	LIMA	76° 44'1	10° 55'1	2.990	1967-08	2014-12

109048	PIRA	ANCASH	77° 42'26.1	09° 34'60.7	3.570	1963-11	2014-07
111087	PIRCA	LIMA	76° 39'1	11° 14'1	3.255	1967-05	2014-07
109017	RECUAY	ANCASH	77° 27'14.5	09° 43'46.1	3.394	1964-02	2014-12
111061	RIO BLANCO	LIMA	76° 15'33	11° 44'5.3	3.550	1985-01	2014-12
111093	SAN JOSE DE PARAC	LIMA	76° 15'30.2	11° 48'2.9	3.866	1965-03	2014-12
112126	SAN LAZARO DE ESCOMARCA	LIMA	76° 21'1	12° 11'1	3.600	1963-10	2014-12
112081	SAN PEDRO DE PILAS	LIMA	76° 13'1	12° 27'1	2.600	1980-01	2014-07
111081	SANTA CRUZ	LIMA	76° 38'1	11° 12'1	3.700	1963-08	2014-07
111086	SANTA EULALIA	LIMA	76° 40'1.4	11° 55'5.9	982	1963-08	2014-07
111092	SANTIAGO DE TUNA	LIMA	76° 31'1	11° 59'1	2.921	1963-09	2014-07
108047	SIHUAS	ANCASH	77° 39'1	08° 34'1	2.716	1963-11	2014-12
112130	TANTA	LIMA	76° 01'1	12° 07'1	4.323	1963-10	2014-12
112135	VILCA	LIMA	75° 49'34.9	12° 06'53.8	3.864	1963-09	2014-12
111076	YANTAC	JUNIN	76° 24'1	11° 20'1	4.600	1968-12	2014-12
112096	YAURICOCHA	LIMA	75° 43'22.5	12° 18'60.3	4.675	1986-11	2014-12
112057	YAUYS	LIMA	75° 54'38.2	12° 29'31.4	2.327	1954-03	2014-12
112055	HUAROCHIRI	LIMA	76° 14'1	12° 08'1	3.154	1963-12	2014-12

Tabla 3.6: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-5

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
113091	CHOCLOCOCHA	HUANCAVELICA	75° 02'1	13° 06'1	4.406	1958-06	2014-12
100035	CORA CORA	AYACUCHO	73° 47'47	15° 01'1	3.172	2002-10	2014-11
114065	CORDOVA	HUANCAVELICA	75° 10'10	14° 02'2	3.170	1964-01	2014-11
113086	CUSICANCHA	HUANCAVELICA	75° 18'18	13° 29'29	3.550	1963-11	2014-12
113067	HUACHOS	HUANCAVELICA	75° 32'32	13° 13'13	2.850	1980-01	2014-12
114055	HUAC-HUAS	AYACUCHO	74° 56'56	14° 07'6	3.180	1980-01	2014-12
113010	HUAMANI	ICA	75° 35'35	13° 50'50	970	1963-10	2014-12
115076	LAMPA	AYACUCHO	73° 21'21	15° 11'11	2.880	1964-01	2014-11
114067	LLAUTA	AYACUCHO	74° 55'55	14° 14'14	2.740	1965-05	2014-11
114072	LUCANAS	AYACUCHO	74° 14'14	14° 37'37	3.340	1963-03	2014-12
114066	PAMPA BLANCA	ICA	75° 06'6	14° 14'14	1.025	1966-10	2014-12
115017	PAUZA	AYACUCHO	73° 21'21	15° 17'17	2.560	1963-12	2014-12
114023	PUQUIO	AYACUCHO	74° 08'8	14° 42'42	3.219	1962-11	2014-12
114008	SAN CAMILO	ICA	75° 43'43	14° 04'4	398	1954-06	2014-12
113082	SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	HUANCAVELICA	75° 38'38	13° 12'12	1.940	1965-09	2014-12
113081	SAN JUAN DE YANAC	ICA	75° 47'47	13° 13'13	2.540	1963-12	2014-12
113088	SANTIAGO DE CHOCORVOS	HUANCAVELICA	75° 15'15	13° 49'48	2.700	1963-08	2014-12
113087	TAMBO	HUANCAVELICA	75° 16'16	13° 41'41	3.275	1963-08	2014-12
113016	TUNEL CERO	HUANCAVELICA	75° 05'5	13° 15'15	4.475	1958-06	2014-12

Tabla 3.7: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-6

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
116014	APLAO	AREQUIPA	72° 29'26	16° 04'10	645	1963-12	2014-12
115088	AYO	AREQUIPA	72° 16'13	15° 40'45	1.956	1950-12	2014-12
115041	CABANACONDE	AREQUIPA	71° 58'7	15° 37'7	3.379	1950-12	2014-12
115018	CARAVELI	AREQUIPA	73° 21'42	15° 46'17	1.779	1963-10	2014-12
115078	CHICHAS	AREQUIPA	72° 54'60	15° 32'41	2.120	1963-12	2014-12
115025	CHIVAY	AREQUIPA	71° 35'49	15° 38'17	3.633	1964-10	2014-12
115089	CHOCO	AREQUIPA	72° 07'1	15° 34'1	2.473	1963-12	2014-12
115020	CHUQUIBAMBA	AREQUIPA	72° 38'55	15° 50'17	2.879	1962-12	2014-12
115019	COTAHUASI	AREQUIPA	72° 53'28	15° 22'29	2.683	1963-12	2014-12
116022	EL FRAYLE	AREQUIPA	71° 11'14	16° 05'5	4.060	1963-09	2014-12
115090	HUAMBO	AREQUIPA	72° 06'1	15° 44'1	3.332	1963-11	2014-12
115029	IMATA	AREQUIPA	71° 05'16	15° 50'12	4.519	1935-07	2014-12
115023	LA ANGOSTURA	AREQUIPA	71° 38'58	15° 10'47	4.150	1961-11	2014-12
116005	LA JOYA	AREQUIPA	71° 55'9	16° 35'33	1.292	1965-11	2014-12
116017	LA PAMPILLA	AREQUIPA	71° 31'6	16° 24'12.2	2.400	1931-02	2014-12
115129	MACHAHUAY	AREQUIPA	72° 30'8	15° 38'43	3.150	1963-11	2014-12
115086	ORCOPAMPA	AREQUIPA	72° 20'20	15° 15'39	3.779	1949-12	2014-12
116043	PAMPA DE ARRIEROS	AREQUIPA	71° 35'21	16° 03'48	3.715	1963-11	2014-12
116006	PAMPA DE MAJES	AREQUIPA	72° 12'39	16° 19'40	1.434	1949-10	2014-12
115126	PILLONES	AREQUIPA	71° 12'49	15° 58'44	4.455	1963-11	2014-12
115084	PULLHUAY (AYAHUASI)	AREQUIPA	72° 46'1	15° 09'1	3.455	1964-09	2014-12
116011	PUNTA ATICO	AREQUIPA	73° 41'40	16° 13'43	20	1954-05	2014-12
115024	SIBAYO	AREQUIPA	71° 27'11	15° 29'8	3.810	1946-10	2014-12
115100	SUMBAY	AREQUIPA	71° 22'1	15° 59'1	4.172	1963-11	2014-12
100142	UBINAS	MOQUEGUA	70° 51'24	16° 22'57	3.370	1964-10	2014-12
116020	CHIGUATA	AREQUIPA	71° 24'1	16° 24'1	2.900	1965-02	2014-12

Tabla 3.8: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-7

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
116014	APLAO	AREQUIPA	72° 29'26	16° 04'10	645	1963-12	2014-12
115088	AYO	AREQUIPA	72° 16'13	15° 40'45	1.956	1950-12	2014-12
115041	CABANACONDE	AREQUIPA	71° 58'7	15° 37'7	3.379	1950-12	2014-12
115018	CARAVELI	AREQUIPA	73° 21'42	15° 46'17	1.779	1963-10	2014-12
115078	CHICHAS	AREQUIPA	72° 54'60	15° 32'41	2.120	1963-12	2014-12
115025	CHIVAY	AREQUIPA	71° 35'49	15° 38'17	3.633	1964-10	2014-12
115089	CHOCO	AREQUIPA	72° 07'1	15° 34'1	2.473	1963-12	2014-12
115020	CHUQUIBAMBA	AREQUIPA	72° 38'55	15° 50'17	2.879	1962-12	2014-12
115019	COTAHUASI	AREQUIPA	72° 53'28	15° 22'29	2.683	1963-12	2014-12
116022	EL FRAYLE	AREQUIPA	71° 11'14	16° 05'5	4.060	1963-09	2014-12
115090	HUAMBO	AREQUIPA	72° 06'1	15° 44'1	3.332	1963-11	2014-12
115029	IMATA	AREQUIPA	71° 05'16	15° 50'12	4.519	1935-07	2014-12
115023	LA ANGOSTURA	AREQUIPA	71° 38'58	15° 10'47	4.150	1961-11	2014-12
116005	LA JOYA	AREQUIPA	71° 55'9	16° 35'33	1.292	1965-11	2014-12
116017	LA PAMPILLA	AREQUIPA	71° 31'6	16° 24'12.2	2.400	1931-02	2014-12
115129	MACHAHUAY	AREQUIPA	72° 30'8	15° 38'43	3.150	1963-11	2014-12
115086	ORCOPAMPA	AREQUIPA	72° 20'20	15° 15'39	3.779	1949-12	2014-12
116043	PAMPA DE ARRIEROS	AREQUIPA	71° 35'21	16° 03'48	3.715	1963-11	2014-12
116006	PAMPA DE MAJES	AREQUIPA	72° 12'39	16° 19'40	1.434	1949-10	2014-12
115126	PILLONES	AREQUIPA	71° 12'49	15° 58'44	4.455	1963-11	2014-12
115084	PULLHUAY (AYAHUASI)	AREQUIPA	72° 46'1	15° 09'1	3.455	1964-09	2014-12
116011	PUNTA ATICO	AREQUIPA	73° 41'40	16° 13'43	20	1954-05	2014-12
115024	SIBAYO	AREQUIPA	71° 27'11	15° 29'8	3.810	1946-10	2014-12
115100	SUMBAY	AREQUIPA	71° 22'1	15° 59'1	4.172	1963-11	2014-12
100142	UBINAS	MOQUEGUA	70° 51'24	16° 22'57	3.370	1964-10	2014-12
116020	CHIGUATA	AREQUIPA	71° 24'1	16° 24'1	2.900	1965-02	2014-12

Tabla 3.9: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-8

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
104067	BAGAZAN	LORETO	73° 38'1	04° 40'1	250	1964-01	2014-12
105090	BRETAÑA	LORETO	74° 21'1	05° 15'1	200	1963-12	2014-10
103031	CABALLOCOCHA	LORETO	70° 30'44	03° 54'42	107	1960-06	2014-12
100034	CONTAMANA	LORETO	75° 00'22	07° 21'9	185	1960-12	2008-11
103009	MANITI	LORETO	72° 52'1	03° 32'1	125	1984-12	2014-12
105095	REQUENA	LORETO	73° 50'9	05° 02'35	128	1960-03	2014-12
103052	SAN ROQUE	LORETO	73° 15'1	03° 45'1	123	1980-04	2014-12
102009	SANTA CLOTILDE	LORETO	73° 40'46.2	02° 29'15.9	150	1963-03	2014-12
103030	SANTA MARIA DE NANAY	LORETO	73° 40'1	03° 05'1	120	1963-11	2014-12
104065	SANTA RITA DE CASTILLA	LORETO	74° 22'1	04° 36'1	100	1963-04	2014-12
103049	TAMSHIYACU	LORETO	73° 09'39	04° 00'12	141	1971-01	2014-12

Tabla 3.10: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-9

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
100019	CAMPANILLA	SAN MARTIN	76° 40'40	07° 26'25	290	1963-09	2014-11
106094	CUÑUMBUQUE	SAN MARTIN	76° 30'30	06° 30'30	280	1963-08	2014-08
106040	EL PORVENIR	SAN MARTIN	76° 19'19	06° 35'35	230	1964-01	2014-12
106016	LAMAS	SAN MARTIN	76° 31'31	06° 25'25	790	1963-12	2014-12
106014	MOYOBAMBA	SAN MARTIN	76° 58'1	06° 00'1	860	1946-07	2014-12
105103	NARANJILLO	SAN MARTIN	77° 23'23	05° 49'48	890	1975-04	2014-12
106095	PICOTA	SAN MARTIN	76° 20'20	06° 56'56	200	1963-09	2014-08
106098	PILLUANA	SAN MARTIN	76° 16'15	06° 46'45	195	1963-08	2014-08
106110	PUCALLPA - HUIMBAYOC	SAN MARTIN	75° 50'49	06° 27'27	120	1967-11	2014-08
106013	RIOJA	SAN MARTIN	77° 10'10	06° 02'1	880	1959-07	2014-12
106096	SAN ANTONIO	SAN MARTIN	76° 25'25	06° 25'25	430	1963-08	2014-12
106091	SAN PABLO	SAN MARTIN	76° 34'34	06° 48'47	270	1967-11	2014-12
100128	SAN RAMON	LORETO	76° 05'5	05° 56'56	120	1969-05	2014-12
106032	SAPOSOA	SAN MARTIN	76° 46'46	06° 54'54	320	1967-01	2014-12
100132	SHANUSI	LORETO	76° 15'14	06° 04'4	160	1964-03	2014-08
106043	TABALOSOS	SAN MARTIN	76° 36'35	06° 24'23	480	1963-08	2014-12
100138	TARAPOTO	SAN MARTIN	76° 22'1	06° 28'1	282	1998-11	2014-12

Tabla 3.11: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-10

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
108028	AGUAYTIA	UCAYALI	75° 30'30	09° 02'2	270	1948-11	2014-12
108033	AUCAYACU	LORETO	75° 56'1	08° 36'1	560	1974-11	2014-12
109003	HUANUCO	HUANUCO	76° 14'13	09° 57'56	1.960	1947-03	2014-12
109022	JACAS CHICO	HUANUCO	76° 30'1	09° 53'1	3.538	1974-02	2014-12
108056	PUCALLPA	UCAYALI	74° 32'1	08° 22'1	154	1966-06	2014-12
110025	SAN RAFAEL	HUANUCO	76° 10'10	10° 19'18	2.800	1965-04	2014-12
109027	TINGO MARIA	HUANUCO	75° 59'59	09° 17'17	691	1940-01	2014-12
109028	TULUMAYO	HUANUCO	75° 54'1	09° 06'1	640	1965-05	2014-12

Tabla 3.12: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-11

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
112067	ACOBAMBA	HUANCAVELICA	74° 33'32	12° 51'51	3.236	1964-12	2014-12
112142	HUANCALPI	HUANCAVELICA	75° 14'14	12° 32'32	3.450	1965-01	2014-12
112061	HUANCAVELICA	HUANCAVELICA	75° 02'2	12° 46'45	3.860	1955-05	2014-12
112065	LIRCAY	HUANCAVELICA	74° 43'43	12° 58'57	3.300	1949-06	2014-12
112060	PILCHACA	HUANCAVELICA	75° 05'5	12° 24'23	3.880	1964-07	2014-12
100120	SALCABAMBA	HUANCAVELICA	74° 47'47	12° 11'10	3.280	1965-04	2014-12
113021	LA QUINUA	AYACUCHO	74° 08'7	13° 02'2	3.240	1964-09	2014-12
113096	SAN PEDRO DE CACHI	AYACUCHO	74° 21'20	13° 03'2	2.990	1965-04	2014-12
110007	YANAHUANCA	PASCO	76° 30'29	10° 29'29	3.140	1978-04	2014-12
112037	VIQUES	JUNIN	75° 14'14	12° 09'8	3.186	1963-01	2014-12
112056	HUAYAO	JUNIN	75° 20'20	12° 02'1	3.360	1931-03	2014-12
112028	SAN JUAN DE JARPA	JUNIN	75° 25'24	12° 07'7	3.600	1997-04	2014-12
111098	RUNATULLO	JUNIN	75° 03'1	11° 35'1	3.186	1966-09	2014-12
111097	INGENIO	JUNIN	75° 17'16	11° 52'51	3.390	1963-08	2014-12
111005	JAUIJA	JUNIN	75° 28'27	11° 46'45	3.370	1935-01	2014-12
112056	HUAYAO	JUNIN	75° 20'20	12° 02'1	3.360	1931-03	2014-12

Tabla 3.13: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-12

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
113038	ACOMAYO	CUSCO	71° 41'1	13° 55'1	3.160	1963-12	2014-12
113035	ANTA ANCACHURO	CUSCO	72° 12'57	13° 28'6	3.340	1964-06	2014-12
113041	CCATCCA	CUSCO	71° 33'37	13° 36'36	3.729	1964-01	2014-12
113029	CURAHUASI	APURIMAC	72° 44'6	13° 33'9	2.763	1963-12	2014-12
100044	GRANJA KCAYRA	CUSCO	71° 52'31	13° 33'25	3.219	1931-01	2014-12
114033	SICUANI	CUSCO	71° 14'14	14° 15'13	3.574	1957-09	2014-12

Tabla 3.14: Estaciones meteorológicas seleccionadas de la DRE-13

Código	Nombre	Departamento	Longitud	Latitud	Altitud	Año inicial	Años final
115035	ARAPA	PUNO	70° 07'7	15° 08'8	3.920	1963-12	2014-12
114038	AYAVIRI	PUNO	70° 35'34	14° 52'52	3.920	1964-01	2014-12
114041	AZANGARO	PUNO	70° 11'11	14° 54'53	3.863	1963-03	2014-12
115033	CABANILLAS	PUNO	70° 20'19	15° 38'38	3.890	1963-12	2014-12
100021	CAPACHICA	PUNO	69° 50'49	15° 36'35	3.850	1956-03	2014-12
117041	CAPAZO	PUNO	69° 44'44	17° 11'11	4.530	1963-09	2014-12
114035	CHUQUIBAMBILLA	PUNO	70° 43'42	14° 47'47	3.950	1931-01	2014-12
115053	COJATA	PUNO	69° 21'20	15° 01'0	4.380	1956-05	2014-12
114058	CRUCERO	PUNO	70° 01'1	14° 21'20	4.130	1957-02	2014-12
116060	DESAGUADERO	PUNO	69° 02'2	16° 34'34	3.860	1956-03	2014-12
115037	HUANCANE	PUNO	69° 45'45	15° 12'12	3.880	1963-11	2014-12
115038	HUARAYA MOHO	PUNO	69° 29'29	15° 23'23	3.890	1956-03	2014-12
100059	ICHUÑA	MOQUEGUA	70° 33'33	16° 07'6	3.910	1965-01	2014-12
116027	ILAVE	PUNO	69° 38'37	16° 05'5	3.850	1963-11	2014-12
115049	ISLA TAQUILE	PUNO	69° 41'41	15° 46'46	3.850	1956-04	2014-12
116061	JULI	PUNO	69° 27'26	16° 12'12	3.825	1956-03	2014-12
100081	LAMPA	PUNO	70° 22'22	15° 21'21	3.900	1963-03	2014-12
116033	LARAQUERI	PUNO	70° 04'4	16° 09'9	3.970	1956-03	2014-12
114049	LIMBANI	PUNO	69° 41'41	14° 07'6	3.010	1963-11	2014-12
116026	MAZO CRUZ	PUNO	69° 42'42	16° 44'44	3.970	1963-11	2014-12
114042	MUÑANI	PUNO	69° 57'57	14° 46'46	3.899	1964-01	2014-12
113044	OLLACHEA	PUNO	70° 29'28	13° 48'48	3.420	1963-04	2014-12
115027	PAMPAHUTA	PUNO	70° 40'39	15° 29'29	4.320	1961-11	2014-12
116029	PIZACOMA	PUNO	69° 22'22	16° 54'54	3.940	1963-12	2014-12
114040	PROGRESO	PUNO	70° 21'20	14° 41'41	3.965	1964-01	2014-12
115046	PUCARA	PUNO	70° 22'22	15° 02'1	3.910	1963-10	2014-12
100110	PUNO	PUNO	70° 01'1	15° 49'49	3.840	1964-02	2014-12
114093	PUTINA	PUNO	69° 52'4.9	14° 54'53.6	3.878	1956-05	2014-12
113077	SAN GABAN	PUNO	70° 24'24	13° 26'26	640	1965-01	2014-12
116030	TAHUACO - YUNGUYO	PUNO	69° 04'3	16° 18'18	3.860	1963-11	2014-12
114043	TAMBOPATA	PUNO	69° 09'8	14° 13'12	1.340	1964-01	2014-12
115047	TARACO	PUNO	69° 58'57	15° 18'18	3.820	1963-08	2014-12

En total se utilizaron 276 estaciones pluviométricas distribuidas en todo el territorio peruano

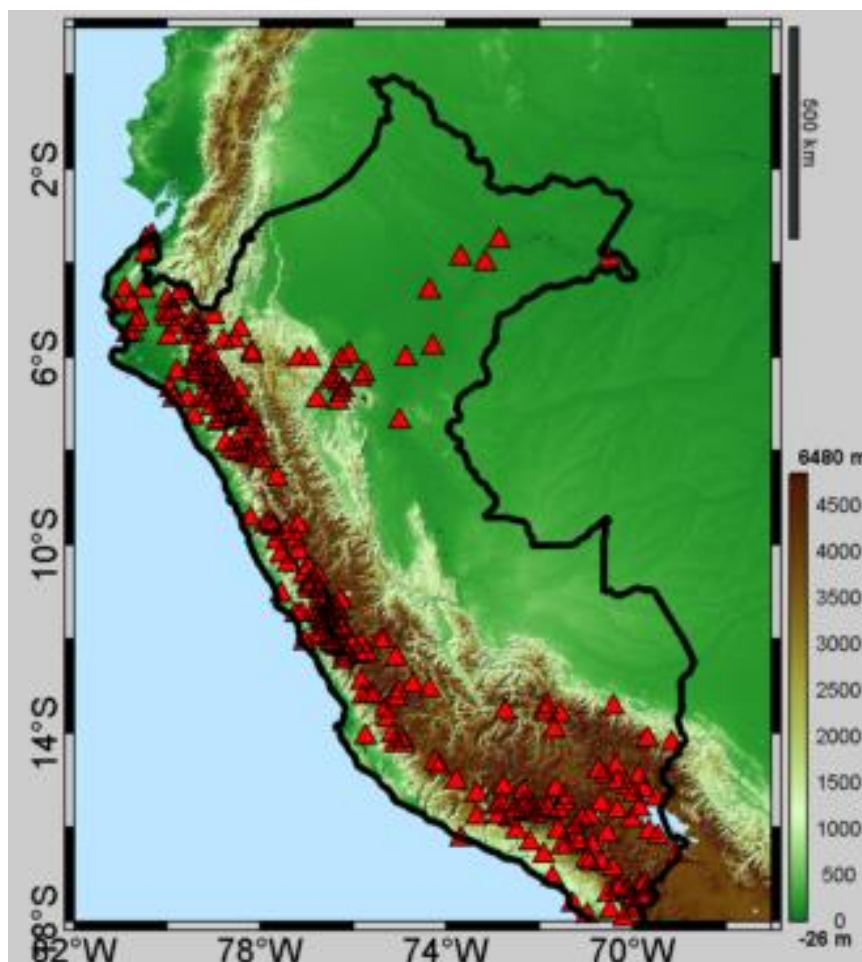


Figura 3.2: Mapa del Perú con la ubicación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI y su distribución en el territorio peruano
Fuente: Elaboración propia

3.2 Información pluviométrica generada por sensoramiento remoto

Los datos de precipitación del CHIRPS son generados principalmente de los datos de precipitación mensual de la CHPClim, observaciones en el infrarrojo de satélites geoestacionarios administrados por la NOAA, también datos de observaciones en infrarrojo del Centro Climático de Predicción (CPC) y del Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC) de los Estados Unidos, también incluyen observaciones realizadas por la "Tropical Rainfall Measuring Mission" (TRMM) el cual pertenece a la NASA, datos de modelos atmosféricos y precipitación generados por la NOAA y dato de precipitación observada obtenidos de una gran variedad de fuentes incluidas los servicios meteorológicos nacional y regionales. Los datos de precipitación del CHIRPS utilizados en el presente estudio tienen resolución espacial de 0.05° y 0.25° a escala de tiempo diaria (<ftp://chgftpout.geog.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>). Para el presente trabajo se utilizaron los datos CHIRPS a 0.05° de resolución espacial, a escala diaria y para el periodo comprendido entre 1983-2014.

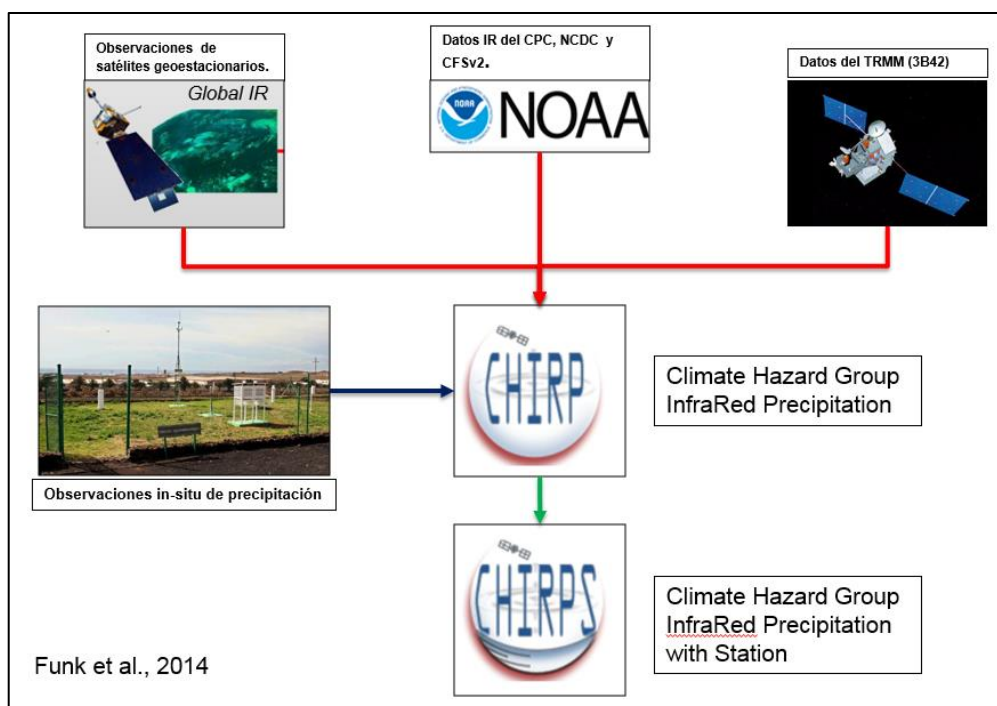


Figura 3.3: Esquema conceptual de la generación de datos CHIRPS

Fuente: Elaboración propia (imágenes extraídas de Funk et al., 2014)

IV. METODOLOGÍA

Se descargaron todos los datos de precipitación diaria del CHIRPS (<ftp://chg-ftpout.geog.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>) para grillas de 0.05° de resolución espacial, a escala diaria y para el periodo 1983-2014, luego mediante un código de programación se extrajeron los datos correspondientes al territorio peruano.

Como no todas las grillas del CHIRPS coinciden con la ubicación de las estaciones pluviométricas, solo se trabajaron con aquellas grillas que al menos contengan una estación pluviométrica.

Para evaluar la performance de los datos de precipitación CHIRPS en determinar el comportamiento de la precipitación extrema sobre el territorio peruano para las épocas húmedas y secas, se utilizaron once índices extremos de precipitación los cuales se dividieron en tres categorías. Estos índices extremos de precipitación se calcularon para los datos diarios de las estaciones seleccionadas del SENAMHI y para el conjunto de datos de precipitación CHIRPS, los cuales son evaluados y comparados para ambos conjuntos de datos.

4.1 Definición de los índices extremos de precipitación

En total se emplearon 11 índices extremos para el presente trabajo, de los cuales siete de estos índices (SDII, R20mm, R10mm, Rx1day, Rx1d, CWD y CDD, todos ellos descritos en la tabla 1) han sido definidos por el Equipo de Expertos de Detección e Índices del Cambio Climático (cuyas siglas en ingles son ETCCDI). El trabajo de este

equipo de expertos fue patrocinado y financiado conjuntamente por la Organización Mundial de Meteorología (OMM), la Junta Comitiva para la Oceanografía y Meteorología Marina (JCOMM), y el Programa Mundial de Investigación Climática (WCRP) sobre la Variabilidad del Clima y Predicción (CLIVAR). Además, se añadieron otros cuatro índices extremos de precipitación (P99, P95, R20mmTOT y el R10mmTOT). Las definiciones de estos once índices extremos de precipitación se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: índices extremos de precipitación calculados en la presente investigación

Categoría	ID	Definición	Unidad
Índice de percentiles	P99	El percentil 99 de la precipitación diaria para días húmedos (días con precipitación ≥ 1 mm)	mm/día
	P95	El percentil 95 de la precipitación diaria para días húmedos	mm/día
Índice de umbrales absolutos	SDII	Precipitación anual para días húmedos	mm/día
	R20mm	Número de días cuando la precipitación es ≥ 20 mm	día
	R10mm	Número de días cuando la precipitación es ≥ 10 mm	día
	R20mmTOT	Precipitación total anual cuando la precipitación diaria ≥ 20 mm	mm
	R10mmTOT	Precipitación total anual cuando la precipitación diaria ≥ 10 mm	mm
Índices máximos	Rx1d	Precipitación máxima anual para 1 día	mm
	Rx5d	Precipitación máxima anual para 5 días de precipitación consecutiva	mm
	CWD	Mayor número anual de días con precipitación diaria ≥ 1 mm	mm
	CDD	Mayor número anual de días con precipitación diaria ≤ 1 mm	mm

Fuente: Xu Miao et al., 2015

Una vez obtenido los índices extremos de precipitación para la época húmeda y seca (dependiendo de la naturaleza del índice extremo a calcular) para los datos de las estaciones pluviométricas en tierra y grillas del CHIRPS (que al menos contengan una estación pluviométrica) se realiza comparaciones en base a los criterios de correlación de Pearson con un nivel de significancia de 95%, además se comparan también las funciones de densidad de probabilidad para cada índice calculado y en base a los datos del SENAMHI y CHIRPS.

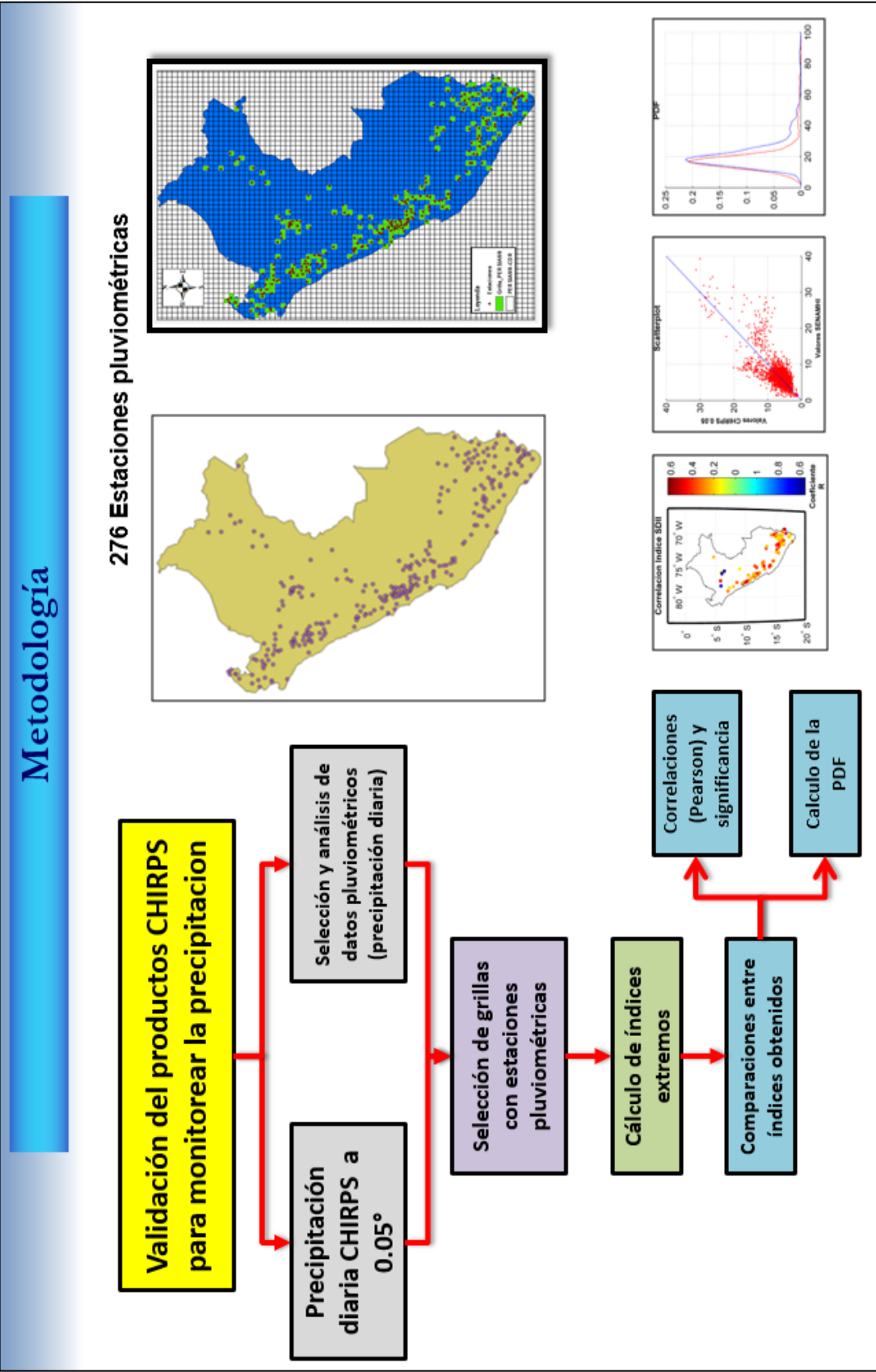


Figura 4.1: Esquema conceptual de la metodología seguida en el presente trabajo

V. RESULTADOS

Los resultados de las comparaciones de índices extremos de precipitaciones en épocas de húmedas y secas se muestran a continuación:

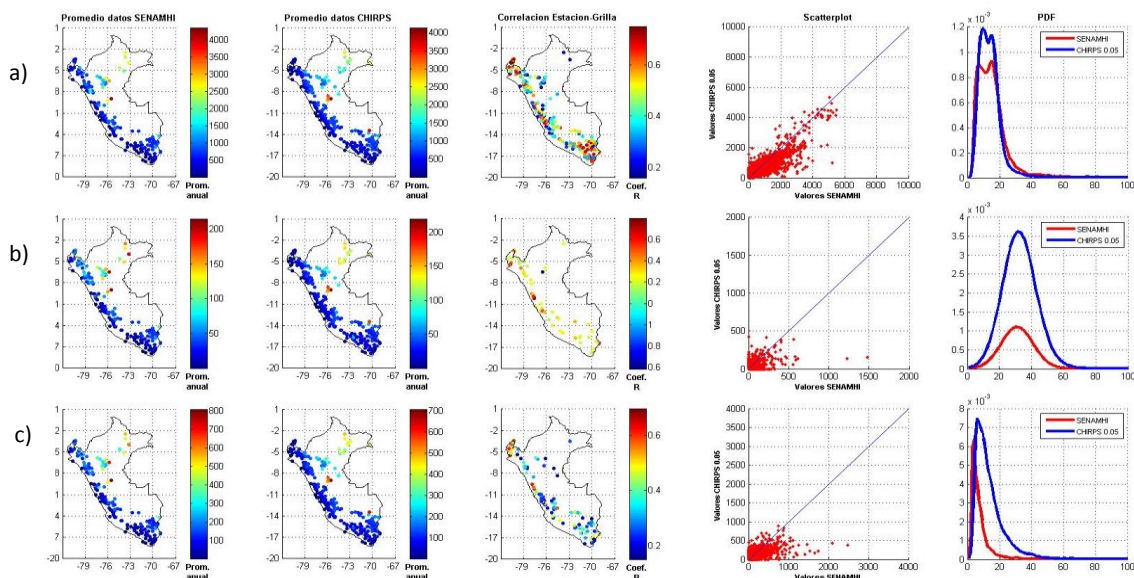


Figura 5.1: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) PRCTOT, b) P95 y c) P99.

En la Figura 5.1 se muestran las comparaciones correspondientes a los índices PRCTOT (lluvia total para días húmedos), P95 (percentil 95) y P99 (percentil 99) obtenidos con los datos de precipitación diaria del SENAMHI y datos de sensoramiento remoto CHIRPS, para mostrar la performance en la captura de estos índices se utilizó el coeficiente de correlación y sólo se muestran las estaciones cuyas correlaciones cumplieron con tener un 5% de significancia estadística o menor, también se incluye una gráfica mostrando la distribución de densidad de probabilidad (PDF), este esquema de resultados se repite para los demás índices restantes.

Se observa una buena performance con el índice PRCTOT que estrictamente no es un índice extremo sino un cuantificador de lluvia total anual sólo para días húmedos, es decir, se contabilizan la cantidad de lluvia para días con precipitación mayor a 1 mm para cada año del periodo 1983-2014, se muestra una buena performance entre este “índice”, se obtuvo un coeficiente de correlación R de 0.61 lo cual es bueno, además se obtuvieron 226 estaciones con significancia de 5% o menor y la forma del PDF son similares para los valores obtenidos con los datos SENAMHI y CHIRPS. Sin embargo no se obtuvieron buenos resultados para los índices de percentil (P95 y P99) ya que solo se obtuvieron coeficientes de correlación R de 0.15 y 0.28 respectivamente,

mientras que la cantidad de estaciones significantes fue de 55 y 109 estaciones respectivamente, además la forma de la PDF para los valores obtenidos con datos CHIRPS difiere mucho con la PDF obtenida con datos del SENAMHI

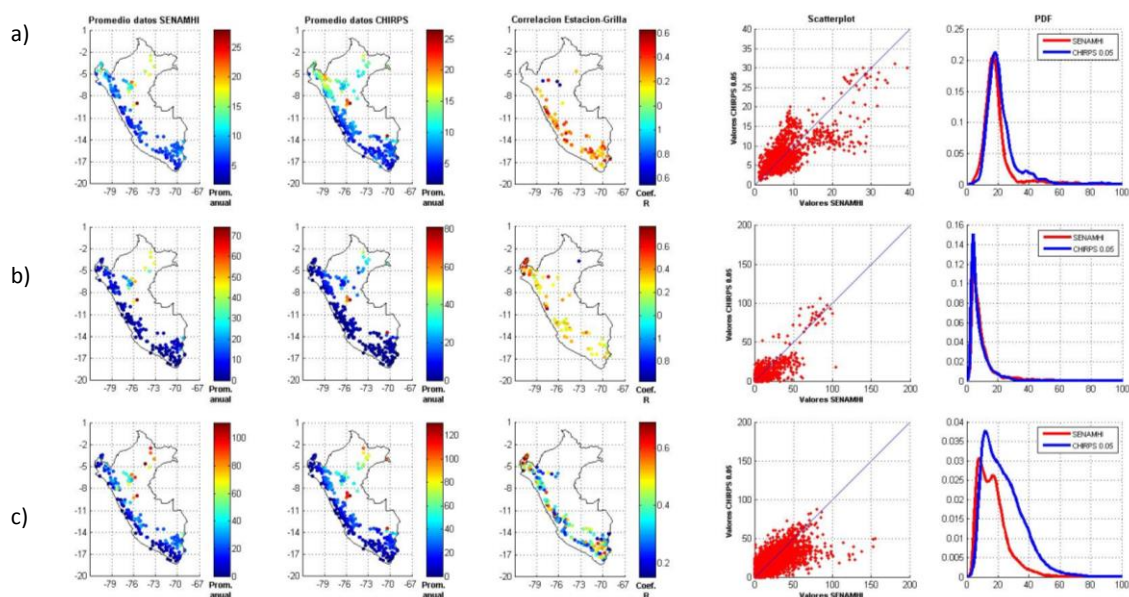


Figura 5.2: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS) y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) SDII, b) R20MM y c) R10MM

En la Figura 5.2 se observa que el índice SDII da buenos resultados, se obtuvo un coeficiente de correlación R de 0.58 y 84 estaciones significantes, aun así, la forma de la PDF para los valores del SDII con datos del SENAMHI y CHIRPS son casi iguales, además en la correlación grilla-estación se observa que la mayor cantidad de estaciones con altos coeficientes de correlación está ubicada en la zona del Pacífico central y parte de los Andes sur junto con el altiplano peruano, llama la atención la ausencia de estaciones en casi toda la costa peruana. Con relación a los índices R20MM y R10MM se obtuvieron coeficientes R de 0.57 y 0.58 respectivamente, 83 y 177 estaciones significantes, la forma de la PDF es muy similar para el índice R20MM, además se observa que, tanto para el R20MM y R10MM, un grupo de estaciones con altos coeficientes de correlación R en la zona de la costa Norte (cuencas del río Tumbes, Chira y Piura).

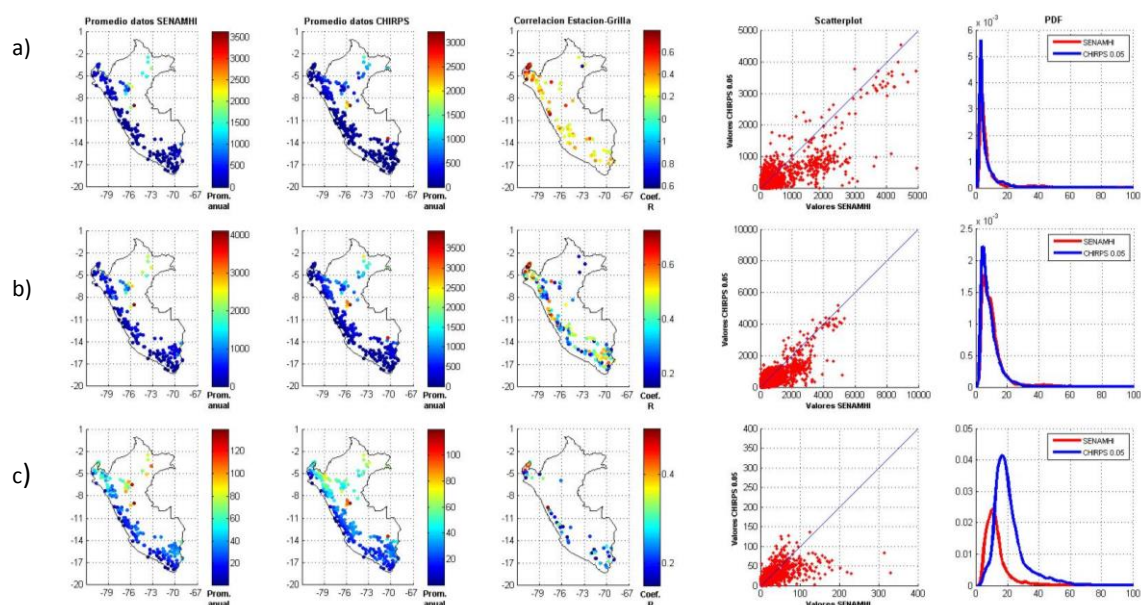


Figura 5.3: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS) y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) R20mmTOT, b) R10mmTOT y c) Rx1d

En la Figura 5.3 se comparación los índices R20mmTOT, R10mmTOT y Rx1d, para los tres casos se observan alta dispersiones en los valores obtenidos para cada índices calculado usando datos del SENAMHI y CHIRPS, los coeficientes de correlación R obtenidos son 0.53, 0.59 y 0.46 respectivamente, mientras que el número de estaciones significantes es de 85, 172 y 51 respectivamente, la forma de la PDF son casi similares para los índices R20mmTOT y R10mmTOT, siendo muy diferente la obtenida para el Rx1d. De los tres índices analizados el que mejor resultados dio fue el R10mmTOT, lo que significa que el producto CHIRPS puede cuantificar el número de días y la lluvia total para días con precipitación mayor o igual a 10 mm, sin embargo, el producto CHIRPS no ha podido determinar con la mejor performance el índice Rx1d (lluvia máxima anual) lo cual es una gran desventaja ya que este índice es usado para determinar análisis de inundaciones. Se observa también que un buen número de estaciones con altos coeficientes R se agrupan en la costa norte para el índice R200mmTOT y ligeramente para el R10mmTOT.

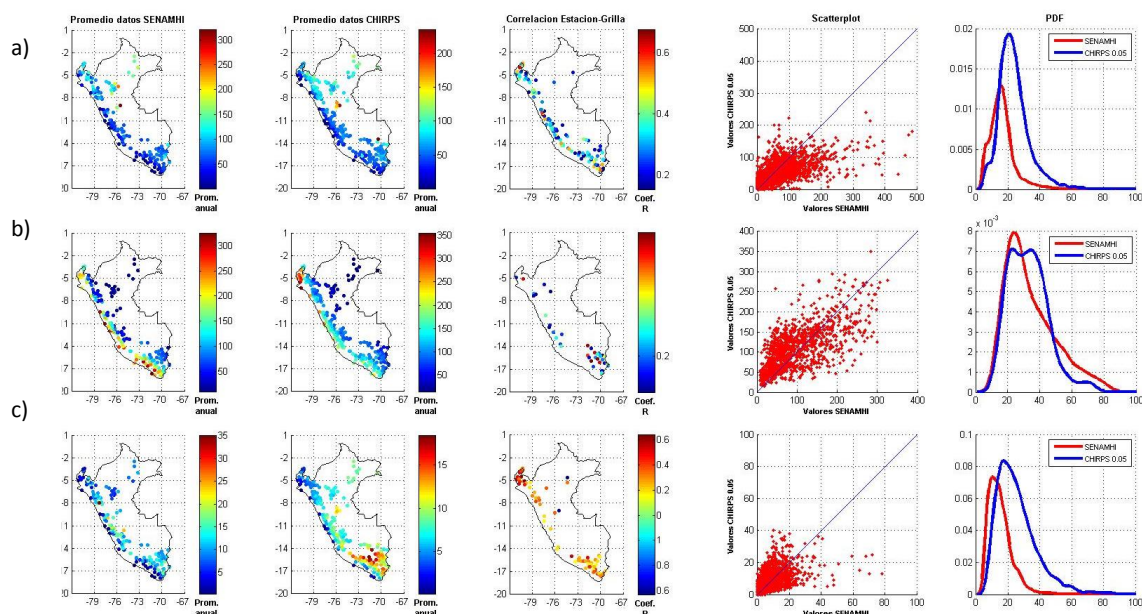


Figura 5.4: Cálculo del promedio histórico (datos SENAMHI) del índice analizado, promedio del índice analizado para los datos CHIRPS, correlación grilla-punto para el índice analizado, scatter plot entre los valores obtenidos del índice analizado (SENAMHI vs CHIRPS) y función de densidad de probabilidad entre los valores del índice analizado para los datos SENAMHI y CHIRPS para los índices: a) RX5D, b) CDD y c) CDW

Finalmente los índices restantes, Rx5d, CDD y CDW se muestran en la figura N° xx, también se observa altas dispersiones en los scatterplots, se obtuvieron coeficientes de correlación R de 0.53, 0.47 y 0.48 respectivamente, la cantidad de estaciones significantes fue de 121, 37 y 71 respectivamente. Al igual que el caso anterior, el índice Rx5d no ha dado buenos resultados afirmando más la premisa de que los datos CHIRPS no se todavía aceptables para realizar estudios de inundaciones o precipitaciones máximas anuales. Sin embargo muestra resultados regulares para el índice CDW, es decir, es aceptable cuantificando los días húmedos mas no así los días secos. Cabe destacar que en el índice CDW las estaciones con mayor coeficiente R se encuentran en la costa norte y altiplano.

VI. CONCLUSIONES

- Para determinar la performance de los datos de precipitación CHIRPS para el monitoreo de periodos húmedos y secos se ha realizado en base al cálculo de índices extremos de precipitación que cuantifican cantidades de lluvia y días tanto para periodos húmedos como secos.
- De los once índices de precipitación evaluados lo que han dado resultados aceptables son el PRCTOT, SDII, R20MM, R10MM, R20MMTOT, R10MMTOT y CDW. Este resultado significa que el producto CHIRPS es aceptable para determinar y cuantificar con precipitaciones mayores a 10 y 20 mm (días húmedos) pero no es bueno para determinar y cuantificar días con escasa precipitación o nula (épocas secas). Además cuantifica bien la cantidad de lluvia anual y el número de días de húmedos anualmente.
- Las regiones con mayor cantidad de estaciones significantes son la costa norte (índices: R20MM, R10MM, R20MMTOT, R10MMTOT y CDW), los andes del centrales (SDII) y el altiplano (SDII y CDW) siendo estas zonas a las que se deben realizar investigaciones adicionales para determinar la performance del producto CHIRPS en evaluar y monitorear periodos húmedos y secos.
- Los resultados determinan que el producto CHIRPS es útil para monitorear el periodo húmedo ya que puede detectar días con lluvias mayores a 10 mm sobretodo, detecta bien los eventos extremos en la costa norte que está influenciada por el ENSO, siendo una alternativa fiable para evaluar la lluvia extrema. Sin embargo no es recomendable su uso para el análisis y monitoreo de épocas secas, ya que falla en detectar la precipitación ligera sobretodo en toda la costa del Perú.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Chiyuan Miao, Hamed Ashouri, Kuo-Lin Hsu, Soroosh Sorooshian & Qingyun Duan (2015). Evaluation of the PERSIAN-CDR daily rainfall estimates in capturing the behavior or extreme precipitation events over China. *Journal of Hydrometeorology*. DOI: 10.1175/JHM-D-14-0174.1
- Dai, A., 2006: Precipitation characteristics in eighteen coupled climate models. *J Climate*, 19, 4605-4630.
- Funk, C.C., Peterson, P.J., Landsfeld, M.F., Pedreros, D.H., Verdin, J.P., Rowland, J.D., Romero, B.E., Husak, G.J., Michaelsen, J.C., and Verdin, A.P., (2014). A quasi-global precipitation time series for drought monitoring: U.S. Geological Survey Data Series 832, 4 p. Virginia, Estados Unidos.
- Ramos Lia (2013). Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida. Universidad Politécnica de Valencia, Tesis doctoral. Valencia, España.
- Soroosh S., and Coauthors, 2000: Evaluation of persiann system satellite-based estimates of tropical rainfall. *B Am Meteorol Soc*, 81, 2035–2046.
- Yanfen Yang & Yi Luo (2013). Evaluating the performance of remote sensing precipitation productos CMORPH, PERSIANN, and TMPA in the arid region of northwest China. *Theor Appl Climatol*. DOI: 10.1007/s00704-013-1072-0.
- Zubiate Ricardo (2013). Modelado hidrológico distribuido de la cuenca amazónica peruana utilizando precipitación obtenida por satélite. Universidad Nacional Agraria La Molina, Tesis de maestría. Lima, Perú.