

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



**Título:**

**“VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE PRECIPITACIONES SATELITALES  
GPM EN LA CUENCA MADRE DE DIOS, PARA EL PERIODO DE 2010 AL  
2019”**

**Presentado por:**

Bachiller: SALAS CHOQUEHUANCA,  
Arthur Javier

**Para optar Título Profesional:**

INGENIERO FORESTAL Y MEDIO  
AMBIENTE

**Asesor:**

Dr. NIETO RAMOS, Carlos Emerico

**Co-Asesor:**

Mtr. CORREA CUBA, Odilon

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



Título:

**“VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE PRECIPITACIONES SATELITALES  
GPM EN LA CUENCA MADRE DE DIOS, PARA EL PERIODO DE 2010 AL  
2019”**

**Presentado por:**

Bachiller: SALAS CHOQUEHUANCA,  
Arthur Javier

**Para optar Título Profesional:**

INGENIERO FORESTAL Y MEDIO  
AMBIENTE

**Asesor:**

Dr. NIETO RAMOS, Carlos Emerico

**Co-Asesor:**

Mtr. CORREA CUBA, Odilon

Puerto Maldonado – 2022

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios, por darme la vida y permitirme llegar hasta estos tiempos y momentos de mi alineación profesional. A mis padres de ser el motor más importante de mi vida y mostrarme siempre su amor y apoyo total sin importar nuestros desacuerdos. A toda mi familia en general, porque ellos siempre me brindaron su apoyo incondicional y por compartir los momentos más alegres y triste de mi vida. A mis maestros, agradezco por su disponibilidad de tiempo, por sus enseñanzas y sus conocimientos que contribuyeron en mi formación profesional. También dedico a mis amores que forman parte de mi vida mi hija Dayra Luciany y mi pareja Katerine, ustedes fueron mi mayor inspiración para convertirme en profesional, los amo profundamente.

## **AGRADECIMIENTO**

De nuestro profundo gratitud a quien nos ha guiado en nuestra ruta y nos ha dirigido por el bien, a Dios, el que nos cuida y ayuda en cada momento y aprender de nuestros errores, a mis familiares, que con su cariño y trabajo nos forjaron en la educación y formación profesional.

A los Jurados, por tomarse la paciencia de revisar y realizar observaciones y sugerencias para la mejora del presente estudio.

A los Asesores el Dr. Carlos Emerico Nieto Ramos y Mtr. Odilon Correa Cuba, quien con su paciencia y dedicación que supo orientarme y guiarme en la ejecución y cumplimiento del presente estudio.

Así mismo agradezco al Ing. Hipólito Mamani Pacompia por orientarme y facilitarme información en evaluación con el Software Hydraccess.

Finalmente, una inmensa gratitud a nuestros familiares y amigos, por sus aportes, comprensión y por el tiempo que nos dieron durante el desarrollo del presente estudio.

## RESUMEN

El actual estudio evaluó los datos de precipitación Integradas de Múltiples Satélites para la Medición de Precipitación Global – IMERG de la misión GPM con los datos observados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI a escala mensual en ocho estaciones de 14 estaciones ubicados en la cuenca Madre De Dios, para el periodo de enero de 2010 a diciembre de 2019. Se realizó el control de calidad de ambos datos de precipitación mensual donde los datos de factor D.E.D. son  $< 0,2$  y Correl. /Vector es  $> 0,7$  el cual se encuentran dentro de los parámetros de evaluación en excepción de la estación Ñapari que tiene un valor de 0,657. En el análisis comparativo mediante los errores estadísticos en el NSE  $< 0,65$  que es insatisfactorio eso quiere decir que no cuantifica adecuadamente el modelo, en cambio con los datos de CC  $> 0,8$  que muestra una mejor concordancia, en el RMSE varía los valores en promedio de 146,48 mm que son valores extremos, en el porcentaje se sesgo de las estaciones Ñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Macusani y Ollachea son valores positivos que muestran una sobreestimación del satélite, en cambio en las estaciones San Gaban, Quincemil y Chontachaca son valores negativos que muestran una subestimación del satélite. Mediante el Índice de detección PDO = 1, ETS = 0,2, FAR = 0,2 y FBI = 1,4, donde PDO estima adecuadamente, FAR eso indica que la satélite estima ligeramente la precipitación de igual el FBI se detectó la calidad de la precipitación detectada por el satélite y el análisis de tendencia de la serie entre datos donde gráficamente coinciden ambos datos y tienen una buena representación en las estaciones Ñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, San Gaban y Quincemil, excepto en las estaciones de Ollachea y Macusani hay una sobreestimación del satélite y en la estación Chontachaca una subestimación por parte del satélite.

## ABSTRACT

The current study evaluated the precipitation data from the Integrated Multiple Satellite for Global Precipitation Measurement - IMERG of the GPM mission with the data observed by the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru - SENAMHI at monthly scale in eight stations of 14 stations located in the Madre De Dios basin, for the period from January 2010 to December 2019. The quality control of both monthly precipitation data was carried out where the D.E.D. factor data is  $< 0.2$  and Correl/Vector is  $> 0.7$ , which are within the evaluation parameters except for the Iñapari station that has a value of 0.657. In the comparative analysis by means of the statistical errors in the NSE  $<$  to 0.65 which is unsatisfactory that means that it does not adequately quantify the model, on the other hand with the data of CC  $>$  to 0.8 that shows a better concordance, in the RMSE varies the values in average of 146.48 mm that are extreme values, In the percentage bias of the stations Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Macusani and Ollachea are positive values that show an overestimation of the satellite, while in the stations San Gaban, Quincemil and Chontachaca are negative values that show an underestimation of the satellite. By means of the detection index PDO = 1, ETS = 0.2, FAR = 0.2 and FBI = 1.4, where PDO estimates adequately, FAR indicates that the satellite slightly estimates the precipitation, as well as the FBI, the quality of the precipitation detected by the satellite was detected and the trend analysis of the series between data where both data graphically coincide and have a good representation in the Iñapari stations, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, San Gaban and Quincemil stations, except in the Ollachea and Macusani stations there is an overestimation by the satellite and in the Chontachaca station an underestimation by the satellite.

## INTRODUCCION

La precipitación es un componente del ciclo del agua y juega una función importante para la supervivencia de los seres humanos como muestra principal el agua dulce, también impactos económicos directos e indirectos (Michaelides et al., 2009). La metodología por satélite ha seguido siendo una tarea importante para mejorar la calidad de datos, fomentar su utilización para la hidrología y meteorología, la previsión de inundaciones, la modelización de los recursos hídricos, las sequías mundiales y/o regionales y la planificación agrícola (Gebremichael y Hossain, 2010).

Consecuentemente, los registros pluviométricos convencionales o automáticas son relativamente insuficientes, especialmente en países de desarrollo debido a que los pluviómetros brindan datos del lugar donde son ubicados. En el Perú este problema es escasa para realizar evaluaciones meteorológicas e hidrológicas (Asurza, Ramos y Lavado, 2018), en los últimos tiempos el avance de la tecnología de la teledetección ha llevado a una mejora para la evaluación de la meteorología (Chen y Li, 2016).

En los últimos tiempos surgieron diversos métodos o técnicas para la estimación de la lluvia con sensores remotos y pluviómetros convencionales o automáticas (Huffman et al., 2007), donde se busca lograr una representación precisa de la precipitación de variable espacio – temporal.

Para la estimación de la precipitación se utiliza uno de los servicios más nuevos que fue desarrollado para el análisis remota de la precipitación mediante la representación satelital, que es la misión GPM que es una malla internacional de satélites que facilitan las observaciones globales de la máxima generación de lluvia y nieve a una resolución espacial  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  de aprox. 10 km (Hou et al., 2014), dando como el éxito de TRMM ya que los productos multisatélite del TRMM finalizaron su generación de datos hasta el 31 de diciembre de 2019 (Huffman, 2019).

## INDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	III
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	IV
<b>RESUMEN</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>INTRODUCCION</b> .....	VII
<b>INDICE</b> .....	VIII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	X
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	XI
<b>CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION</b> .....	1
<b>1.1. Descripción del problema</b> .....	1
<b>1.2. Formulación del problema</b> .....	1
<b>1.3. Objetivos</b> .....	2
<b>1.3.1. Objetivo general</b> .....	2
<b>1.3.2. Objetivos específicos</b> .....	2
<b>1.4. Variables</b> .....	3
<b>1.5. Operacionalización de variable</b> .....	3
<b>1.6. Justificación</b> .....	3
<b>1.7. Consideraciones éticas</b> .....	4
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b> .....	4
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	4
<b>2.1.1. Internacional</b> .....	4
<b>2.1.2. Nacional</b> .....	5
<b>2.1.3. Local</b> .....	7
<b>2.2. Marco teórico</b> .....	7
<b>2.2.1. Cuenca</b> .....	7
<b>2.2.2. Precipitación</b> .....	7
<b>2.2.3. Medición y observación de la precipitación</b> .....	8
<b>2.2.4. Método de análisis de datos de precipitación</b> .....	9
<b>2.2.5. Medición de Precipitación Global – GPM</b> .....	10
<b>2.2.6. Errores estadísticos</b> .....	13
<b>2.2.7. Índices de detección</b> .....	15
<b>2.2.8. Hydraccess</b> .....	18
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA</b> .....	18



3.1. Tipo de estudio .....	18
3.2. Diseño de estudio .....	18
3.3. Población y muestra .....	18
3.4. Métodos y técnicas.....	19
3.4.1. Descripción del ámbito de estudio.....	19
3.4.2. Descripción del ámbito de estudio.....	23
<b>CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>25</b>
4.1. Análisis de calidad de datos de precipitaciones .....	25
4.2. Grado de correlación .....	29
4.2.1. Errores estadísticos .....	29
4.2.2. Índice de detección.....	32
4.3. Precipitación en el periodo de estudio .....	36
4.4. Discusión de resultados .....	39
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Satélite de observatorio GPM Core. ....	11
<b>Figura 2.</b> Diagrama de constelación de satélites GPM. ....	12
<b>Figura 3.</b> Mapa de ubicación del área de estudio.....	20
<b>Figura 4.</b> Ubicación de las Unidades Hidrográficas.....	21
<b>Figura 5.</b> Análisis de la precipitación mensual con dato faltantes. ....	26
<b>Figura 6.</b> Suma de índices en el vector por estación con datos faltantes. ..	26
<b>Figura 7.</b> Análisis de precipitación mensual. ....	27
<b>Figura 8.</b> Suma de índices del vector por estación. ....	27
<b>Figura 9.</b> Análisis de precipitación mensual. ....	28
<b>Figura 10.</b> Suma de índices del vector por estación. ....	28
<b>Figura 11.</b> Eficiencia de Nash-Sutcliffe (a), Coeficiente de Correlación de Pearson (b), Raíz del error media cuadrado (c) y Porcentaje de sesgo (d), para las estaciones. ....	31
<b>Figura 12.</b> Índice del POD en los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200 mm de precipitación por estación. ....	33
<b>Figura 13.</b> Índice ETS en los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200 mm de precipitación para las estaciones. ....	34
<b>Figura 14.</b> Índices FAR para los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200 mm de precipitación por estación. ....	35
<b>Figura 15.</b> Índice de FBI para los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200mm de precipitación por estación. ....	36
<b>Figura 16.</b> Precipitación mensual por estaciones de datos simulados con datos observados.....	37
<b>Figura 17.</b> Precipitación mensual por estaciones de datos simulados con datos observados.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variables e indicadores. ....	3
<b>Tabla 2.</b> Valores referenciales del criterio Nash-Sutcliffe. ....	14
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de nivel de concordancia .....	14
<b>Tabla 4.</b> Contingencia para evaluar la ocurrencia de la precipitación.....	16
<b>Tabla 5.</b> Ubicación de las estaciones. ....	19
<b>Tabla 6.</b> Ubicación de las Unidades Hidrográficas de la Cuenca Madre de Dios.....	21
<b>Tabla 7.</b> Datos adquiridos de las siguientes estaciones. ....	24
<b>Tabla 8.</b> Correlación / Vector y D.E.D. en las estaciones. ....	29
<b>Tabla 9.</b> Comparación de resultados de error estadístico. ....	32
<b>Tabla 10.</b> Índice de promedio para las estaciones .....	32

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1. Descripción del problema**

En el Perú en problema de los datos es escaza para la evaluación meteorológica e hidrológica de una cuenca; sin embargo, en los últimos tiempos, el rápido mejora en la teledetección satelital ha traído un perfeccionamiento para la estimación de la precipitación (Chen y Li, 2016).

La estimación de la precipitación de colocación espacial en el Perú representa un gran reto, considerando su complejidad fisiográfica y ausencia de pluviómetros más que todo en la zona amazónica (Mantas et al., 2015). Los productos de precipitación satelital se han utilizado cada vez más como sustituto para las observaciones tradicionales en tierra (Yang et al., 2020).

En el departamento de Madre de Dios viene sufriendo de cambios climáticos, parte del cambio y efecto que se viene manifestándose es la propagación de incremento y disminución bruta de temperatura y alteraciones en el régimen anual de precipitaciones (MINAM, 2013). Así mismo Canziani y Benitez (2012) señalan que el cambio climático es causado por el cambio de uso del suelo.

Moraes, Franchito y Rao (2013), Manifiestan que la deforestación ha sido una de las principales causas del cambio climático regional e incluso mundial. La deforestación de los bosques es ocasionada por el rápido crecimiento de la población que contribuí con los cambios del clima regional y local; ya que los bosques tienen una influencia directa sobre el clima provocando variabilidad en la temperatura, precipitación y otros elementos climatológicos.

### **1.2. Formulación del problema**

¿Qué aproximación tendrá analizar los datos de precipitación mensual del satélite GPM IMERGDF v6 entre los datos observados a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, en la cuenca Madre De Dios para e periodo de 2010 al 2019?

## **Formulación de los problemas específicos**

- a. ¿Cuál será la calidad de los datos de la precipitación entre satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, para la cuenca Madre de Dios?
- b. ¿Cuál será el grado de correlación de los datos de la precipitación entre el satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, para la cuenca de Madre de Dios?
- c. ¿Cuál será la tendencia de la serie de los datos de la precipitación entre el satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, para la cuenca Madre de Dios?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar y comparar la precipitación mensual entre satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, en la cuenca Madre de Dios.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar y analizar la calidad de los datos de la precipitación entre el satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, para la cuenca Madre de Dios.
- Comparar y analizar el grado de correlación de los datos de la precipitación entre el satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, para la cuenca de Madre De Dios.
- Calcular y analizar la tendencia de la serie de los datos de la precipitación entre el satélite GPM IMERGDF v6 y observadas a través de las estaciones meteorológicas de SENAMHI, para la cuenca Madre de Dios.

## 1.4. Variables

### Variables Dependiente

Está influenciada por el tiempo desde enero de 2010 a diciembre 2019, el cual se evalúa mensualmente.

### Variables Independientes

Se considera a los datos observados por SENAMHI y por el satélite GPM IMERGDF v6.

### Operacionalización de variables

Consiste en determinar el método a través de las cuales los variables serán dadas:

**Tabla 1.** Variables e indicadores.

	<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
Independientes	- Precipitación observada por SENAMHI	8	mm
	- Precipitación observada por el satélite	estaciones	
Dependientes	Tiempo (2010-2019)	10 años	mensual

## 1.5. Operacionalización de variable

## 1.6. Justificación

El presente estudio analizo y comparo los datos de la precipitación mensual sobre la superficie de la cuenca Madre de Dios, siendo el estudio de mayor importancia del clima, debido a su alto equilibrio radiactivo por nubosidad convectiva su precipitación final, sin embargo, la precipitación se caracteriza por sus asociadas a la convección de sí mismo, el cual varían en la región de Madre de Dios y finalmente las variables meteorológicas depende de la topografía territorial.

Una de las ventajas más importantes de los datos del satélite permite adquirir información en lugares donde su disposición topográfica no permite como montañas, desiertos, bosques, riberas entre otros. Donde nos permite evaluar la precipitación de la variable espacio – temporal.

## **1.7. Consideraciones éticas**

El presente proyecto de investigación analiza los datos observados por SENAMHI de ocho estaciones de 14 estaciones que se encuentran distribuidas en el área de estudio como se muestra en la Tabla 5.

También se utilizaron los datos del satélite GPM IMERG del producto GPM 3IMERGDF v06 derivado del GPM 3IMERGGHH cada media hora, el cual presenta una precipitación final de la acumulación diaria.

Se tomaron en cuenta las normas que rigen la Universidad de la Ley Universitaria, estatuto de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y reglamentos que rigen para los proyectos de investigación. Base

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Internacional**

Yang et al. (2020), evalúa la precisión de los últimos cinco productos de precipitación de IMERG v6 y TRMM 3B42 v7 a escala mensual, diaria y por hora en la colina montañosa del río Shuaishui en el centro-este de China. Para la evaluación se utiliza los productos de precipitación basado en satélites (spp) y registros históricos de lluvia en 13 estaciones durante nueve años entre 2009 al 2017. Los resultados de la evaluación han revelado un amplio desempeño entre los SPP en la estimación de la lluvia de diferentes escales de tiempo. En primer lugar, dos SPP posteriores (IMERG\_F y 3B42) tienen un rendimiento considerablemente mejor en la estimación de la precipitación mensual. En segundo lugar, con IMERG\_F obtiene el mejor rendimiento, los

productos GPM generalmente producen mejores estimaciones diarias de lluvia que los productos TRMM.

Shi et al. (2020), en su investigación evalúa la medición de precipitación global (GPM) como sucesor del TRMM, el cual ha lanzado una gama de productos de precipitación basados en satélites (SPP). Este estudio realiza un análisis comparativo sobre la calidad de las recuperaciones multisatélite integradas para GPM\_IMERG y mapeo satelital global de precipitación (GSMaP) SPP en la región del origen del Río Amarillo, los resultados indican que entre los tres de IMERG, IMERG-F exhibió los errores sistemáticos más bajos y la mejor calidad, seguidos por IMERG-E y IMERG-L. Donde IMERG-E y IMERG-L subestimaron la ocurrencia de eventos de lluvia ligera, pero sobreestimaron los eventos de lluvia moderada y fuerte. GSMaP-MVK y GSMaP-NRT mostro una subestimación evidente. Al comparar los rendimientos de IMERG, GSMaP y GSMaP-Gauge-NRT proporciono las mejores estimaciones de precipitación entre todos los SPP en tiempo real y casi real. IMERG-F superó ligeramente los demás SPP a nivel mensual.

Cabrera (2016), analiza la estimación de precipitación del producto GPM\_IMERG v03 a nivel mensual utilizando datos de 10 pluviómetros observados por el Centro de Hidrología y Clima del Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales – iDRHICA, en la provincia de Azuay durante a abril de 2014 al enero de 2015. Los resultados manifiestan que IMERG v03 capturan cualitativamente la precipitación, según los cálculos de errores estadísticos e índices de detección el producto GPM\_IMERG estima adecuadamente la precipitación mensual, indicando una prometedora perspectiva de la utilidad hidrológica dando mejoras del predecesor TRMM.

### **2.1.2. Nacional**

Coaquira, Calderón y Huaccoto (2019), en su estudio realiza la comparación de dos productos del satélite TRMM 3B43 con los datos observados por SENAMHI para el periodo de 1998 al 2016. Al contrastar la precipitación media mensual de ambos productos se corrigir nos muestra  $R^2 = 0,72$ , coeficiente de correlación buena  $r = 0,85$  pero no cuantifica adecuadamente la intensidad



del porcentaje de BIAS = 21,61 %. Sin embargo, al realizar la corrección nos muestra un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,90$ , coeficiente de correlación buena  $r = 0,95$  y porcentaje de BIAS = 20,60 %, en conclusión, los datos de precipitación medias mensual solo serán utilizados como información complementaria a la escasa de datos registrados por SENAMHI.

Asurza, Ramos y Lavado (2018), realiza la estimación de los productos TRMM y GPM en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, se realizó la comparación de los datos de la precipitación media diaria del periodo de abril de 2014 a diciembre de 2015 con los productos 3B42RT, 3B42V7 y IMERG. En el producto IMERG incorpora mejor la precipitación  $R^2 = 0,38$  pero no cuantifica adecuadamente la intensidad del porcentaje de BIAS = -32 %. El producto 3B42V7 evalúa mejor la intensidad de la lluvia que le 3B42RT que muestra elevadas sobreestimaciones, pero también el producto es la mejor opción para la estimación de precipitación en tiempos de avenidas. Al ejecutar la correlación con el producto IMERG la estimación de la precipitación mejora donde se muestra  $R^2 = 0,9$  y BIAS de -10,1, donde el producto satelital IMERG es el mejor para su estudio al modelamiento hidrológico.

Mantas et al. (2015), en este estudio de dos productos generados por el Análisis de precipitación multisatélite – TMPA de la misión TRMM que son validados por los Andes Peruanos. Esta es una región de topografía compleja que plantea desafíos importantes para la recuperación de los valores de lluvia desde el espacio. Los productos TMPA, tanto de grado de investigación 3B42V7 y casi a tiempo real 3B42RT, se comparan con los datos in situ. Los productos TMPA muestran un buen acuerdo con los valores del medidor, especialmente para periodos de observación más prolongados (más de 8 días). Los resultados de la validación muestran una fuerte dependencia regional como consecuencia de las diferencias en el clima y la topografía. El TMPA funciona adecuadamente y proporciona información de calidad para una serie de aplicaciones que requieren estimaciones oportunas en formatos convenientes.

### **2.1.3. Local**

Aucahuasi (2019), realizó la evaluación del comportamiento y tendencia de temperatura y precipitación de una estación ubicada en la ciudad de Puerto Maldonado, donde se utilizaron series de temperaturas (media, máxima y mínima) y precipitación durante el periodo de 1970 al 2017 a su vez se utilizó los modelamientos climáticos de PISCO del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Los resultados mostraron un incremento demostrativo  $P\text{-value} < 0,05$  en  $2,40\text{ }^{\circ}\text{C}$  en temperatura media,  $2,34\text{ }^{\circ}\text{C}$  en temperatura máximas, en temperaturas mínimas muestran datos no significativos y para la precipitación no presento incremento.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Cuenca**

La unidad Hidrográfica es un espacio geográfica natural o unidad territorial delimitada por una parcelación topográfica, que capta la precipitación y caen sobre ellas donde las aguas tienen drenar hasta un colector principal denominado rio principal (Vásquez, 2000).

Una unidad hidrográfica está delimitada por los puntos de mayor elevación que forman cuencas u subcuencas, de dichos sitios se conoce como parteaguas y reúne en un lugar de salida y drena aguas que puede formar ríos, quebradas, riachuelos o simples corrientes (Gámez, 2010).

### **2.2.2. Precipitación**

La precipitación en los trópicos se clasifica en dos categorías: estratiforme y convectiva, en cual esta categorización está basada principalmente en las técnicas microfísicas de crecimiento de las partículas de precipitan. La categorización convectiva se refiere a las regiones donde la precipitación proviene de una convección joven. La categorización estratiforme se refiere a regiones donde hubo o hay convección menos activa, donde hay menos

corrientes que predominan y podemos distinguir ambas categorías por su escala de velocidad vertical (Houze, 1997).

El método para obtener la precipitación es hacer un promedio aritmético de la cantidad de medida y estimados en áreas planas si los pluviómetros están distribuidos exactamente y el valor captado por cada uno de ellos no varía mucho a partir de la media. Estas limitaciones se pueden pronosticar si las influencias topográficas de distintas áreas se consideran en la selección donde se van a empezar los pluviómetros (Wilm, Nelson y Storey, 1939).

En los pluviómetros se registra la precipitación que suelen tener datos faltantes o es debido a que el instrumento se encuentra dañado, necesitan ser calibrados o error humano, por lo que se genera lapsos de tiempo que las estaciones dejan de cumplir sus funciones. Por lo que surge la necesidad de completar estos datos faltantes mediante predicciones estadísticas (Córdoba, Zea y Murillo, 2006).

### **2.2.3. Medición y observación de la precipitación**

La precipitación es muy importante dentro del ciclo hidrológico, por lo que se deriva la necesidad de poder contar con instrumentos y/o dispositivos que permitan obtener los valores que puede tomar este variable, algunos de ellos son los siguientes:

- Pluviómetros
- Pluviógrafos
- Satélites

#### **Pluviómetros**

Los pluviómetros son instrumentos que están formados por un recipiente graduado en el cual tiene encima un embudo o boca de captación con la función de captar la precipitación. Es importante señalar también que dependiendo del lugar donde se localice el pluviómetro serán las dimensiones adecuadas (Breña, 2015; citado en Coaquira, Calderón y Huaccoto, 2019).

## **Pluviógrafos**

Los pluviógrafos son instrumentos muy similares a los pluviómetros solo que tienen algunas diferencias que permiten medir la precipitación de manera continua y no cada 24 horas. Estos tienen la ventaja de que cuentan con un mecanismo, que va haciendo un registro continuo de la cantidad de precipitación que hay en el lugar donde se encuentra, lo que permite saber cuánto llovió hasta el momento, sino también la distribución temporal de la precipitación (Breña, 2015; citado en Coaquira, Calderón y Huaccoto, 2019).

## **Satélites**

Otra manera de estimar la precipitación es a través de satélites a pesar de que este tipo de herramientas son bastante recientes en comparación con los pluviómetros, pluviógrafos y los radares, son de gran ventaja ya que alcanzan grandes extensiones de la superficie como en el océano (Coaquira, Calderón y Huaccoto, 2019).

De acuerdo con esto podemos definir un satélite como una herramienta que se utiliza para la observación del clima y la atmósfera, así como todos aquellos fenómenos relacionados a ella, este tipo de satélites proporcionan información actualizada de manera permanente acerca de condiciones climáticas a nivel global (Coaquira, Calderón y Huaccoto, 2019).

### **2.2.4. Método de análisis de datos de precipitación**

Los pluviómetros son una herramienta meteorológica que cumple como una plataforma de recolección de datos, donde un pluviómetro cuenta con dos aspectos que afectan en su precisión; errores en la medida puntual y errores en la estimación espacial sobre un punto o área. La estimación espacial depende básicamente de la densidad de los puntos de monitoreo (Linsley, Kohler y Paulus 1994). En el Perú al ser un país en vías de desarrollo los puntos de monitoreo son insuficientes para realizar evaluaciones meteorológicas.

Las regiones andinas de los países Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela son los principales distribuidores de agua en calidad excelente y además cuentan con ríos de buen flujo (Buytaert et al., 2006).

Los productos satelitales brindan una mejor grafía espacial, pero suelen pedir corrección por el sesgo de un punto de monitoreo confiable y ejecutar una valoración confiable del producto. También se pueden utilizar en sitio no instrumentales de esta se evita las mediciones precisas e interpolación de información (Caicedo, 2008).

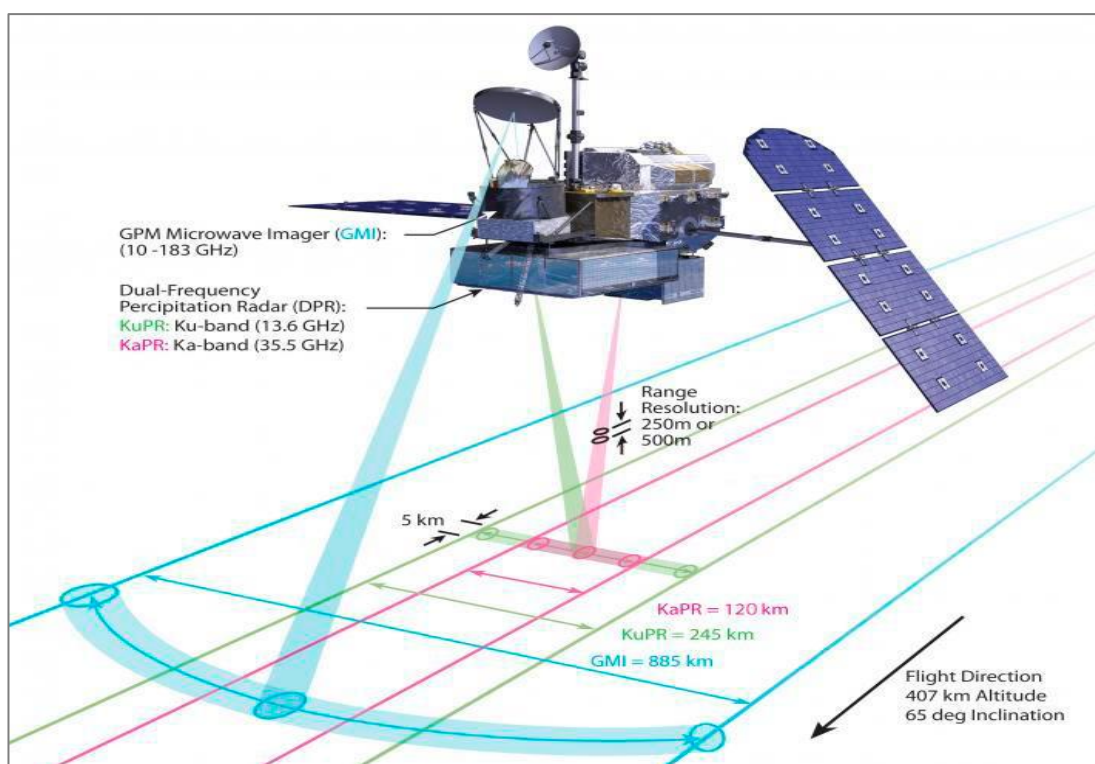
A la novedad existen muchos productos satelitales en el espacio que se puede clasificar según su órbita geoestacionario y de órbita de terrestre baja. Los geoestacionarios se mueven en el sentido de la órbita y permanece verticalmente sobre la superficie de la tierra. Los órbitas de terrestre baja proporcionan información de la tierra y su atmósfera, donde se tiene libre de imágenes de obtención de datos casi en tiempo real y amplia cobertura, una de sus desventajas es que requiere validación y calibración de las imágenes (Ceccato y Dinku, 2010).

Los satélites usan datos de diferentes sensores para la estimación de precipitación, además las imágenes coinciden con el tiempo y espacio por lo que es fundamental conocer la resolución espacial de la imagen.

### **2.2.5. Medición de Precipitación Global – GPM**

Hasta el momento existen varios productos satelitales para medir la precipitación con diversa resolución espacial, uno de ellos es TMPA de la misión TRMM lanzada a finales del año 1997 proporcionando información casi-global para investigación y aplicación. Los productos TMPA han sido de gran escala en evaluación científica y social en organización, gestión de los Recursos Hídricos, pronósticos de desastres y fenómenos meteorológicos. Contrariamente de los grandes beneficios del satélite TRMM tiene limitaciones en cobertura, incertidumbre en la precipitación y estimación sobre la latitud y longitud (Huffman et al., 2007; Chang y Hong, 2012; Yong et al., 2015).

Con el mismo propósito del TRMM, llega la misión GPM que es una misión internacional conformada por una red de satélites de nueva generación en medición de lluvia y nieve. El GPM fue lanzado el 27 de febrero de 2014 organizada por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio – NASA y la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial – JAXA, donde se ubica a una altitud de 407 km en órbita no sincronizada con el sol y perenne con el mismo muestreo del TRMM, aunque a futuro la observación por satélites se extienda a latitudes más altas que cubra el globo terráqueo (Huffman et al., 2019).



**Figura 1.** Satélite de observatorio GPM Core.

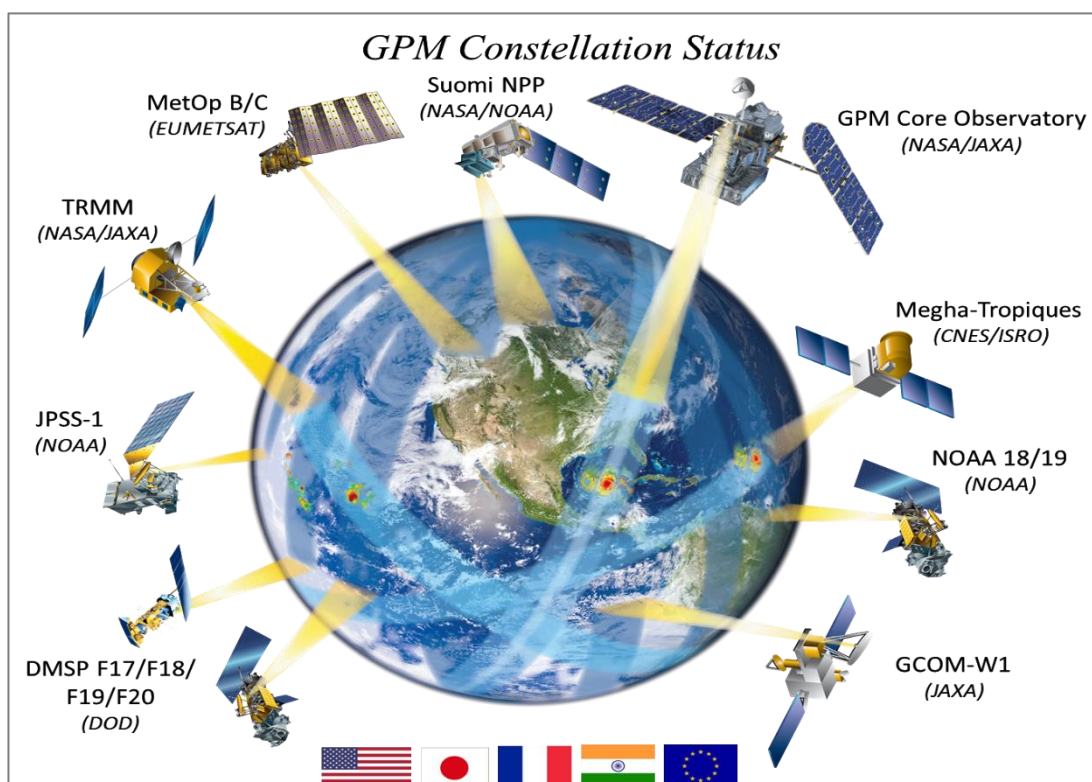
Fuente: (Hou et al., 2014).

En la actualidad el satélite GPM rodea una altitud de 90° N y 90° S y posee herramientas avanzadas para la nueva estimación de precipitación. El GPM Core Observatory está suministrado con un sensor de lluvia activo llamado Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) y un sensor de lluvia pasivo con canales de alta frecuencia llamado GPM Microwave Imager (GMI) que mejoran la estimación de lluvia y nieve (figura 1), evento que demás satélites

que son inhábiles de medir (Sharifi, Steinacker y Saghafian, 2016; Huffman, 2019).

EL DPR aplica como un radar de banda Ka (35.5 GHz) denominado KaPR y un radar de banda Ku (13.6 GHz) denominado KaPR que cubren franjas de 120 y 245 km. Las mediciones son simultaneas y superpuestas que proporcionan datos nuevo sobre la intensidad de la precipitación, al mismo tiempo el GMI que es un radiómetro de microondas multicanal que realiza escaneo crónico que cubre una franja de 885 km y tiene tres canales de frecuencia que va de 10 GHz a 183 GHz (Huffman et al., 2015).

La misión GPM cuenta con una constelación de satélites que bordea casi todo el globo terráqueo que está asociada internacionalmente con diferentes satélites (figura 2).



**Figura 2.** Diagrama de constelación de satélites GPM.

Fuente: (Hou et al., 2014).

El GPM cuenta con productos de otros niveles en varios algoritmos, este evaluación se ajusta en el algoritmo IMERG v06 que intercalibra, funciona e

interpola las estimaciones de todo los sensores implicados con una resolución espacial de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  y una resolución temporal de casi a tiempo real de 30 minutos, diario, mensual y otros valores agregados en los centros de datos (Huffman, 2019).

Los datos del GPM se encuentran alojados en un portal web (<https://gpm.nas.gov/>), además se encuentran en otras plataformas de búsqueda y acceso a datos que son OpenDAP, GDS, WMS, y WCS con conversiones en diferentes formatos (NetCDF, HDF, KML), como también se encuentra en la plataforma GIOVANNI (<https://gsfc.nasa.gov/giovanni/>) que es un interfaz donde nos permite explorar, descargar datos y análisis estadístico de diferentes productos del GPM y otros productos.

## 2.2.6. Errores estadísticos

### 2.2.6.1. Eficiencia de Nash-Sutcliffe

Se utiliza para cuantificar y evaluar los modelos hidrológica en comparación de dos grupos de datos, que fue propuesto por el mismo autor el cual se puede utilizar cuantitativamente la exactitud de los resultados (Nash y Sutcliffe, 1970).

Según Nash y Sutcliffe (1970), las eficiencias varia de  $-inf$  a uno esencialmente cuanto más cerca a uno más preciso es el modelo.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

Donde:

$n$ : Número de observaciones.

$S_i$ : Valor simulado.

$O_i$ : Valor observado.

$\bar{O}$ : Promedio del valor observado.



Según Ritter y Muñoz (2013), cuantifica la eficiencia del modelo simulado con el modelo observado el cual lo clasifica bajo los siguientes criterios (tabla 2).

**Tabla 2.** Valores referenciales del criterio Nash-Sutcliffe.

<b>NSE</b>	<b>Ajuste</b>
<0,65	Insatisfactorio
0,65 – 0,8	Aceptable
0,8 – 0,9	Bueno
0,9 – 1	Muy bueno

Fuente: (Ritter y Muñoz, 2013).

### 2.2.6.2. Coeficiente de Correlación de Pearson

Evalúa en nivel de concordancia lineal entre datos del satélite con datos del pluviómetro, el valor del coeficiente de correlación varia de  $-1 \leq CC \leq 1$  donde el valor  $CC$  más cercano a uno muestra una mejor concordancia (Barría, 2010).

$$CC = \frac{cov(S_i, O_i)}{\sqrt{var(S_i)} \times \sqrt{var(O_i)}} \quad (2)$$

Donde:

$S_i$ : Valor simulado.

$O_i$ : Valor observado.

**Tabla 3.** Clasificación de nivel de concordancia.

<b>CC</b>	<b>AJUSTE</b>
0,2 – 0,3	Muy Bajo
0,4 – 0,5	Bajo
0,6 – 0,7	Alto
0,8 – 1	Muy Alto

Fuente: (Barría, 2010).

### 2.2.6.3. Raíz del error medio cuadrado

Por su denominación en inglés “Root Mean Square Error”, evalúa la magnitud típica del error de las estimaciones del satélite con las estimaciones del pluviómetro, valores pequeños son óptimos y poniendo énfasis en valores extremos, el resulta se expresa en mm.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (3)$$

Donde:

$S_i$ : Valor simulado.

$O_i$ : Valor observado.

$n$ : Número de estaciones.

### 2.2.6.4. Porcentaje de Sesgo

Evalúa la tendencia media entre los valores de la precipitación estimada por el satélite ( $S_i$ ) con los datos observados por el pluviómetro ( $O_i$ ). El sesgo relativo puede ser positivo o negativo donde el valor optimo es cero, los valores positivos sobreestiman y los valores negativos subestimación del satélite, el resultado se evalúa en porcentajes.

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)} \quad (4)$$

Donde:

$S_i$ : Valor simulado.

$O_i$ : Valor observado.

$n$ : número de estaciones.

### 2.2.7. Índices de detección

La evaluación por satélite es la que trae tablas de contingencia el cual es matriz de dos espacios en que cada elemento cuenta el número de ocurrencias observadas por el pluviómetro y la correspondiente observación

por el satélite el cual detectaron precipitación mayor a un umbral dado las posibilidades son:

- a) El satélite detecta precipitación y el pluviómetro también (éxito).
- b) El satélite detecta precipitación, pero el pluviómetro no (falsa alarma).
- c) El satélite no detecta la precipitación, pero el pluviómetro si (error).
- d) El satélite no detecta la precipitación, el pluviómetro tampoco (correcto negativo).

**Tabla 4.** Contingencia para evaluar la ocurrencia de la precipitación.

		Satélite		
		SI	NO	Total
Pluviómetro	SI	Éxito (a)	Error (c)	a+c
	NO	Falsa alarma (b)	Correcto negativo (d)	b+d
	Total	a+b	c+d	Total

Fuente: (Sharifi, Steinacker y Saghafian, 2016).

Para realizar una evaluación de detección de eventos de precipitación mediante la tabla de contingencia y los índices: probabilidad de detección, probabilidad de detección corregida, falsa alarma y frecuencia de sesgo, utilizando los umbrales de precipitación de (5, 10, 50, 100, 200 mm) por cada pluviómetro.

#### 2.2.7.1. Probabilidad de detección

Por su denominación de inglés “Probability Of Detection” es la fracción de precipitación que adecuadamente detecta:

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (5)$$

El valor óptimo de la detección del satélite es uno.

### 2.2.7.2. Probabilidad de detección corregida

Por la denominación en inglés "Equitable Threat Score" es la fracción de la precipitación que adecuadamente detecta, ajustada por el número de detección  $He$  y se espera que ocurra solo al azar:

$$ETS = \frac{a - He}{a + b + c - He} \quad (6)$$

$$He = \frac{(a + c)(a + b)}{n} \quad (7)$$

Donde  $n$  es el número de valores considerados, la detección del satélite es uno.

### 2.2.7.3. Falsa alarma

Por su denominación en inglés "False Alarm Rate", mide la fracción de detección de la precipitación que en realidad no sucedieron, quiere decir que detecto el satélite, pero no el pluviómetro.

$$FAR = \frac{b}{a + b} \quad (8)$$

El resultado varía de cero a uno como también tiene datos negativos pero el valor óptimo es 0 el cual indica que el satélite no emite falsas alarmas.

### 2.2.7.4. Frecuencia de sesgo

Por su denominación en inglés "Frequency Bias Index", es la proporción de la cantidad de eventos que se detectó por el satélite con respecto a la cantidad detectada por el pluviómetro.

$$FBI = \frac{a + b}{a + c} \quad (9)$$

Los valores menores a uno indica que el satélite está subestimando la precipitación y mayores a uno indica sobrestimación, el valor óptimo de índice es uno.

### **2.2.8. Hydraccess**

El Hydraccess es un software completo y con fácil manejo el cual permite la importación y guardar varios tipos hidrológicos en una base de datos en formato Microsoft Access. Su desarrollo comento en el año 2000 que fue diseñado y evaluado por el Ingeniero Philippe Vauchei hidrólogo del Instituto Frances de Investigación para el Desarrollo – IRD (Pereyra, 2017).

El software además de manejar un banco de datos también realiza muchos tratamientos como el vector regional, Correl / Vector que realizan análisis y crítica de los datos. Según Espinoza (2005), indica que el vector regional y Correl./vector tienen que ser homogéneos o asemejarse entre datos.

## **CAPITULO III: METODOLOGIA**

### **3.1. Tipo de estudio**

La investigación es descriptiva con un enfoque cuantitativo y correlacional que consiste en analizar y comparar datos de precipitación generados por el satélite con datos observados por SENAMHI.

### **3.2. Diseño de estudio**

El diseño del presente estudio es descriptivo se basa de acuerdo con la ubicación de las ocho estaciones meteorológicas observadas por SENAMHI.

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población consta de ocho estaciones meteorológicas observadas por el SENAMHI el cual se detalla en la tabla 5 y figura 3.

**Tabla 5.** Ubicación de las estaciones.

CUENCA	ESTACIÓN	CODIGO	TIPO	COORDENADAS		ALTITUD msnm
				LON	LAT	
Intercuenca Alto Acre	Iñapari	472587E0	Automática	-69,58	-10,96	245
Intercuenca Medio Alto Madre de Dios	Puerto Maldonado	100109	Convencional	-69,21	-12,59	209
	Cuyo Cuyo	114096	Convencional	-69,55	-14,49	3619
	Macusani	114039	Convencional	-70,42	-14,07	4363
Cuenca Inambari	Ollachea	113044	Convencional	-70,50	-13,80	2850
	San Gaban	113119	Convencional	-70,41	-13,46	666
	Quincemil	100114	Convencional	-70,75	-13,23	651
Intercuenca Alto Madre de Dios	Chontachaca	100030	Convencional	-71,47	-13,05	872

Fuente: SENAMHI.

## Muestra

Se considera las mismas ocho estaciones observadas por el SENAMHI como estaciones virtuales en el mismo punto donde se encuentran ubicadas las estaciones mencionadas.

### 3.4. Métodos y técnicas

#### 3.4.1. Descripción del ámbito de estudio

##### 3.4.1.1. Ubicación del ámbito de estudio

#### Ubicación geográfica

La cuenca Madre de Dios tiene la siguiente ubicación geográfica:

#### Coordenadas Geográficas

Latitud : -72,417 – 68,651

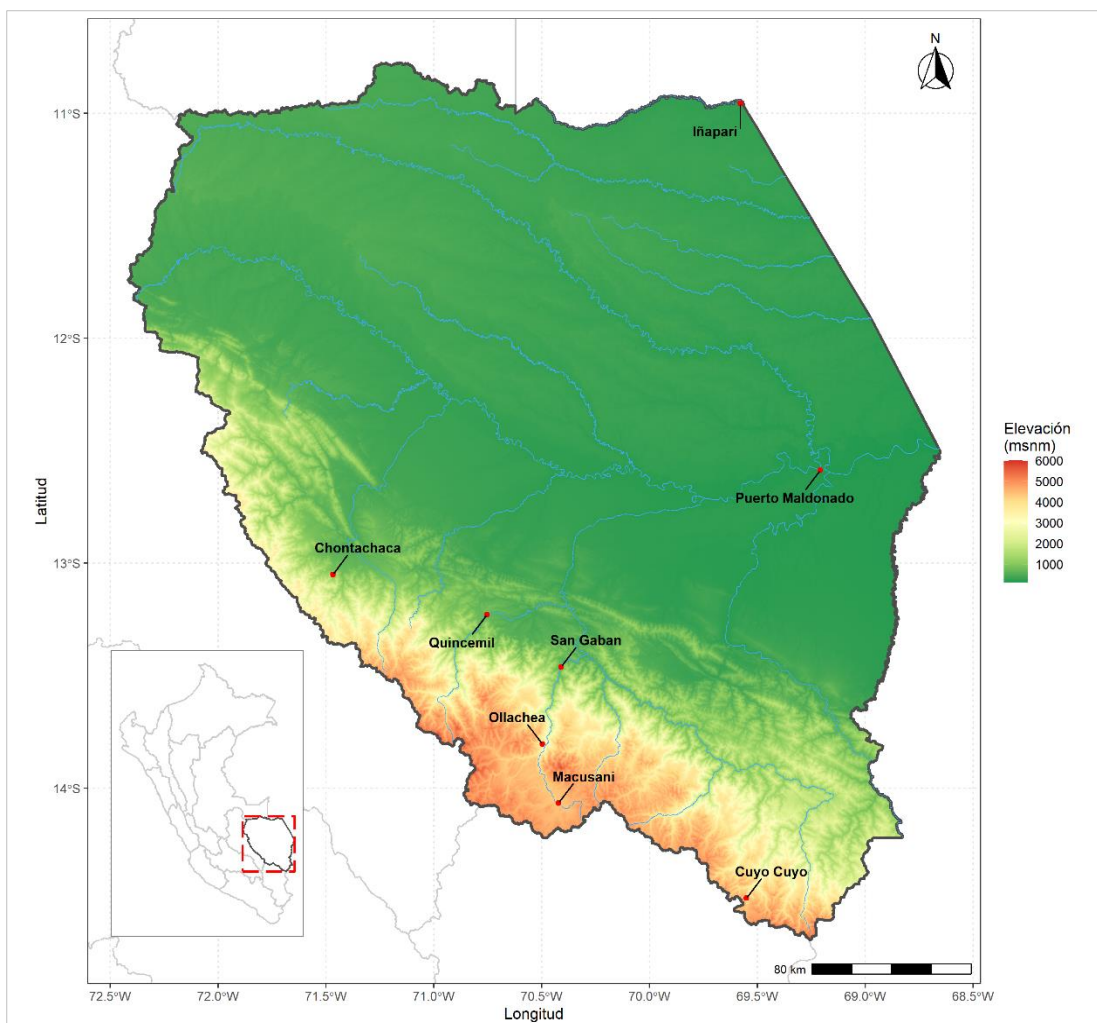
Longitud : -14,676 – 10,773

### Coordenadas UTM (WGS-84 ZONA 19L Sur)

Este : 127375 – 537818

Norte : 8377470 – 8808204

Elevación : 157 – 6094 msnm



**Figura 3.** Mapa de ubicación del área de estudio.

### Ubicación hidrográfica

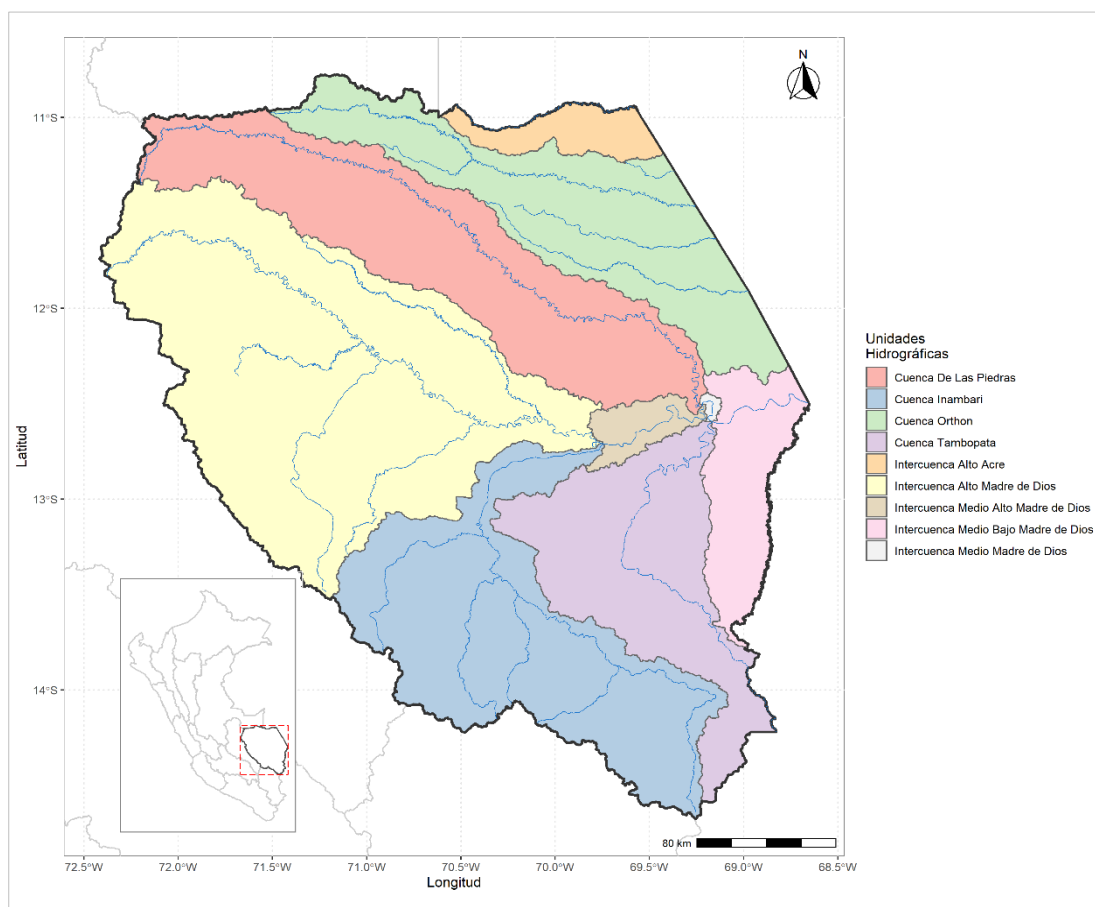
La cuenca Madre de Dios está conformada por nueve Unidades Hidrográficas el cual se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 6.** Ubicación de las Unidades Hidrográficas de la Cuenca Madre de Dios.

N°	CODIGO	NOMBRE
1	4662	Cuenca Orthon
2	46643	Intercuenca Medio Bajo Madre de Dios
3	46644	Cuenca Tambopata
4	46645	Intercuenca Medio Madre de Dios
5	46646	Cuenca De Las Piedras
6	46647	Intercuenca Medio Alto Madre de Dios
7	46648	Cuenca Inambari
8	46649	Intercuenca Alto Madre de Dios
9	49269	Intercuenca Alto Acre

Fuente: ANA

La demarcación Administrativa de la cuenca Madre de Dios es administrada por la autoridad Administrativa del Agua – Madre de Dios de la Autoridad Nacional del Agua.



**Figura 4.** Ubicación de las Unidades Hidrográficas.



### **Ubicación política**

La cuenca Madre de Dios políticamente comprende de tres regiones, el territorio de la región Madre de Dios de 96%, tercera parte de la región Puno con 32% y una octava parte de la región Cusco con 12%, que se encuentra en el ámbito de la cuenca.

#### **3.4.1.2. Descripción general de la cuenca**

La cuenca Madre de Dios se encuentra ubicado al sur oriente del Perú, que forma parte de la cuenca del rio Madeira el cual se une con la cuenca Amazonas, que tiene una extensión aproximadamente de 112 531,73 km<sup>2</sup> (figura 4).

Es colindante por el este con Bolivia por el norte con Brasil, por el Oeste con la región Cusco y por el sur con la región Puno.

#### **3.4.1.3. Descripción general de la cuenca**

##### **Precipitación**

La precipitación en la cuenca es continuo durante todo el año, variando la intensidad de acuerdo con la estacionalidad, siendo as intensa durante los meses de octubre a abril, registrando menores precipitaciones en los meses de junio a agosto (ANA, 2010).

##### **Temperatura**

La temperatura en la cuenca varía de acuerdo con el nivel de elevación, donde se puede observar temperaturas altas y como temperaturas bajas durante la estación (ANA, 2010).

##### **Humedad Relativa**

En base de los datos disponibles de las estaciones meteorológicas, la distribución espacial de la humedad relativa varía entre 68,3% - 87,5%. La humedad relativa más bajo ocurre en el periodo de estiaje y la humedad relativa más latos se presentan en los meses más lluviosos de generalmente ocurre en el mes de febrero (ANA, 2010).

### **3.4.2. Descripción del ámbito de estudio**

#### **3.4.2.1. Equipos y materiales para el procesamiento**

A continuación, se muestran los instrumentos de fueron requerido en el presente estudio:

##### **a. Equipos**

- Laptop
- Impresora

##### **b. Softwares utilizados**

- Hydraccess v7.1
- QGIS v3.18
- Microsoft Office Word 365
- Microsoft Office Excel 365
- R v 4.0.5
- RStudio v1.4

#### **3.4.2.2. Métodos y técnicas**

##### **- Técnicas**

La habilidad para emplear viene a ser la comparación de datos satelital IMERG v6 con los datos observados por SENAMHI a escala mensual.

##### **- Adquisición de datos meteorológicos**

La primera etapa del proyecto se basó en la recopilación de la información ubicada dentro del área de estudio, datos de precipitación acumulada diariamente de las estaciones meteorológicas los cuales fueron adquiridos por SENAMHI, durante el tiempo de evaluación de enero de 2010 a diciembre de 2019.

##### **- Adquisición de datos del satélite GPM**

Se procede a descargar los datos para la evaluación del producto IMERG v6 a escala diaria de la plataforma web GIOVANNI durante el tiempo de evaluación de enero de 2010 a diciembre de 2019.

**Tabla 7.** Datos adquiridos de las siguientes estaciones.

N°	ESTACIÓN	CODIGO	TIPO	DATOS ADQUERIDOS
1	Iñapari	472587E0	Automática	SI
2	Puerto Maldonado	100109	Convencional	SI
3	Cuyo Cuyo	114096	Convencional	SI
4	Upina	4721B992	Automática	NO
5	Macusani	114039	Convencional	SI
6	Ollachea	113044	Convencional	SI
7	San Gaban	113119	Convencional	SI
8	Aymaña	4721AAE4	Automática	NO
9	Marcapata	4722B04E	Automática	NO
10	Quincemil	100114	Convencional	SI
11	Acjanaco	4722A338	Automática	NO
12	Chontachaca	100030	Convencional	SI
13	Salvación	47E8201A	Automática	NO
14	Malinowsky	47e8336c	Automática	NO

Fuente: SENAMHI.

De las 14 estaciones que se encuentra administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú solo se obtuvieron datos de 8 estaciones mencionadas en la tabla 7, según lo mencionado por SENAMHI las demás estaciones no cuentan con datos durante el periodo de evaluación y a su vez los datos se encuentran sin control de calidad.

- **Procesamiento de datos**

Los datos adquiridos de SENAMHI a escala diaria, se procede a realizar la acumulación a escala mensual para la evaluación de las cuales existen datos faltantes, mediante una librería llamada “mice” creado por Buuren y Groothuis-Oudshoorn (2011), se realiza para la completación de datos faltantes, para este caso se utilizó el método del ajuste de la media predictiva – pmm el cual menciona que cuenta con buenos parámetro de completación (Romero, Florez y Balceró, 2018).

- **Calidad de datos**

Para el caso de la calidad de datos se realizó el acumulado a escala anual del año 2010 al año 2019, el análisis se realizó con el software Hydraccess donde se determina el vector regional y vector / correl.

- **Análisis estadístico**

Luego se evalúa los errores estadísticos, donde se considera lo siguiente; eficiencia de Nash-Sutcliffe, Coeficiente de correlación de Pearson, raíz del error medio cuadro y porcentaje de sesgo, para realizar estos errores estadísticos se utiliza la librería hydroGOF desarrollado por Zambrano (2020), luego se evalúa los índices de detección las cuales son; probabilidad de detección, probabilidad de detección corregida, índice de sesgo y falsa alarma.

Es preciso realizar una correlación detallada para la determinación si el satélite GPM tiene las misas estimaciones de precipitación con respecto a los datos registrados por SENAMHI.

### **3.4.2.3. Procesamiento de datos y análisis estadístico**

Para el procesamiento y manipulación de datos se utilizó R Core Team (2021) en su interfaz RStudio en el cual se utilizó varias librerías para el procesamiento, análisis y visualización de datos de las cuales fueron mencionados anteriormente.

## **CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1. Análisis de calidad de datos de precipitaciones**

En el estudio de datos meteorológicos se realiza mediante el método de regresión lineal que es una de las funciones del software Hydraccess donde trabajo con ecuación de modelo de Brunet Moret.

### Análisis de datos atípicos

Al realizar el análisis de los datos de precipitación de cada estación ubicada en el área de estudio desde enero de 2010 a diciembre 2019, donde se observa con datos faltantes al realizar el análisis indica que las estaciones Ñapari y Macusani son excluidos y no cuentan con datos a su vez son excluidos del año 2016 (figura 5, tabla 8), también se observa en las otras estaciones no tiene las mismas alineaciones ni procedimientos entre estaciones.

Para el análisis de vector se observa en la figura 6, donde solo seis estaciones muestran resultados por el software Hydraccess. En donde se evalúa que las estaciones no son homogéneas y las pendientes varias ligeramente en su trayectoria.

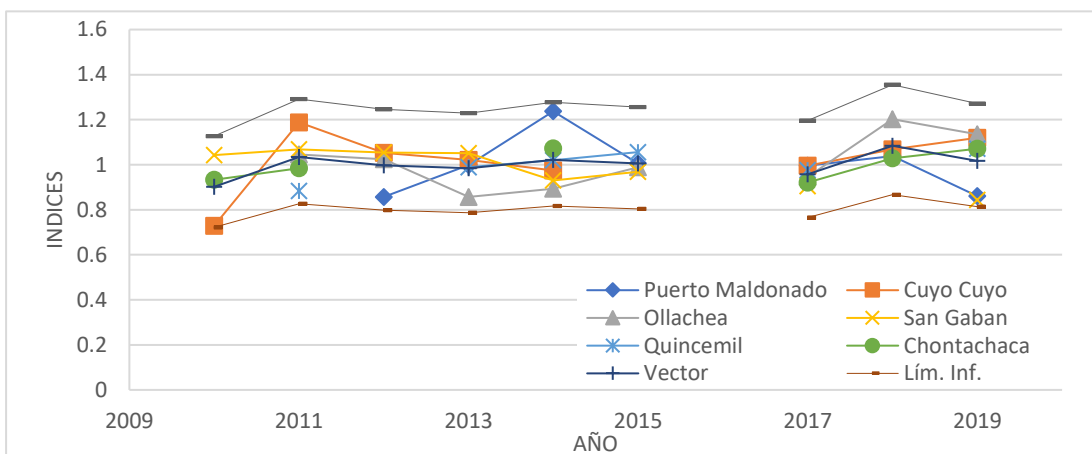


Figura 5. Análisis de la precipitación mensual con dato faltantes.

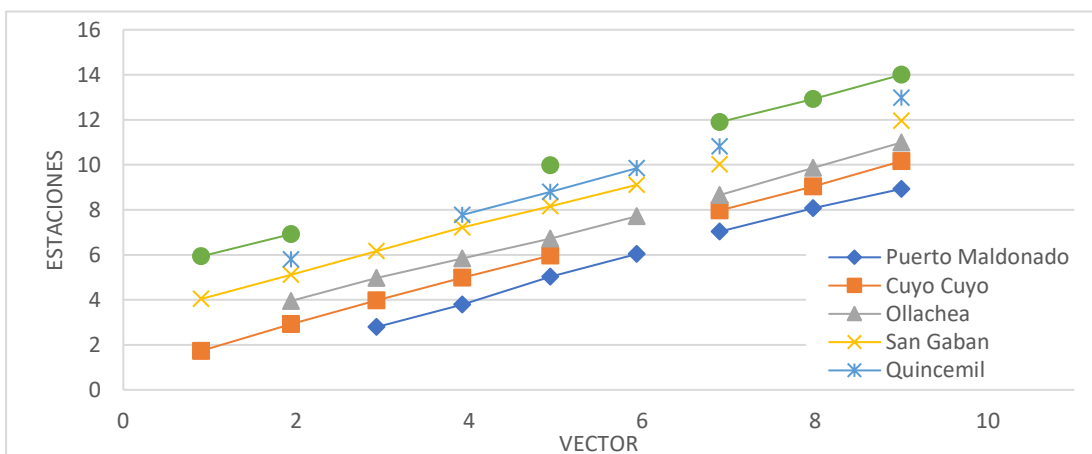
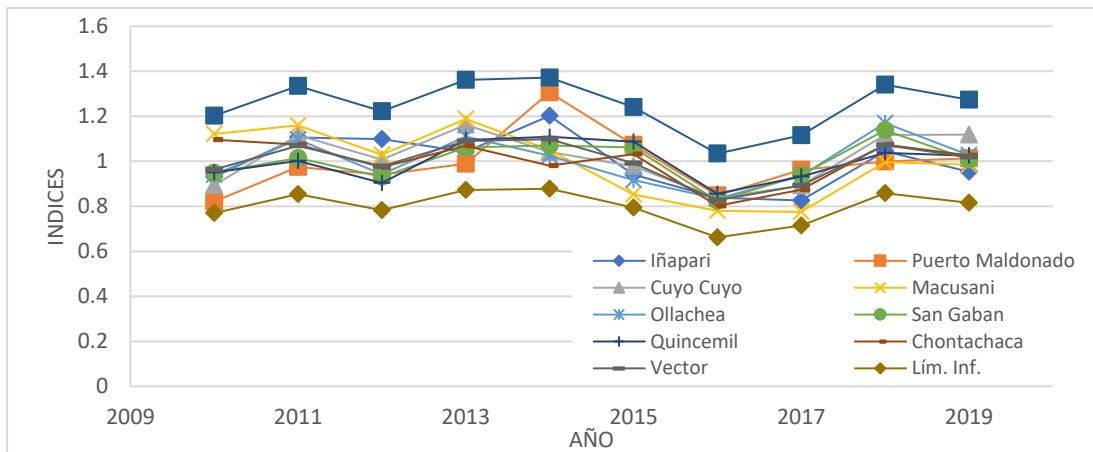
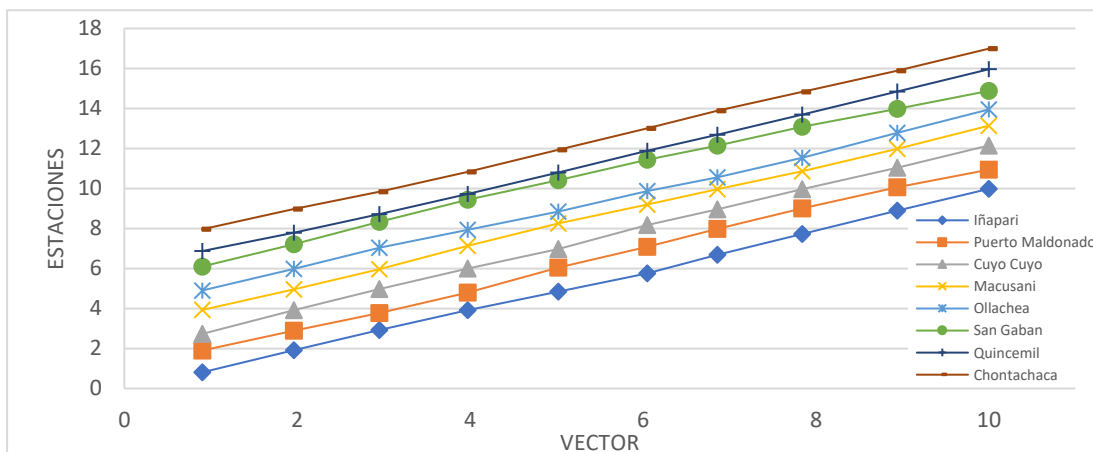


Figura 6. Suma de índices en el vector por estación con datos faltantes.

Mediante la completación de datos se realizó con el “método de ajuste de la media predictiva – pmm”, al realizar el método se observa que las estaciones tienen un ligero dirección del vector y tiene la misma orientación y un ligero comportamiento entre las estaciones figura 7. También se evalúa que las estaciones son homogéneas y su pendiente no varía en su trayectoria el cual se observa en la figura 8.

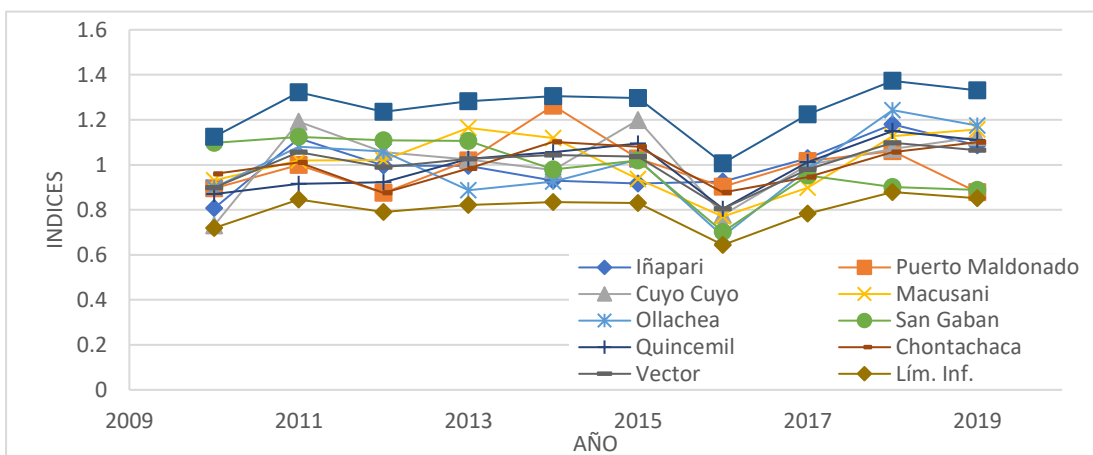


**Figura 7.** Análisis de precipitación mensual.

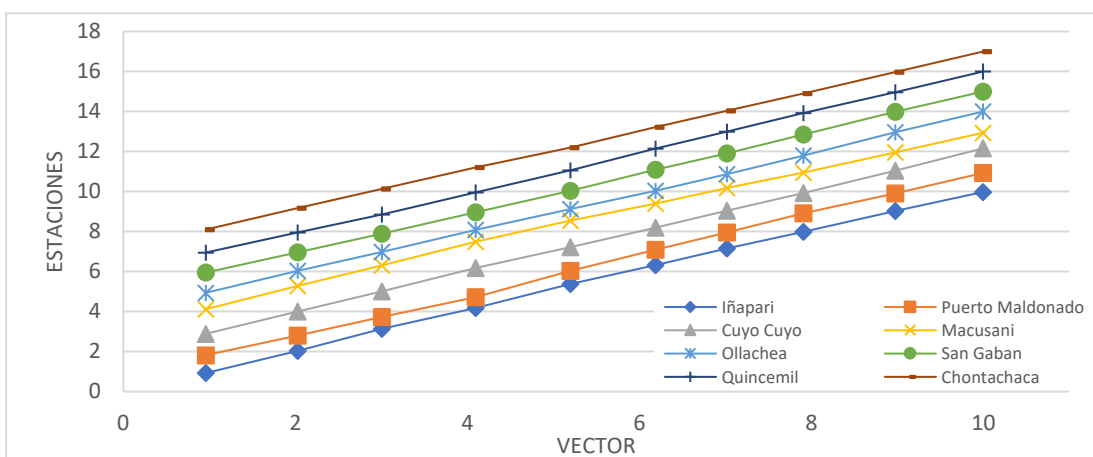


**Figura 8.** Suma de índices del vector por estación.

De la misma forma tenemos la correlación de los datos de la precipitación mensual del satélite GPM IMERG de las estaciones con el vector de diferentes datos, donde existe una buena correlación de datos a su vez un ligero comportamiento entre las estaciones figura 9. También se aprecia que las estaciones son homogéneas y su pendiente no varía en su trayectoria como se muestra en la figura 10.



**Figura 9.** Análisis de precipitación mensual.



**Figura 10.** Suma de índices del vector por estación.

En la tabla 8 de acuerdo a la correlación del vector y Desviación estándar de desvíos en cada estación se observa que las es D.E.D.  $< 0,2$  en datos completados de SENAMHI y datos GPM, donde todas las estaciones están dentro de los parámetros de acuerdo lo que indica Pereyra (2017) de igual forma en la correlación del vector  $> 0,7$  en datos completados de SENAMHI se observa que las estaciones Iñapari, Puerto Maldonado y San Gaban son menores la correlación de vector y las demás estaciones si tiene una buena correlación y datos GPM solo la estación Puerto Maldonado no supera la correlación del vector.

**Tabla 8.** D.E.D. y Correlación / Vector en cada estación.

Estaciones	SENAMHI				GPM	
	Datos faltantes		Datos completados		IMERGDF v6	
	D.E.D.	Correl. /Vector	D.E.D.	Correl. /Vector	D.E.D.	Correl. /Vector
Iñapari	-	-	0,080	0,657	0,065	0,831
Puerto Maldonado	0,116	0,218	0,106	0,447	0,100	0,611
Cuyo Cuyo	0,096	0,771	0,093	0,829	0,053	0,890
Macusani	-	-	0,075	0,819	0,095	0,757
Ollachea	0,087	0,714	0,093	0,839	0,050	0,859
San Gaban	0,094	-0,182	0,123	0,382	0,043	0,873
Quincemil	0,069	-0,087	0,059	0,840	0,048	0,835
Chontachaca	0,047	0,683	0,059	0,741	0,059	0,778

Según Espinoza (2005), menciona que los datos del tiene una correlación optima en calidad de ambos datos el cual se puede considerar para su evaluación que aprecia que las estaciones son homogéneas y su pendiente no varía en su trayectoria.

## 4.2. Grado de correlación

### 4.2.1. Errores estadísticos

La comparación cuantitativa entre los datos estimados por el satélite con los datos observados por las estaciones se calcula lo siguiente; Eficiencia de Nash-Sutcliffe, Coeficiente de Correlación de Pearson, raíz del error medio cuadrado y porcentaje de sesgo.

En general, se observa que NSE relativamente adecua para cada estación (tabla 9, figura 11 y anexo 4), el más aceptable es la estación Puerto

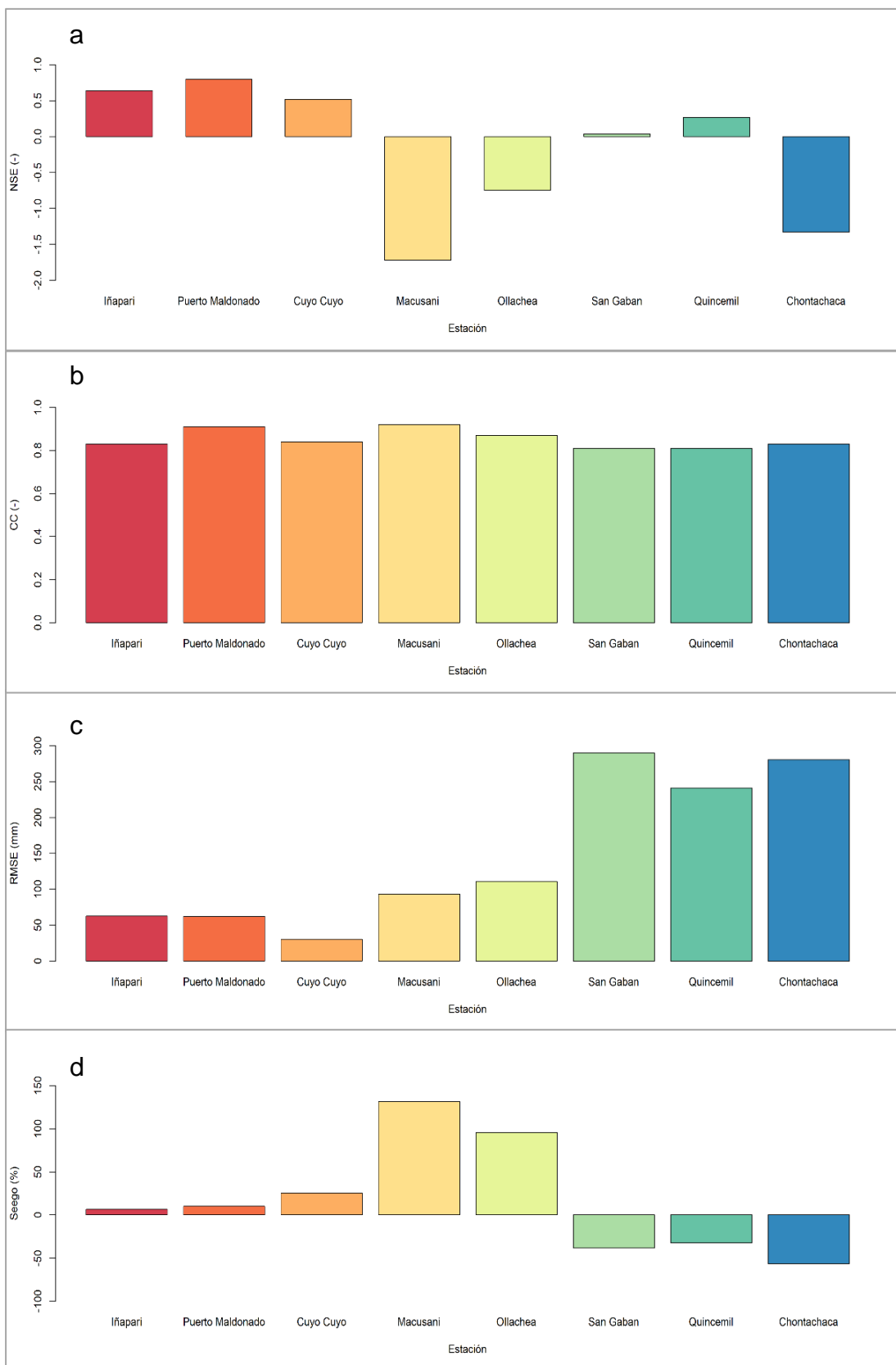


Maldonado con 0,80 según Ritter y Muñoz (2013) ese ajusta como bueno seguidamente Iñapari, Cuyo Cuyo, Quincemil y San Gaban se ajusta como ajuste insatisfactorio, a su vez las estaciones con datos positivos indica que los datos simulados es el regular predictor que el modelo y los datos negativos Macusani, Ollachea y Chontachaca son muy insatisfactorias.

En relación con el Coeficiente de Pearson se obtuvo un valor mínimo de 0,81 de las estaciones de San Gaban y Quincemil, la estación más cerca de 1 es Macusani con 0,93 donde se muestra (tabla 9, figura 11), que representa estos resultados en forma cuantitativa, ya que los resultados muestran una buena correlación.

El RMSE se logró un valor mínimo de 30,58 mm en la estación Cuyo Cuyo seguidamente de la estación Puerto Maldonado, Iñapari y Macusani al tener esos valores relativamente bajo que quiere decir que los datos simulados están generando buenas estimaciones que son óptimos, las estaciones con mayores datos son Ollachea, San Gaban, Quincemil y Chontachaca menciona que RMSE no es óptimo son valores extremos.

En BIAS la estación óptima es Iñapari con menor magnitud (cerca a cero) el cual indica que tiene una buena correlación seguidamente de las estaciones Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo y Ollachea entre datos simulados con datos observados, el valor más alto es 132% que es la estación Macusani el cual sobreestima y el valor más bajo fue una subestimación de -56,40% de la estación Chontachaca.



**Figura 11.** Eficiencia de Nash-Sutcliffe (a), Coeficiente de Correlación de Pearson (b), Raíz del error media cuadrado (c) y Porcentaje de sesgo (d), para las estaciones.

**Tabla 9.** Comparación de resultados de error estadístico.

ESTACIÓN	ELEVACIÓN (msnm)	NSE (-)	CC (-)	RMSE (mm)	PBIAS (%)
Iñapari	245	0,64	0,83	62,69	6,70
Puerto Maldonado	209	0,80	0,91	62,38	10,20
Cuyo Cuyo	3619	0,52	0,84	30,58	25,40
Macusani	4363	-1,72	0,92	93,54	132,00
Ollachea	2850	-0,75	0,87	111,05	95,90
San Gaban	666	0,04	0,81	289,81	-38,30
Quincemil	651	0,27	0,81	241,28	-32,10
Chontachaca	872	-1,33	0,83	280,53	-56,40

#### 4.2.2. Índice de detección

Los índices de detección se muestran en la tabla 10 y en las figuras 12, 13, 14, 15.

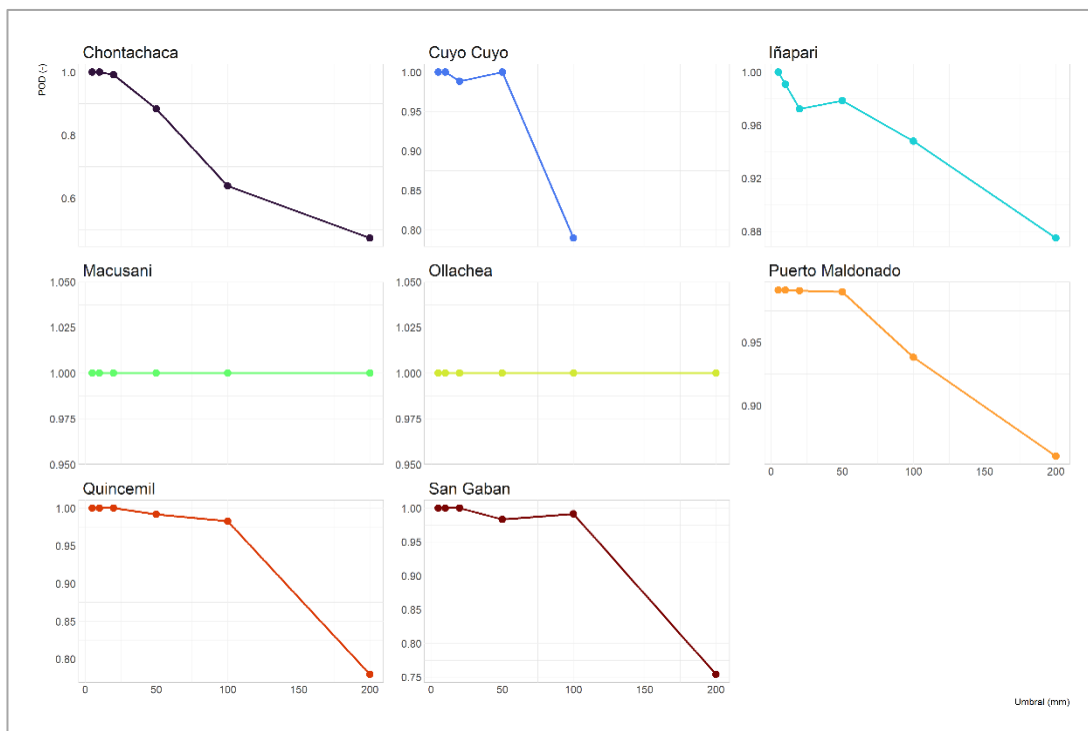
**Tabla 10.** Índice de promedio para las estaciones.

ESTACIÓN	ELEVACIÓN (msnm)	POD	ETS	FAR	FBI
Iñapari	245	0,96	0,42	0,11	1,09
Puerto Maldonado	209	0,96	0,33	0,08	1,04
Cuyo Cuyo	3619	0,95	0,35	0,33	inf
Macusani	4363	1,00	0,10	0,43	3,11
Ollachea	2850	1,00	0,08	0,28	1,57
San Gaban	666	0,95	0,15	0,00	0,95
Quincemil	651	0,95	0,04	0,00	0,96
Chontachaca	872	0,83	0,01	0,00	0,83

#### Probabilidad de detección

Se halló valores altos POD para todas las estaciones, existe una buena detección de los datos simulados excepto para la estación Chontachaca donde el valor promedio es de 0,98, debido a que en todo el umbral se obtuvo

un valor de 1 excepto para el umbral mayor a 50 mm un valor de 0,88 es donde empieza a decrecer el valor, de igual manera sucede en las demás estaciones en excepción para las estaciones Macusani y Ollachea en todos los umbrales tiene el valor de 1 y en realidad ocurrió, figura 12.

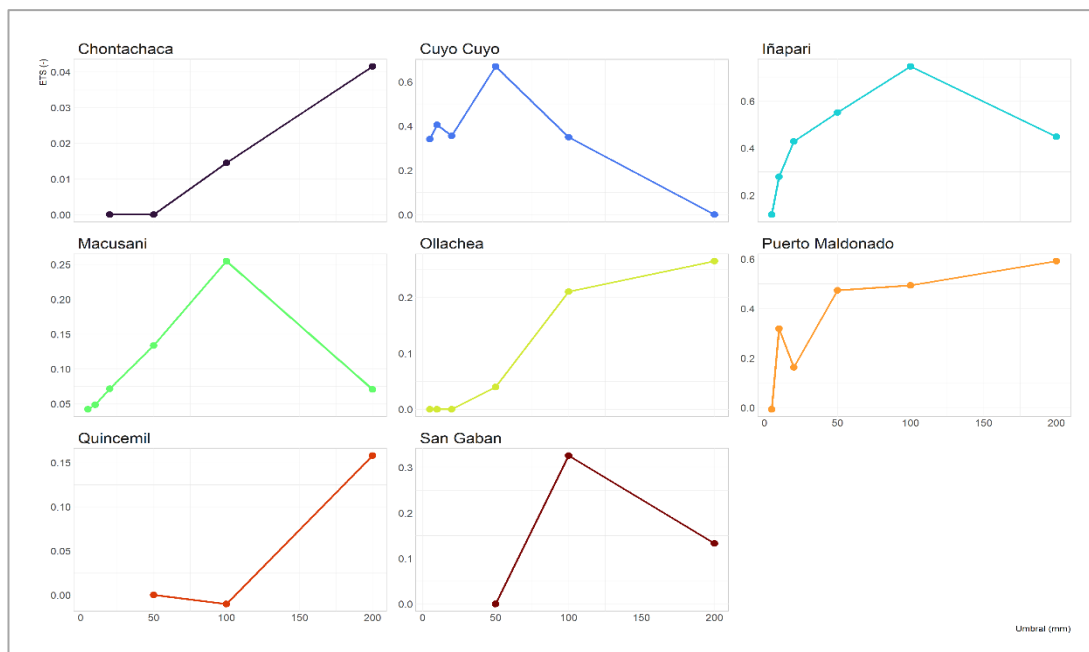


**Figura 12.** Índice del POD en los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200 mm de precipitación por estación.

### Probabilidad de detección corregida

Los datos del ETS fueron datos menores al de POD debido a que las detecciones son al azar de esta manera cambia la tendencia. Donde el valor máximo promedio es de 0,42 de la estación Iñapari, por el contrario, el valor mínimo promedio es de 0,08 de la estación Ollachea. Los valores del índice ETS para las estaciones de Puerto Maldonado, Ollachea, Quincemil y Chontachaca tienden un incremento para los umbrales de precipitación entre

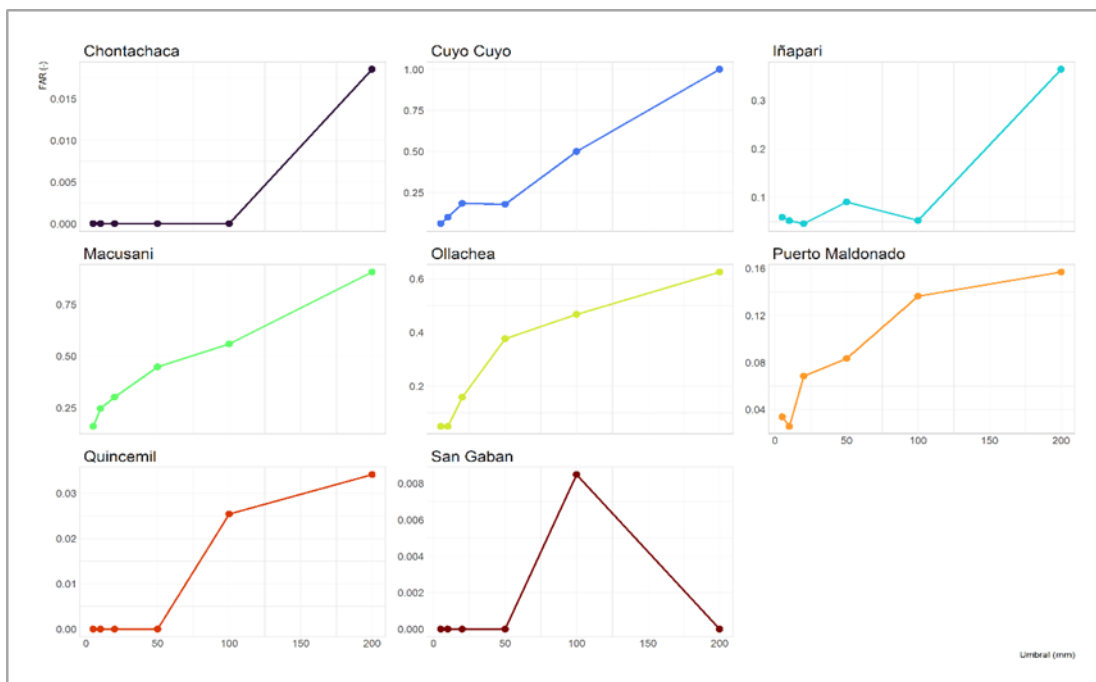
50 y 10 mm y va en aumento, para las demás estaciones empieza a decrecer para umbrales de precipitación a partir de 50y 100 mm figura 13.



**Figura 13.** Índice ETS en los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200 mm de precipitación para las estaciones.

### Falsa Alarma

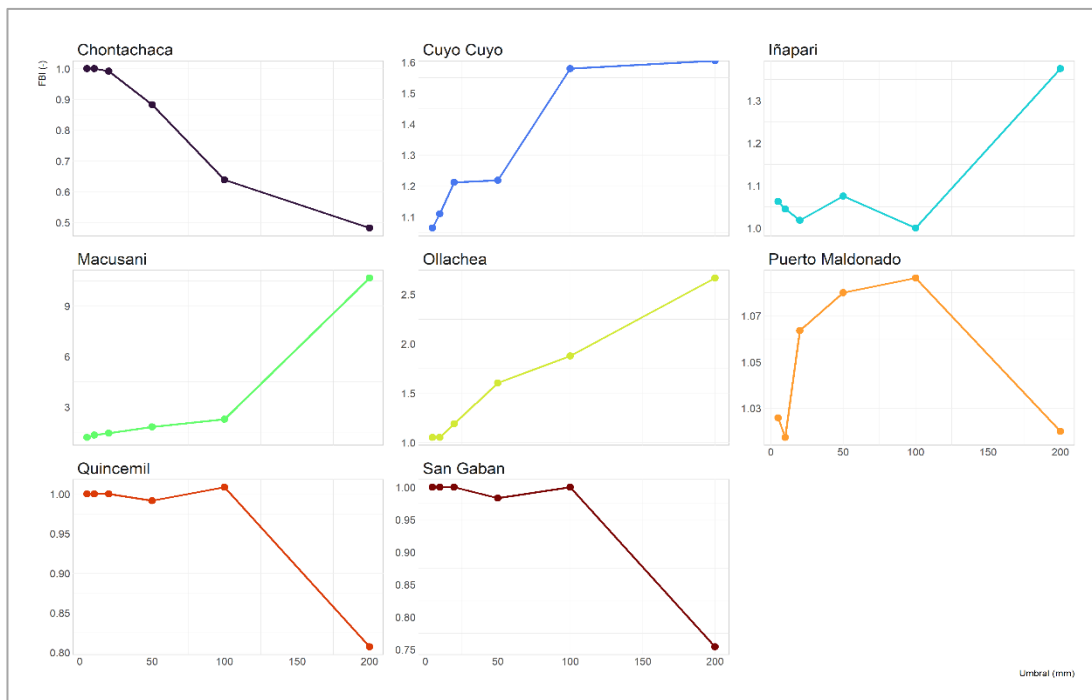
En cuanto al FAR las estaciones San Gaban, Quincemil y Chontachaca no emiten faltas alarmas con un valor de 0,00 para los umbrales de precipitación de 5, 10, 20 50, 100 mm, sin embargo para la estación de Puerto Maldonado se obtuvo un valor promedio de 0,08 empieza a decrecer el valor y vuelve a crecer desde el umbral de 10 mmm, la estación Ollachea obtuvo un valor promedio de 0,28 y la estación Macusani obtuvo un valor promedio de 0,43 en cual empieza a crecer desde el inicio de los umbrales de precipitación de igual manera la estación Ñapari y Cuyo Cuyo tienen a decrecer desde el umbral de precipitación de 20 y 50 mm y vuelve a crecer desde los umbrales de precipitación de 50 y 100 mm, donde muestra una pequeña porción de la precipitación estimada por el satélite donde indica que en realidad no ocurrió en cual se muestra en la figura 14.



**Figura 14.** Indices FAR para los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200 mm de precipitación por estación.

### Frecuencia de sesgo

En la FBI en las estaciones de Iñapari, Puerto Maldonado, San Gaban, Quincemil y Chontachaca se sobre estimó la precipitación con valores muy cercano a uno, para la estación de Macusani y Ollachea se obtuvieron un valor promedio de 3,11 y ,57 estos valores altos se obtuvieron en umbrales mayores a 20 mm de precipitación en cual tiene una sobreestimación de FBI igual a 10,66. En la estación Cuyo Cuyo el cual obtuvo un valor mínimo de 1,06 en el valor más para el umbral mayor a 200 mm de precipitación, tenemos una sobre estimación de FBI igual a Inf. En general se tiene valores bueno de FBI en distintas estaciones donde indica que los datos estimados por el satélite contrastan apropiadamente con los datos observados por las estaciones el cual se muestra en la figura 15.

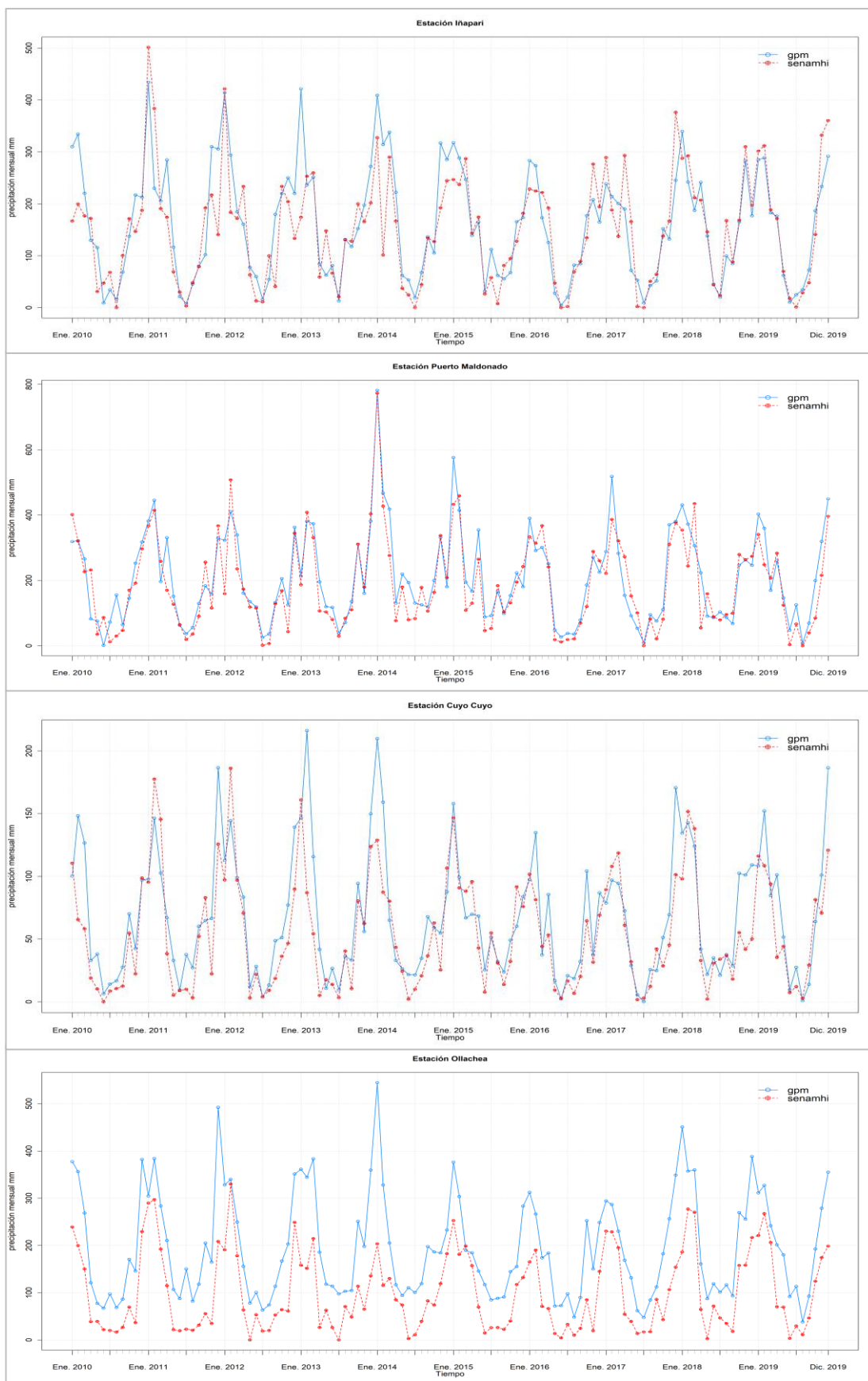


**Figura 15.** Índice de FBI para los umbrales 5, 10, 20, 50, 100, 200mm de precipitación por estación.

### 4.3. Precipitación en el periodo de estudio

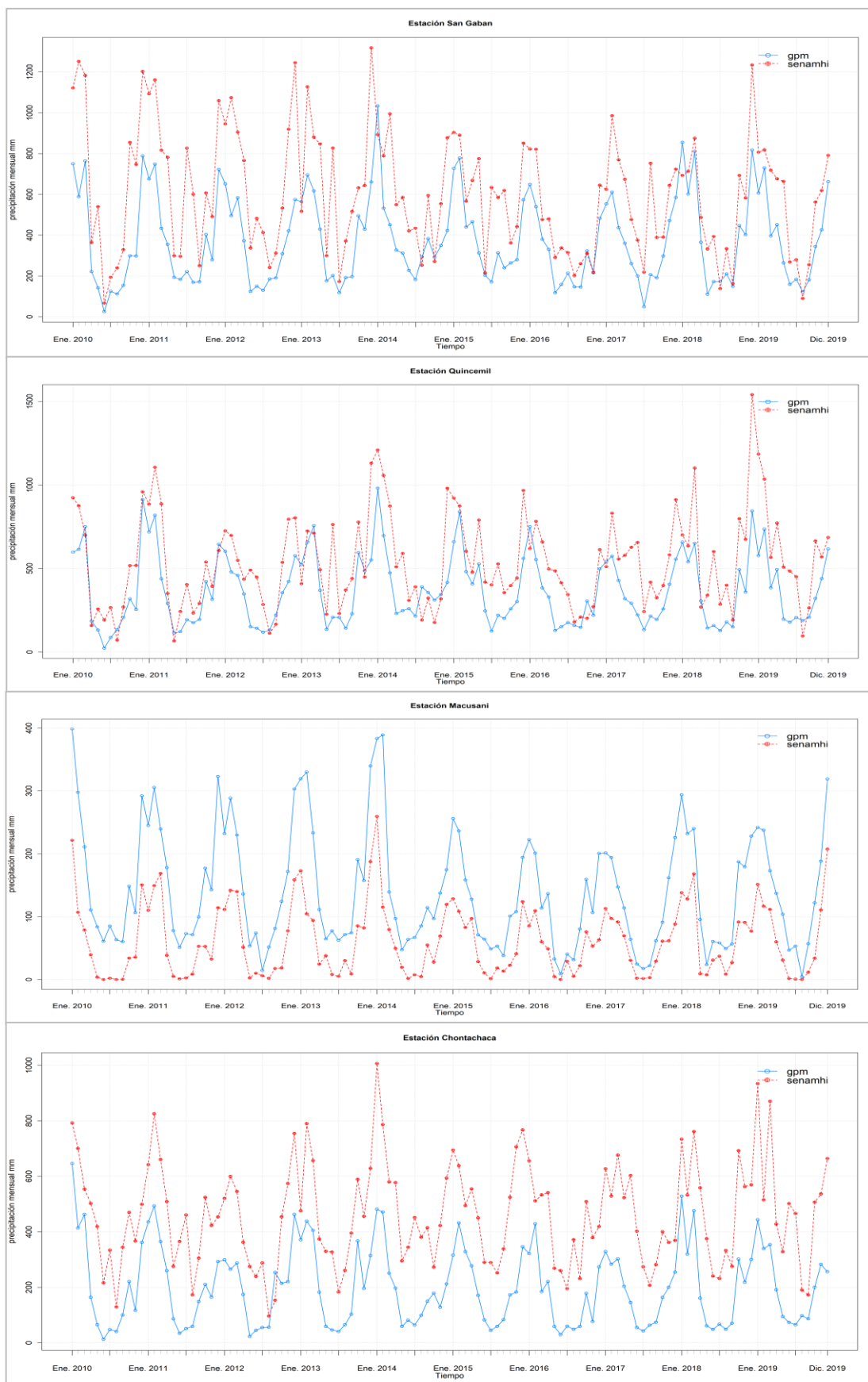
Al realizar la comparación de ambos datos (figura 16 y figura 17), se aprecia que las siguientes estaciones Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Ollachea, San Gaban, Quincemil y Chontachaca se puede observar que la precipitación relacionada entre ambas representa de forma adecuada. Es decir que los valores de la precipitación obtenido por el satélite no son exactos, pero en forma gráfica si representa adecuadamente.

Es tomar en cuenta que uno de los principales inconvenientes es al utilizar un producto satelital donde los valores obtenidos para cada pixel tienen una resolución espacial determinada el cual limita la estimación correcta de la variable climatológica. En la figura 17 en las estaciones San Gaban y Quincemil hay una semejanza entre ambos datos, en la estación macusani Sobreestimación y en Chontachaca subestimación pero gráficamente tienen una similitud de datos.



**Figura 16.** Precipitación mensual por estaciones de datos simulados con datos observados.





**Figura 17.** Precipitación mensual por estaciones de datos simulados con datos observados.

En la figura 16 en la estación Iñapari se observa un pico alto de precipitación en el mes de enero de 2012 de mayor precipitación que determina ambos datos de igual forma en la estación Puerto Maldonado se observa un pico alto de precipitación en el mes de enero de 2014 de mayor precipitación que determina ambos datos, semejantemente se observa en la estación Cuyo Cuyo y en la estación Ollachea la precipitación alta es generada por GPM en el mes de enero de 2014 en cual hay sobreestimación.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Los valores logrados de la precipitación mensual de las estimaciones por el Satélite GPM producto IMERGDF v6 considerados para el periodo de enero de 2010 a diciembre de 2019, indican un comportamiento similar a los valores registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

En la cuenca del río Bogotá el ajuste de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas tiene la misma tendencia que los datos de precipitación mensual del satélite TRMM, donde obtuvieron un coeficiente de correlación en fase de validación que arrojaron mayor a 0,9 en la mayoría de los datos. En el análisis de correlación que se realizó también supera el 0,9 en las estaciones Puerto Maldonado y Macusani y en las demás estaciones arrojaron un promedio de 0,8 pero generalmente es aceptable, lo que apareció como coeficientes de correlación altos (CC) e indicadores de error bajos (NSE, RMSE y PBIAS), donde estudios anteriores han confirmado esto (Rivas, 2014; Wu et al., 2019).

Así mismo Cabrera (2016), en el índice de detección indica que los datos de POD y FAR que tiene una buena detección de acuerdo al dato obtenido es de una prometedora perspectiva de utilidad hidrológica anticipando moderadamente mejoras en el producto sobre TMPA dada la capacidad de detectar lluvia ligera y precipitación sólida.

Estos hallazgos están de acuerdo con estudio previos reportados en la literatura (Ma et al., 2016; Xu et al., 2017; Yang et al., 2020). El rendimiento de productos SPP podría deberse a los propios productos y a la topografía. Los productos de precipitación satelital combinan datos de sensores

satelitales y medidores terrestres. Dado que los datos de varias estaciones de medición se utilizan en las zonas montañosas y mientras que el resto se encuentran en zonas bastante planas, donde la precisión de los productos de precipitación de los satélites puede ser afectada. (Chen y Li, 2016; Tang et al., 2016) también informa que la precisión de los productos de precipitación satelital en áreas montañosas altas podría atribuirse a la red de escaso calibre. Además, las diferentes estimadas también podrían atribuirse a las diferencias del proceso de lluvia, que es bastante complicado en áreas montañosas que es áreas de baja altitud debido a la influencia de la topografía.

## **CONCLUSIÓN**

Mediante la presente investigación se ha logrado analizar los datos a escala mensual (enero de 2010 – diciembre 2019) atípicos tanto de las estaciones meteorológicas observadas por el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica – SENAMHI y la precipitación adquirida del satélite GPM 3IMERGDF v06.

La comparación estadística se resume a continuación:

- Se realizó el control de calidad de datos de datos de precipitación mensual utilizado en software Hydraccess entre los datos del satélite GPM IMERGDF v6 con los datos observados por el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica – SENAMHI donde los datos del DED son  $< 0,2$  y se encuentran dentro de los parámetros como también Correl. / Vector es  $> a 0,7$  en excepción de la estación de Ñapari que tiene un valor de  $0,657$ .
- En el análisis comparativo mediante los errores estadísticos y índice de detección entre los datos del satélite GPM IMERGDF v6 con los datos observados por el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica – SENAMHI los datos en el NSE son  $< 0,65$  que es insatisfactorio eso quiere decir que no cuantifica adecuadamente el modelo en cambio con los datos de CC que son  $> a 0,8$  que muestra una mejor concordancia, en el RMSE

varia los valores de un promedio de 146,48 mm que son valores extremos, el porcentaje de sesgo en las estaciones Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, Macusani y Ollachea son valores positivo y muestra una sobreestimación pero las estaciones San Gaban, Quincemil y Chontachaca resultan valores negativos y muestran una subestimación del producto satélite, en cambio en el índice de detección  $POD = 1$ ,  $ETS = 0,2$ ,  $FAR = 0,2$ ,  $FBI = 1,4$ , donde  $POD$  estima adecuadamente,  $FAR$  eso indica que el satélite estima ligeramente la precipitación de igualmente  $FBI$  se detectó la calidad de la precipitación detectada por el satélite.

- Se realizó el análisis de tendencia de la serie entre los datos del satélite GPM IMERGDF v6 con los datos administradas por el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica – SENAMHI donde gráficamente coinciden ambos datos y tienen una buena representación en las estaciones Iñapari, Puerto Maldonado, Cuyo Cuyo, San Gaban y Quincemil, excepto en las estaciones de Ollachea y Macusani hay una sobreestimación del satélite y en la estación Chontachaca una subestimación por parte del satélite.

## **RECOMENDACIONES**

- Como resultado del presente trabajo de investigación se sugiere utilizar los datos del satélite GPM en áreas de estudio con datos climatológicos y con áreas similares al estudio se puede utilizar solo como datos complementarios y se recomienda revisarse otras investigaciones con factores climáticos similares a la cuenca que se estudió para tomar una adecuada decisión.
- Se recomienda realizar una evaluación de descarte de nivel de elevación de todas las estaciones para una adecuada evaluación tanto a nivel diario, mensual y anual.
- Para poder utilizar un registro de datos de lluvia siempre es necesario hacer un análisis de bondad para que nuestros datos sean confiables y hacer el respectivo proceso para su utilización, debido a que en el registro siempre puede haber errores.

- Se recomienda continuar con el análisis de descarga, procesamiento y comparación de estimaciones de precipitación de las imágenes satelitales asimismo sugiere aplicar estos datos en estudios hidrológicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANA, 2010. Estudio Diagnóstico Hidrológico de la Cuenca de Madre de Dios [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/35>.
- ASURZA, F., RAMOS, C. y LAVADO, W., 2018. Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Global Precipitation Measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, Perú. *Scientia Agropecuaria*, vol. 9, no. 1, pp. 53-62. ISSN 2306-6741. DOI 10.17268/sci.agropecu.2018.01.06.
- AUCAHUASI, A., 2019. Análisis de tendencias de precipitación y temperatura(1970-2017)en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO. Disponible en: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4769>.
- BARRÍA, P., 2010. Pronóstico de caudales medios mensuales en las cuencas de los ríos Baker y Pascua [en línea]. S.l.: Universidad de Chile. Disponible en: [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barria\\_ps/pdfAmont/cf-barria\\_ps.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barria_ps/pdfAmont/cf-barria_ps.pdf).
- BREÑA, J., 2015. Estimación De La Precipitación En La Cuenca Del Río Balsas Mediante El Uso De Satélites. S.l.: Universidad Nacional Autonoma De Mexico.
- BUUREN, S. y GROOTHUIS-OUDSHOORN, K., 2011. mice : Multivariate Imputation by Chained Equations in R. *Journal of Statistical Software* [en línea], vol. 45, no. 3. ISSN 1548-7660. DOI 10.18637/jss.v045.i03. Disponible en: <http://www.jstatsoft.org/v45/i03/>.
- BUYTAERT, W., CÉLLERI, R., BIÈVRE, B. De, CISNEROS, F., WYSEURE, G., DECKERS, J. y HOFSTEDE, R., 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, vol. 79, no. 1-2, pp. 53-72. DOI 10.1016/j.earscirev.2006.06.002.
- CABRERA, E., 2016. Evaluación de imágenes satelitales de precipitaciones GPM (Global Precipitation Measurement) a escala mensual para el Azuay [en línea]. S.l.: Univeresidad de Cuenca. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24213>.
- CAICEDO, F., 2008. Asimilación de precipitación estimada por imágenes de satélite en modelos hidrológicos aglutinados y distribuidos, caso de

estudio afluencias al embalse de Betania (Huila, Colombia) [en línea]. S.l.: Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/3807>.

- CANZIANI, P. y BENITEZ, G., 2012. Climate Impacts of Deforestation / Land-Use Changes in Central South America in the PRECIS Regional Climate Model: Mean Precipitation and Temperature Response to Present and Future Deforestation Scenarios. *The Scientific World Journal*, vol. 2012, pp. 20. DOI 10.1100/2012/972672.
- CECCATO, P. y DINKU, T., 2010. Introduction to remote sensing for monitoring rainfall, temperature, vegetation and water bodies. S.l.: s.n.
- CHANG, N. y HONG, Y., 2012. Multiscale hydrologic remote sensing: Perspectives and applications. CRC press. S.l.: s.n.
- CHEN, F. y LI, X., 2016. Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China. *Remote Sensing*, vol. 8, no. 6, pp. 1-18. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs8060472.
- COAQUIRA, Y., CALDERÓN, A. y HUACCOTO, P., 2019. Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales utilizando datos satélite TRMM 3B43 y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané Puno-Perú. , vol. 2, no. 051, pp. 50-58.
- CÓRDOBA, S., ZEA, J. y MURILLO, W., 2006. Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento de Choco, Colombia. *Meteorología Colombiana* [en línea], vol. 10, no. 1970, pp. 100-110. ISSN 0124-6984. Disponible en: [http://webigacl.igac.gov.co/mapas.htm%0Ahttp://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista\\_meteorologia\\_colombiana/numero10/10\\_09.pdf](http://webigacl.igac.gov.co/mapas.htm%0Ahttp://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero10/10_09.pdf).
- ESPINOZA, J., 2005. El método del Vector Regional de Índices Pluviométricos. curso taller: Utilización del método del vector Regional con HYDRACCESS. [en línea]. SENAMHI – Perú.: Disponible en: <https://sites.google.com/site/jhancarloespinoza/cursos>.
- GÁMEZ, W., 2010. Texto Básico de Hidrología [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 978-99924-1-009-7. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf>.
- GEBREMICHAEL, M. y HOSSAIN, F., 2010. Satellite rainfall applications for surface hydrology. S.l.: Springer Netherlands. ISBN 9789048129140.
- HOU, A., KAKAR, R., NEECK, S., AZARBARZIN, A., KUMMEROW, C., KOJIMA, M., OKI, R., NAKAMURA, K. y IGUCHI, T., 2014. The Global Precipitation Measurement Mission. *Bulletin of the American Meteorological Society* [en línea], vol. 95, no. 5, pp. 701-722. [Consulta: 17 febrero 2020]. ISSN 0003-0007. DOI 10.1175/BAMS-D-13-00164.1. Disponible en: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>.

- HOUZE, R.A., 1997. Stratiform Precipitation in Regions of Convection: A Meteorological Paradox? *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, no. 10, pp. 2179-2196. ISSN 00030007. DOI 10.1175/1520-0477(1997)078<2179:SPIROC>2.0.CO;2.
- HUFFMAN, G., 2019. The Transition in Multi-Satellite Products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG) [en línea]. 2019. S.l.: s.n. Disponible en: <https://gpm.nasa.gov/resources/documents/transition-multi-satellite-products-trmm-gpm-tmpa-imerg>.
- HUFFMAN, G., ADLER, R., BOLVIN, D., GU, G., NELKIN, E., BOWMAN, K., HONG, Y., STOCKER, E. y WOLFF, D., 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis ( TMPA ): Quasi-Global , Multiyear , Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *American Meteorological Society*, vol. 08, pp. 38-55. DOI 10.1175/JHM560.1.
- HUFFMAN, G., BOLVIN, D., BRAITHWAITE, D., HSU, K., JOYCE, R., KIDD, C., NELKIN, E., SOROOSHIAN, S., TAN, J. y XIE, P., 2019. Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG). . S.l.: s.n.,
- HUFFMAN, G., BOLVIN, D., BRAITHWAITE, D., HSU, K., JOYCE, R., KIDD, C., NELKIN, E. y XIE, P., 2015. NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 4.5 [en línea], no. November, pp. 26. Disponible en: [https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/imce/times\\_allsat.jpg%0Ahttps://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_ATBD\\_V4.5.pdf%0Ahttps://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document\\_files/IMERG\\_ATBD\\_V4.5.pdf](https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/imce/times_allsat.jpg%0Ahttps://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.5.pdf%0Ahttps://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V4.5.pdf).
- LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULUS, J., 1994. *Hidrología para ingenieros*. 3rd. ed. México: McGraw-Hill.
- MA, Y., TANG, G., LONG, D., YONG, B., ZHONG, L., WAN, W. y HONG, Y., 2016. Similarity and error intercomparison of the GPM and its predecessor-TRMM multisatellite precipitation analysis using the best available hourly gauge network over the Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, vol. 8, no. 7, pp. 1-17. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs8070569.
- MANTAS, V., LIU, Z., CARO, C. y PEREIRA, A., 2015. Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis ( TMPA ) products in the Peruvian Andes. *Atmospheric Research*, vol. 163, pp. 132-145. ISSN 0169-8095. DOI 10.1016/j.atmosres.2014.11.012.
- MICHAELIDES, S., LEVIZZANI, V., ANAGNOSTOU, E., BAUER, P., KASPARIS, T. y LANE, J., 2009. Precipitation: Measurement, remote sensing, climatology and modeling. *Atmospheric Research*, vol. 94, no. 4, pp. 512-533. DOI 10.1016/j.atmosres.2009.08.017.
- MINAM, 2013. Memoria del taller informativo “Adaptación al cambio climático en la Amazonía Peruana”. Lima, Perú. S.l.: Ministerio del Ambiente.

- MORAES, E., FRANCHITO, S. y RAO, B., 2013. Amazonian Deforestation : Impact of Global Warming on the Energy Balance and Climate. *Journal Of Applied Meteorology And Climatology*, vol. 52, pp. 521-530. DOI 10.1175/JAMC-D-11-0258.1.
- NASH, J. y SUTCLIFFE, J., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, vol. 10, no. 3, pp. 282-290. DOI 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- PEREYRA, L., 2017. Hydraccess, manual de usuario basico [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manuales\\_tecnicos\\_de\\_oficina/Manual\\_HYDRACCESS.pdf](https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manuales_tecnicos_de_oficina/Manual_HYDRACCESS.pdf).
- RITTER, A. y MUÑOZ, R., 2013. Performance evaluation of hydrological models : Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, vol. 480, pp. 33-45. ISSN 0022-1694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2012.12.004.
- RIVAS, J., 2014. Análisis de la correlación de datos de precipitación entre el satélite TRMM y las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Bogotá [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2932>.
- ROMERO, E., FLOREZ, M. y BALCERO, O., 2018. Evaluación y comparación de métodos de imputación múltiple implementados en el paquete mice de R. XXVIII Simposio Internacional de Estadística. S.l.
- SHARIFI, E., STEINACKER, R. y SAGHAFIAN, B., 2016. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation products against gauge data under different topographic and climatic conditions in Iran: Preliminary results. *Remote Sensing*, vol. 8, no. 2, pp. 135. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs8020135.
- SHI, J., YUAN, F., SHI, C., ZHAO, C., ZHANG, L., REN, L., ZHU, Y., JIANG, S. y LIU, Y., 2020. Statistical evaluation of the latest GPM-Era IMERG and GSMaP satellite precipitation products in the Yellow River source region. *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 4, pp. 1-23. ISSN 20734441. DOI 10.3390/W12041006.
- TANG, G., ZENG, Z., LONG, D., GUO, X., YONG, B., ZHANG, W. y HONG, Y., 2016. Statistical and hydrological comparisons between TRMM and GPM Level-3 products over a midlatitude Basin: Is day-1 IMERG a good successor for TMPA 3B42V7? *Journal of Hydrometeorology*, vol. 17, no. 1, pp. 121-137. ISSN 15257541. DOI 10.1175/JHM-D-15-0059.1.
- TEAM, R.C., 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing [en línea]. 2021. Vienna, Austria.: s.n. Disponible en: <https://www.r-project.org/>.
- VÁSQUEZ, A., 2000. manejo de cuencas alto andinas. S.l.: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- WILM, H., NELSON, A. y STOREY, H., 1939. An Analysis of Precipitation



Measurements on Mountain Watersheds. Mon. Weather, vol. 67, no. 6, pp. 163-172. DOI 10.1175/1520-0493(1939)67<163:AAOPMO>2.0.CO;2.

WU, Y., ZHANG, Z., HUANG, Y., JIN, Q., CHEN, X. y CHANG, J., 2019. Evaluation of the GPM IMERG v5 and TRMM 3B42 v7 Precipitation Products in the Yangtze River Basin, China. Water [en línea], vol. 11, no. 7, pp. 1459. ISSN 2073-4441. DOI 10.3390/w11071459. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/7/1459>.

XU, R., TIAN, F., YANG, L., HU, H., LU, H. y HOU, A., 2017. Ground validation of GPM IMERG and trmm 3B42V7 rainfall products over Southern Tibetan plateau based on a high-density rain gauge network. Journal of Geophysical Research, vol. 122, no. 2, pp. 910-924. ISSN 21562202. DOI 10.1002/2016JD025418.

YANG, X., LU, Y., TAN, M.L., LI, X., WANG, G. y HE, R., 2020. Nine-year systematic evaluation of the GPM and TRMM precipitation products in the shuaishui river basin in east-central China. Remote Sensing, vol. 12, no. 6. ISSN 20724292. DOI 10.3390/rs12061042.

YONG, B., LIU, D., GOURLEY, J., TIAN, Y., HUFFMAN, G., REN, L. y HONG, Y., 2015. Global view of real-time TRMM multisatellite precipitation analysis: implications for its successor global precipitation measurement mission. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 96, no. 2, pp. 283-296.

ZAMBRANO, M., 2020. Package «hydroGOF»: Goodness-of-Fit Functions for Comparison of Simulated and Observed Hydrological Time Series.

## ANEXOS

### Anexo 1. Datos de precipitación utilizados de SENAMHI

Fecha	Iñapari	Puerto Maldonado	Cuyo Cuyo	Macusani	Ollachea	San Gaban	Quincemil	Chontachaca
1/01/2010	NA	NA	110,5	221,5	238,9	1121,5	923,6	791,9
1/02/2010	NA	NA	65,5	106,8	199,7	1251	875,2	700,3
1/03/2010	NA	NA	58,2	78,7	NA	1182,7	698,8	553,8
1/04/2010	NA	NA	18,9	39,4	38,6	363,6	158	502,4
1/05/2010	31	NA	10,2	3,7	39,2	539,3	256,7	419,2
1/06/2010	NA	NA	0	0	21,8	66,6	191	216,2
1/07/2010	NA	NA	8,5	2	20	193,4	265,5	334,1
1/08/2010	0	NA	10,6	0	16,5	239,3	69,8	129,6
1/09/2010	NA	NA	12,4	0,3	26,7	328,3	NA	344,4
1/10/2010	NA	NA	54,7	34	69,3	854,5	NA	470,1
1/11/2010	146,5	191,3	22,2	35,4	36,4	746,4	517,3	366,6
1/12/2010	NA	296,6	98,7	150,4	229,1	1202,1	958,7	499,4

1/01/2011	NA	366,6	95,3	NA	289,7	1092,6	885	641,8
1/02/2011	NA	414,4	177,5	NA	296,8	1161,1	1106,4	825,6
1/03/2011	190,7	258,5	145,4	168,7	192,2	816,1	886,7	660,8
1/04/2011	174,1	NA	38,3	NA	114,7	781,4	350,5	509,1
1/05/2011	68,7	127,2	5,2	NA	21,6	298,7	65,3	275,1
1/06/2011	NA	NA	9	1	19,5	295,8	242,3	365,4
1/07/2011	NA	19,2	10	2,5	22,7	826,4	403,4	460,7
1/08/2011	47,8	35,7	3,1	8,7	20,3	600,6	232,9	172,8
1/09/2011	79	90,2	52,1	NA	31,3	249,7	290,9	305,2
1/10/2011	192	NA	82,9	NA	55,5	606,6	538,4	524,5
1/11/2011	NA	115,6	22,2	NA	34,9	490,6	393,1	422,9
1/12/2011	NA	366,8	125,6	114,2	208,5	1059,3	607,1	453,9
1/01/2012	NA	159,3	97,1	NA	190,8	945,2	725,5	520,2
1/02/2012	183,6	507,4	186,1	141,9	330,1	1073,8	697,8	599,6
1/03/2012	171,8	235,1	96,9	NA	178	904,7	548,5	545,4
1/04/2012	233,3	173,5	70,6	NA	63,4	765,2	435,1	362,5
1/05/2012	63,1	118,4	3	NA	0	336,4	NA	274,8
1/06/2012	NA	115,1	21,8	10	53,2	481,9	447,7	239
1/07/2012	11	1,2	4	NA	18,6	413,1	283,7	NA
1/08/2012	99,6	6,5	9	1,9	20	240,9	112,1	NA
1/09/2012	40,6	128,2	18,6	NA	52,9	312	NA	153,5
1/10/2012	NA	168,5	36,2	NA	64,1	532,8	536,1	454,3
1/11/2012	204,2	43,2	46,5	NA	61	919,1	794,7	574,5
1/12/2012	NA	344,4	89,8	NA	248,8	1245,1	NA	754,6
1/01/2013	NA	186,6	160,9	NA	158,2	516,4	408,5	475,6
1/02/2013	253	408,2	86,9	NA	151,2	1126,7	724,4	789,8
1/03/2013	259,6	330,8	54,2	NA	214,4	880	711,3	656,8
1/04/2013	58,9	106,6	5	NA	26,4	846,7	492,9	374,2
1/05/2013	NA	103,4	17,5	NA	62,9	299,5	225,6	329,9
1/06/2013	66,4	80,3	13,8	NA	26,2	826,9	763,2	327,2
1/07/2013	20,8	29,1	3,3	NA	0	172,2	230	183
1/08/2013	130,4	83,9	40,4	NA	70,5	371,4	371	261,1
1/09/2013	127,8	110,2	10,5	NA	48,4	516,3	439,3	395,5
1/10/2013	NA	310,6	80,4	NA	113,7	631,9	777,4	589
1/11/2013	NA	179,4	62,3	NA	65	643,5	448,3	NA
1/12/2013	201,7	403,3	123,7	NA	135,6	1317,9	1130,1	628,7
1/01/2014	327,3	772,8	128,9	NA	203,5	892,5	1209,7	1006,3
1/02/2014	NA	427	87,3	115,1	115,3	788,2	1056,9	786,4
1/03/2014	NA	276,1	80,2	NA	129,8	995	873,9	579,9
1/04/2014	166,8	76,6	43,4	NA	84,7	549,2	509,5	577,3
1/05/2014	37,2	179,6	24,3	NA	74	585	589,8	295,4
1/06/2014	NA	79,2	2,1	NA	2,6	421	308,3	344,4

1/07/2014	NA	83	10	NA	11,1	433,9	390,4	451,4
1/08/2014	NA	178,5	20,7	NA	39,4	251,9	191,4	380,7
1/09/2014	NA	106	36,6	NA	82,5	594,9	323,3	414,6
1/10/2014	NA	163,3	62,8	27,5	73,8	270,6	176,8	272,4
1/11/2014	192,1	337,3	25,4	69	119	553,8	317,6	422,5
1/12/2014	244,4	208,1	106,6	119,5	182,6	877,1	980,5	593,6
1/01/2015	246,6	432,2	146,6	128,5	252,7	903,5	921,5	694,2
1/02/2015	237,1	459	90,8	108,5	181,1	889,9	873,7	638,2
1/03/2015	286,7	108,6	88,1	83	198,9	566,3	603,4	494,7
1/04/2015	143,4	130	95,8	97	157	668,4	476,9	NA
1/05/2015	NA	264,6	42,9	28,5	69,6	774,4	790,2	NA
1/06/2015	26,2	46,1	NA	10,6	14,5	214,2	417,5	290,3
1/07/2015	57,7	53,2	54,9	1	25,9	633,9	401,3	289,1
1/08/2015	7,6	183,8	31	18,5	26,1	584	526,7	252,3
1/09/2015	80,9	103,5	13,8	13,4	22,4	618,5	355,4	338,6
1/10/2015	94,5	131,7	32,2	22,9	40	361,3	397,5	524,9
1/11/2015	127,9	194,8	91,6	40,9	117,3	441,6	442,5	706
1/12/2015	181,6	242,4	75,9	124	132,2	850,9	966,7	767,2
1/01/2016	228,4	333,5	101,7	85	165	822,1	618,8	655,7
1/02/2016	NA	313,6	81,4	109,5	189,9	820,6	782,1	511,8
1/03/2016	NA	367,5	NA	60	71	476,2	658,5	533,3
1/04/2016	191,7	240,9	53,2	48,9	66,3	479,5	497,7	541,3
1/05/2016	47,2	NA	9,3	4,5	13,5	290	485,5	268,7
1/06/2016	0	NA	2,8	NA	4,4	337,6	413,6	259,9
1/07/2016	2	18,9	16,6	NA	32,8	314,2	343,5	195,1
1/08/2016	NA	20,9	6,7	NA	10	201,4	178,7	NA
1/09/2016	NA	69,4	20,1	22	24,4	259,3	209,4	NA
1/10/2016	NA	119,9	64,5	76	84,8	309,8	NA	509
1/11/2016	NA	288,5	31,5	53	19,4	215,7	NA	378,8
1/12/2016	194,2	260	69	63	144,8	645,1	NA	419
1/01/2017	NA	221,4	89,3	113	230,3	624	510,8	627,4
1/02/2017	NA	386,5	107,9	97	228,7	985,1	831,1	528,8
1/03/2017	137	321,1	118,6	91,5	195	769,4	555,6	676,4
1/04/2017	293	272,4	61	69,5	54,2	673,6	578,9	522,9
1/05/2017	165,7	152,4	31,8	30,5	39	476,5	626,8	602,8
1/06/2017	2	100,7	1,7	2	13,5	375,2	655,7	401,9
1/07/2017	0	0	2,9	1,5	16,8	218,1	241,7	274
1/08/2017	50,7	82,2	12,2	3	17,2	752,1	418	207,4
1/09/2017	64,2	21,1	42,1	29,1	85,6	388,4	323,8	282,2
1/10/2017	137,7	80,9	28,6	61,1	42,7	390,2	397,6	400,3
1/11/2017	166,4	310	45,2	61,5	106,4	643,6	581,1	361,7
1/12/2017	376,2	376,3	101,3	88,3	153,9	723,2	912,2	369,4

1/01/2018	287,4	353,9	97,9	138	186,2	NA	700,4	734
1/02/2018	292,3	243,9	151,7	128,1	277	713,1	634,5	532,7
1/03/2018	211,7	434,8	137,9	168	270,2	874,7	1101,9	761,5
1/04/2018	207	54,6	32,9	NA	64,5	486,4	269	558,3
1/05/2018	145,6	158,8	2,2	7,5	2,3	331,6	339,3	375,3
1/06/2018	43,9	88,5	30,7	NA	71,6	393,7	601,2	240,8
1/07/2018	23,1	78,8	34	37	46,4	137,2	285	231,9
1/08/2018	167,5	95,5	36,9	8,5	34,7	334,2	399,8	332,9
1/09/2018	88	99,6	18,1	NA	18	162,5	191,3	275,4
1/10/2018	168,2	279,1	55,1	NA	157,6	692,5	797,4	692,4
1/11/2018	309,9	263,2	41,8	90,8	158,2	582,1	NA	562,7
1/12/2018	197,4	273,8	50	77	216,6	1234,4	1540,9	569,5
1/01/2019	301,5	340,4	116,1	151,4	221	805,7	1184,7	933,5
1/02/2019	311,8	247,7	108,5	116,5	267,4	818,1	1034,3	515
1/03/2019	188,4	206,8	93,9	111,5	206	717,8	565,6	870
1/04/2019	171,4	283,5	35,4	60	70,2	676,2	772,2	427,8
1/05/2019	69,9	124	44,1	NA	69,3	663,2	508,1	328,4
1/06/2019	17,6	3,2	7,3	1,5	3,3	268	483,7	502
1/07/2019	1	66,5	12,1	0,5	29,4	279,3	450,7	465,9
1/08/2019	28,4	0	2,9	0	10,9	89,6	95,8	190,2
1/09/2019	48	39,6	29,3	11,5	46,3	254,8	263,6	172,4
1/10/2019	140,9	84,8	81,4	33,7	124,1	561,6	664,5	506,8
1/11/2019	332	215,6	70,7	110,5	174	618,5	569,3	536,7
1/12/2019	360,3	396,3	120,8	207,5	198,6	791,1	685,7	664

**Anexo 2.** Datos de precipitación utilizados de SENAMHI, completados mediante la función MICE.

Fecha	Iñapari	Puerto Maldonado	Cuyo Cuyo	Macusani	Ollachea	San Gaban	Quincemil	Chontachaca
1/01/2010	166,8	401,2	110,5	221,5	238,9	1121,5	923,6	791,9
1/02/2010	199,4	320,1	65,5	106,8	199,7	1251	875,2	700,3
1/03/2010	176,7	226,3	58,2	78,7	150,1	1182,7	698,8	553,8
1/04/2010	171,9	232	18,9	39,4	38,6	363,6	158	502,4
1/05/2010	31	35,1	10,2	3,7	39,2	539,3	256,7	419,2
1/06/2010	47	86,4	0	0	21,8	66,6	191	216,2
1/07/2010	67,8	12,1	8,5	2	20	193,4	265,5	334,1
1/08/2010	0	29,9	10,6	0	16,5	239,3	69,8	129,6
1/09/2010	100,1	47,2	12,4	0,3	26,7	328,3	269	344,4
1/10/2010	171,4	169,9	54,7	34	69,3	854,5	516,9	470,1
1/11/2010	146,5	191,3	22,2	35,4	36,4	746,4	517,3	366,6
1/12/2010	187,2	296,6	98,7	150,4	229,1	1202,1	958,7	499,4
1/01/2011	501,3	366,6	95,3	110	289,7	1092,6	885	641,8

1/02/2011	383,4	414,4	177,5	149,2	296,8	1161,1	1106,4	825,6
1/03/2011	190,7	258,5	145,4	168,7	192,2	816,1	886,7	660,8
1/04/2011	174,1	170	38,3	38,5	114,7	781,4	350,5	509,1
1/05/2011	68,7	127,2	5,2	5	21,6	298,7	65,3	275,1
1/06/2011	30	64,3	9	1	19,5	295,8	242,3	365,4
1/07/2011	3	19,2	10	2,5	22,7	826,4	403,4	460,7
1/08/2011	47,8	35,7	3,1	8,7	20,3	600,6	232,9	172,8
1/09/2011	79	90,2	52,1	52,9	31,3	249,7	290,9	305,2
1/10/2011	192	255,8	82,9	52,7	55,5	606,6	538,4	524,5
1/11/2011	217	115,6	22,2	32,5	34,9	490,6	393,1	422,9
1/12/2011	140,5	366,8	125,6	114,2	208,5	1059,3	607,1	453,9
1/01/2012	421,2	159,3	97,1	111,5	190,8	945,2	725,5	520,2
1/02/2012	183,6	507,4	186,1	141,9	330,1	1073,8	697,8	599,6
1/03/2012	171,8	235,1	96,9	139,9	178	904,7	548,5	545,4
1/04/2012	233,3	173,5	70,6	51,4	63,4	765,2	435,1	362,5
1/05/2012	63,1	118,4	3	2,5	0	336,4	489,9	274,8
1/06/2012	12,9	115,1	21,8	10	53,2	481,9	447,7	239
1/07/2012	11	1,2	4	6,2	18,6	413,1	283,7	288,2
1/08/2012	99,6	6,5	9	1,9	20	240,9	112,1	96,7
1/09/2012	40,6	128,2	18,6	17,5	52,9	312	165,2	153,5
1/10/2012	233,4	168,5	36,2	18,5	64,1	532,8	536,1	454,3
1/11/2012	204,2	43,2	46,5	77,3	61	919,1	794,7	574,5
1/12/2012	133,4	344,4	89,8	158,5	248,8	1245,1	803,6	754,6
1/01/2013	174,1	186,6	160,9	173	158,2	516,4	408,5	475,6
1/02/2013	253	408,2	86,9	104,4	151,2	1126,7	724,4	789,8
1/03/2013	259,6	330,8	54,2	94	214,4	880	711,3	656,8
1/04/2013	58,9	106,6	5	24,5	26,4	846,7	492,9	374,2
1/05/2013	147,9	103,4	17,5	38	62,9	299,5	225,6	329,9
1/06/2013	66,4	80,3	13,8	8	26,2	826,9	763,2	327,2
1/07/2013	20,8	29,1	3,3	5	0	172,2	230	183
1/08/2013	130,4	83,9	40,4	30	70,5	371,4	371	261,1
1/09/2013	127,8	110,2	10,5	8,9	48,4	516,3	439,3	395,5
1/10/2013	199,9	310,6	80,4	85,4	113,7	631,9	777,4	589
1/11/2013	165,5	179,4	62,3	82	65	643,5	448,3	455,8
1/12/2013	201,7	403,3	123,7	187,5	135,6	1317,9	1130,1	628,7
1/01/2014	327,3	772,8	128,9	259,5	203,5	892,5	1209,7	1006,3
1/02/2014	101,3	427	87,3	115,1	115,3	788,2	1056,9	786,4
1/03/2014	289,9	276,1	80,2	79,5	129,8	995	873,9	579,9
1/04/2014	166,8	76,6	43,4	49,5	84,7	549,2	509,5	577,3
1/05/2014	37,2	179,6	24,3	19,5	74	585	589,8	295,4
1/06/2014	24,5	79,2	2,1	1,5	2,6	421	308,3	344,4
1/07/2014	0	83	10	7,5	11,1	433,9	390,4	451,4

1/08/2014	44,2	178,5	20,7	4,5	39,4	251,9	191,4	380,7
1/09/2014	134,3	106	36,6	55	82,5	594,9	323,3	414,6
1/10/2014	127,2	163,3	62,8	27,5	73,8	270,6	176,8	272,4
1/11/2014	192,1	337,3	25,4	69	119	553,8	317,6	422,5
1/12/2014	244,4	208,1	106,6	119,5	182,6	877,1	980,5	593,6
1/01/2015	246,6	432,2	146,6	128,5	252,7	903,5	921,5	694,2
1/02/2015	237,1	459	90,8	108,5	181,1	889,9	873,7	638,2
1/03/2015	286,7	108,6	88,1	83	198,9	566,3	603,4	494,7
1/04/2015	143,4	130	95,8	97	157	668,4	476,9	554,4
1/05/2015	174,3	264,6	42,9	28,5	69,6	774,4	790,2	450,3
1/06/2015	26,2	46,1	7,7	10,6	14,5	214,2	417,5	290,3
1/07/2015	57,7	53,2	54,9	1	25,9	633,9	401,3	289,1
1/08/2015	7,6	183,8	31	18,5	26,1	584	526,7	252,3
1/09/2015	80,9	103,5	13,8	13,4	22,4	618,5	355,4	338,6
1/10/2015	94,5	131,7	32,2	22,9	40	361,3	397,5	524,9
1/11/2015	127,9	194,8	91,6	40,9	117,3	441,6	442,5	706
1/12/2015	181,6	242,4	75,9	124	132,2	850,9	966,7	767,2
1/01/2016	228,4	333,5	101,7	85	165	822,1	618,8	655,7
1/02/2016	224,7	313,6	81,4	109,5	189,9	820,6	782,1	511,8
1/03/2016	221,6	367,5	44	60	71	476,2	658,5	533,3
1/04/2016	191,7	240,9	53,2	48,9	66,3	479,5	497,7	541,3
1/05/2016	47,2	18,3	9,3	4,5	13,5	290	485,5	268,7
1/06/2016	0	11,6	2,8	0	4,4	337,6	413,6	259,9
1/07/2016	2	18,9	16,6	29,2	32,8	314,2	343,5	195,1
1/08/2016	68,8	20,9	6,7	5	10	201,4	178,7	371,8
1/09/2016	89	69,4	20,1	22	24,4	259,3	209,4	231,5
1/10/2016	134,4	119,9	64,5	76	84,8	309,8	201,2	509
1/11/2016	276,5	288,5	31,5	53	19,4	215,7	270,9	378,8
1/12/2016	194,2	260	69	63	144,8	645,1	612,7	419
1/01/2017	289,1	221,4	89,3	113	230,3	624	510,8	627,4
1/02/2017	188	386,5	107,9	97	228,7	985,1	831,1	528,8
1/03/2017	137	321,1	118,6	91,5	195	769,4	555,6	676,4
1/04/2017	293	272,4	61	69,5	54,2	673,6	578,9	522,9
1/05/2017	165,7	152,4	31,8	30,5	39	476,5	626,8	602,8
1/06/2017	2	100,7	1,7	2	13,5	375,2	655,7	401,9
1/07/2017	0	0	2,9	1,5	16,8	218,1	241,7	274
1/08/2017	50,7	82,2	12,2	3	17,2	752,1	418	207,4
1/09/2017	64,2	21,1	42,1	29,1	85,6	388,4	323,8	282,2
1/10/2017	137,7	80,9	28,6	61,1	42,7	390,2	397,6	400,3
1/11/2017	166,4	310	45,2	61,5	106,4	643,6	581,1	361,7
1/12/2017	376,2	376,3	101,3	88,3	153,9	723,2	912,2	369,4
1/01/2018	287,4	353,9	97,9	138	186,2	692,5	700,4	734

1/02/2018	292,3	243,9	151,7	128,1	277	713,1	634,5	532,7
1/03/2018	211,7	434,8	137,9	168	270,2	874,7	1101,9	761,5
1/04/2018	207	54,6	32,9	9,2	64,5	486,4	269	558,3
1/05/2018	145,6	158,8	2,2	7,5	2,3	331,6	339,3	375,3
1/06/2018	43,9	88,5	30,7	31	71,6	393,7	601,2	240,8
1/07/2018	23,1	78,8	34	37	46,4	137,2	285	231,9
1/08/2018	167,5	95,5	36,9	8,5	34,7	334,2	399,8	332,9
1/09/2018	88	99,6	18,1	27	18	162,5	191,3	275,4
1/10/2018	168,2	279,1	55,1	91,5	157,6	692,5	797,4	692,4
1/11/2018	309,9	263,2	41,8	90,8	158,2	582,1	673,7	562,7
1/12/2018	197,4	273,8	50	77	216,6	1234,4	1540,9	569,5
1/01/2019	301,5	340,4	116,1	151,4	221	805,7	1184,7	933,5
1/02/2019	311,8	247,7	108,5	116,5	267,4	818,1	1034,3	515
1/03/2019	188,4	206,8	93,9	111,5	206	717,8	565,6	870
1/04/2019	171,4	283,5	35,4	60	70,2	676,2	772,2	427,8
1/05/2019	69,9	124	44,1	31	69,3	663,2	508,1	328,4
1/06/2019	17,6	3,2	7,3	1,5	3,3	268	483,7	502
1/07/2019	1	66,5	12,1	0,5	29,4	279,3	450,7	465,9
1/08/2019	28,4	0	2,9	0	10,9	89,6	95,8	190,2
1/09/2019	48	39,6	29,3	11,5	46,3	254,8	263,6	172,4
1/10/2019	140,9	84,8	81,4	33,7	124,1	561,6	664,5	506,8
1/11/2019	332	215,6	70,7	110,5	174	618,5	569,3	536,7
1/12/2019	360,3	396,3	120,8	207,5	198,6	791,1	685,7	664

### Anexo 3. Datos de precipitación del satélite GPM 3IMERGDF v06.

Fecha	Iñapari	Puerto Maldonado	Cuyo Cuyo	Macusani	Ollachea	San Gaban	Quincemil	Chontachaca
1/01/2010	309,9	318,5	100,2	398,5	377,4	749,9	598	646,3
1/02/2010	334,1	321,7	148,2	297,6	356,3	587,7	614,4	413,7
1/03/2010	220,2	265,9	126,6	210,9	268,5	763,6	749,9	462,7
1/04/2010	129,6	82	33	110,6	121	221,2	184,8	164,2
1/05/2010	115,7	75,4	38	83,8	77,4	141,2	131	65,4
1/06/2010	8,9	0,9	6,4	60,8	67,2	25,1	22,6	13
1/07/2010	34,2	72,5	14,1	85,1	97,3	125	86,6	48,1
1/08/2010	15,4	155,3	16,7	63,3	68,4	111,6	134	40,8
1/09/2010	68,2	63,9	27,6	60,1	86,2	153,4	206,6	100,2
1/10/2010	137,2	145,4	70,1	148,5	170,4	298,7	317,8	221,2
1/11/2010	216,9	252,6	42,3	106,2	145,8	297,5	254,1	116,8
1/12/2010	212,6	317,4	97	292,2	382	788	911,9	362,1
1/01/2011	434,2	381,5	97,8	245,1	304,5	675,4	718,5	435,9
1/02/2011	229,8	445,2	146,3	305,6	383,8	748	819,1	493,2
1/03/2011	205,5	196	102,7	239,4	283,5	433,6	437,8	364,9

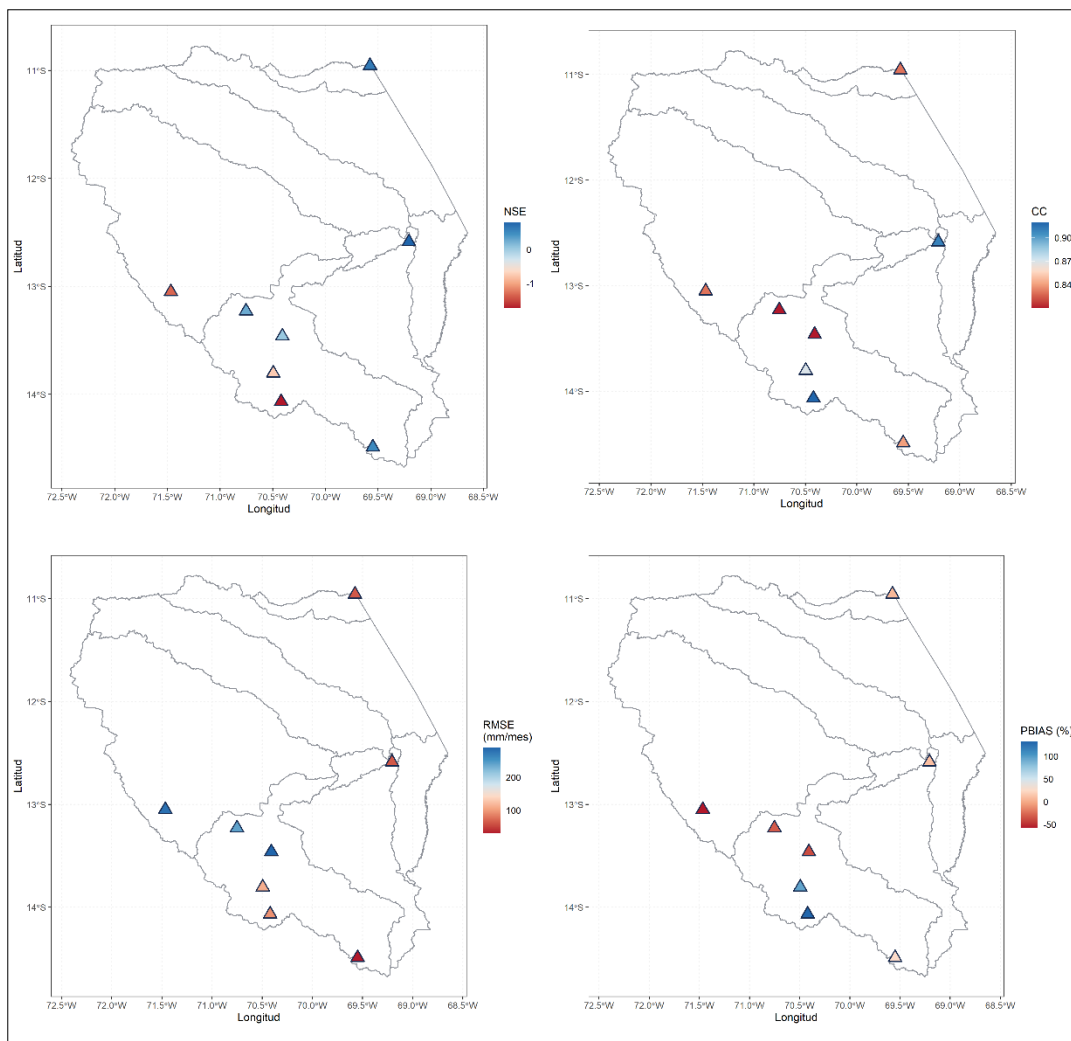
1/04/2011	284,4	330,6	66,9	178,1	210,4	354,8	290,1	260,1
1/05/2011	116,2	151,2	33	77,7	106,5	193,2	113,4	86,2
1/06/2011	21,3	62,8	9,3	51,2	87,5	183,2	121,7	34,5
1/07/2011	7,5	36,9	37,6	73,1	150,2	221,4	193,1	51,7
1/08/2011	45	55,7	27,1	71,1	81,9	168,6	175,2	59,3
1/09/2011	80,1	129,1	60,1	99,4	117,8	171,3	194,5	148,7
1/10/2011	101,8	183,4	64,8	177,1	205,2	403,4	421,6	210,7
1/11/2011	310,1	157,9	66,4	142,7	164,5	278,6	314,7	164,8
1/12/2011	305,4	329,1	186,6	322,9	492,1	722,1	644,8	292,9
1/01/2012	413,9	322,5	112,7	232,1	328,1	650,4	602,6	299,3
1/02/2012	293,7	410,1	144,3	288,5	339,8	495,2	479,5	265,3
1/03/2012	184,4	339	98,9	229,7	249,6	583,5	458,5	287,7
1/04/2012	160,6	160,8	83,4	135,9	155,6	372,3	347,4	174
1/05/2012	77,3	134,6	11,8	53,2	77,7	123,8	150,3	22,8
1/06/2012	59,7	119,2	28,2	74	100,3	149,2	142,4	45,5
1/07/2012	15,6	25,5	3,8	14,3	63,1	129,4	118,3	55,5
1/08/2012	54,4	36	13,3	51,7	73,9	184,7	131,9	56,4
1/09/2012	179,5	132,5	48,6	81,2	113,4	190,5	220,6	253,9
1/10/2012	219,5	205,5	51,2	124,4	166,8	308,4	354,9	214,6
1/11/2012	249,9	124,9	77,1	171,8	202,9	420,6	421,4	220,6
1/12/2012	219,8	362,6	139,2	302,9	351,2	574,3	576,3	463
1/01/2013	421,2	212,5	146,6	319,3	361	563,2	522,8	371,4
1/02/2013	236	381	216,1	330	344,1	694,8	658,4	438,5
1/03/2013	251,4	373,5	115,6	233,3	383,4	617,2	756,4	405
1/04/2013	83,9	195,3	41,7	111,2	185,6	429,3	369	182,6
1/05/2013	62,3	119,3	10,8	64,5	118	175,4	134,7	59,2
1/06/2013	80,9	117,4	26,6	77,5	113,8	202,5	208,1	46,7
1/07/2013	12,9	38,3	9,4	62,5	97,5	117,4	206,8	41,1
1/08/2013	131,3	70,6	36,3	71,6	102,9	191,8	142,1	65,3
1/09/2013	117,4	135,3	33,2	74,1	104,5	196,6	228,2	103,1
1/10/2013	152,2	311,1	94,4	190,8	250,9	494,6	595,1	367,5
1/11/2013	197,2	160,4	55,9	157,4	197,6	429	486,3	196
1/12/2013	271,9	381,4	149,8	339,7	359,3	660,6	550,4	314,3
1/01/2014	408,9	781,5	209,7	383,2	544,5	1033,4	980,9	481,2
1/02/2014	314	466,9	159,1	389	327,8	532	696,2	471,3
1/03/2014	337,8	418	65	139,2	205	450,7	473	250,9
1/04/2014	222,1	130,3	33	97,1	116,6	326,9	229,9	197,5
1/05/2014	61,6	219,3	26,3	47,3	93,9	311,9	247,6	59,4
1/06/2014	53,2	193,4	21,6	63,8	110,4	227,7	259,6	81,6
1/07/2014	19	130,1	21,4	66,9	100,3	182,4	214,5	64,3
1/08/2014	67,4	125	34,6	85,3	119	293,7	389,4	99,3
1/09/2014	136,5	119,3	67,8	114,4	197,9	382,4	355,9	149,7



1/10/2014	105,1	199,4	59	96,6	186,1	292,1	310,4	179
1/11/2014	316,8	331,7	54,7	137,5	184,3	348,9	344,6	128,6
1/12/2014	285,1	180,2	87,6	174,5	232,6	422,6	416	212,1
1/01/2015	317,7	575,8	158	256,1	376,2	727,2	659,3	316
1/02/2015	288,1	414,4	99,3	236,4	303,4	777,7	839,7	432,4
1/03/2015	246,8	194,4	66,8	158,3	189,6	439	480,9	328,5
1/04/2015	138,8	166,4	69,8	127,7	184,2	465,9	406,7	277,6
1/05/2015	164,8	354,3	68,3	70,9	145,6	312,6	527,1	171,3
1/06/2015	31,4	87,7	25,3	64,3	117,2	202,7	245,5	82,4
1/07/2015	112	92	51,5	48,6	84,5	170,7	124,8	45
1/08/2015	61,8	167,3	32,1	53,2	88,2	313,4	219,8	59,7
1/09/2015	55,2	98,2	23,7	37,9	90,8	239,2	200,4	83,5
1/10/2015	67,1	153,6	49,1	100,9	144,6	264,1	258	172,9
1/11/2015	165,3	222,9	60,1	108	155,2	279,5	301,1	182,9
1/12/2015	173,3	180,2	83,8	194,2	283,2	572,9	559,8	346,3
1/01/2016	283,2	390	97,4	222,6	312,2	648,5	750,2	321,4
1/02/2016	273,4	290,9	134,9	201	266,3	539,7	553,2	429,2
1/03/2016	173	300,9	37,4	113,5	173,6	379,3	382,9	184,8
1/04/2016	125,4	251	85,5	136,5	184	330	329,2	220,9
1/05/2016	27,6	47,8	16,8	32,6	71,5	117,6	128,2	59,1
1/06/2016	4,6	26,9	2,3	8,9	72,6	158,1	151,3	30
1/07/2016	20,6	37,8	20,9	40,4	97,7	213,8	175,9	60,1
1/08/2016	81,7	35,4	18,5	31,4	47,9	146,6	158,2	48,9
1/09/2016	84,2	78,5	32,1	80,3	89,7	145,5	147,4	59,2
1/10/2016	177,1	185,7	104,2	159,4	252,4	322,6	304,9	178,6
1/11/2016	207,9	270,7	37,3	106,3	150	219	219,2	76,9
1/12/2016	164,7	224,8	86,8	200,5	248,7	482,3	497,7	273,6
1/01/2017	238,4	288,3	78,7	201,3	294,2	553,4	542,4	329
1/02/2017	214	517,7	96,9	194,1	286,6	610,5	573,7	283,1
1/03/2017	200,3	282,8	94,4	147,2	230,1	436,4	426,9	302,4
1/04/2017	190	154,1	72,5	113,9	168,7	359,9	318,6	203,6
1/05/2017	71,7	91,5	28,9	63,9	131,7	260,7	290,8	145,2
1/06/2017	52,8	53,3	5,5	24,5	61,7	200,2	221,5	55,5
1/07/2017	8,9	8,4	0,1	17,3	47,4	48,4	133,1	43,3
1/08/2017	42,6	95,2	25,6	21,9	84,4	206,3	214,7	63,7
1/09/2017	51,2	75,4	24,8	61,6	112,2	190,5	193,9	74,1
1/10/2017	151,9	111,1	51,2	91,2	182,2	297,5	257,7	163,6
1/11/2017	132,3	370,3	69,4	161,7	256,2	471,3	404,9	200,1
1/12/2017	245,3	380,6	170,5	225,9	348,8	584,5	555,5	254,9
1/01/2018	339,4	430,8	134,4	293,8	450,7	855,1	657,5	528,7
1/02/2018	241,6	372,4	142,8	231,9	357,2	601,8	539,9	319,6
1/03/2018	187	306,2	123,9	240,2	359,7	811,2	650,9	476

1/04/2018	241,3	223,4	41,9	95,5	160,9	364,8	305,1	161
1/05/2018	137,9	90,5	21,8	23,5	87,1	110,8	142,9	61,1
1/06/2018	45,1	86,3	35	60,6	118,9	172	157,5	48,6
1/07/2018	19,8	103,4	21,1	58,3	101,1	173,5	127,6	67,3
1/08/2018	99,5	86,2	37,5	49	116,4	209,9	179,5	48,7
1/09/2018	84,5	67,5	28,8	56,6	93,2	148,6	149,4	70,7
1/10/2018	165	246,8	102,4	187,2	269,5	446,4	493,8	301,7
1/11/2018	283,5	262,3	101	179,1	255,6	401,9	358	218,4
1/12/2018	177	246,1	109,1	228,2	388,2	817	844,2	300,4
1/01/2019	284,9	402,8	108,3	241,9	311,4	606,4	577,1	443,9
1/02/2019	288,5	359,5	152,1	237,5	327,1	730,2	736,1	339,4
1/03/2019	182,4	169,4	84,6	173	241,6	396,1	384	354
1/04/2019	176,2	261	101,1	137,1	201,3	451,3	494,3	191,1
1/05/2019	61,9	146,4	51,5	103,8	180,2	263,7	195,7	94,9
1/06/2019	10,4	47,4	9,6	46,5	91,6	158,7	177,6	73,8
1/07/2019	24,8	125,1	27,5	53,3	113	183,7	207	65,4
1/08/2019	34,4	7,6	0,8	4,4	37,8	121,5	188	97,8
1/09/2019	72,5	69,3	13,8	57	92,7	180,9	207,2	86,5
1/10/2019	186,4	199,2	64	121,9	192,4	343,6	320,9	200,6
1/11/2019	233,3	319,3	100,9	188,3	278,7	426,1	439,2	282,8
1/12/2019	291,5	449,3	186,5	318,8	354,9	661,9	617,4	256,2

#### Anexo 4. Resultado de errores estadísticos distribuidos por estaciones.



#### Anexo 5. Algoritmo en R para extraer las estimaciones del satélite en el píxel correspondiente a cada estación.

```
## Cargar la librería necesaria para la sesión-----
library(pacman)
p_load(rgdal, raster, sp, sf, rgeos, ncdf4, zoo, xts)

## Cargar las estaciones y Área de estudio -----
# Estaciones = sts
sts <- read.csv("data/xls/pluv_lat_long.csv",header = TRUE,
              sep = ",",check.names = FALSE)
coordinates(sts) <- ~LONG+LAT #Convertir a variable geoespacial
proj4string(sts) <- CRS("+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs")

# Cuenca Madre de Dios = mdd
mdd <- st_read("Data/shp/mdd.shp")
st_crs(mdd) = "+proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs" #proyección
```

```

# Limites Cuadrática de Cuenca = bcn
bcn <- st_bbox(mdd)%>%st_as_sfc()
bcn <- as(bcn, "Spatial")

## Extraer los datos del satelite IMERGDF - diario -----

## Extraer y visualizar los datos *.nc de cada dia
files<- list.files(pattern='.nc')

## Bucle para almacenar la variable del GPM IMERG
for (i in 1:length(files))
{
  # Leer y convertir en archivo raster
  imageraster<- raster(files[i])

  # Igualamos las proyecciones
  raster::projection(sts) <- raster::projection(imageraster)

  # Recortando la capa en el area de estudio
  cropraster <- crop(imageraster, bcn)
  imageraster <- mask(cropraster, mask = bcn)

  # Leer el año y mes de la imagen
  filesyear<- substr(files[i], 43, 50)

  imagesp<- as(imageraster, 'SpatialGridDataFrame')

  # Extraer en la variable names el año y mes de la imagen
  names(imagesp) <- make.names(filesyear)

  # Acumular los mapas de todos los días en la variable accum
  if (i == 1) (accum <- imagesp)
  if (i!= 1) (accum <- cbind(accum,imagesp))

  ## Interpolar las estaciones con la imagen
  over<- data.frame(extract(imageraster, sts))

  ## Copiar en la variable over, el mes y año de la imagen
  names(over) <- filesyear

  ## Acumular en variable timeseries los datos diario
  ifelse (i==1, timeseries<- data.frame(t(over)),
          timeseries<- rbind(timeseries, data.frame(t(over))))
}
# Exportamos los datos de precipitación estimada IMERGDF
write.csv(timeseries, "result/csv_day/imergdf.csv", quote = F)

```

**Anexo 6.** Algoritmo en R para completación de datos.

```

## Cargar la librería -----
library(pacman)
pacman::p_load(mice, zoo, xts, hydroTSM, hydroGOF)

## Cargar datos -----
dsi <- read.csv("result/day/dsi.csv", header = T,
               sep = ";", stringsAsFactors = F)

md.pattern(dsi)# patrón de datos faltantes

# completación de datos -----
# mediante el método (ajuste de la media predictiva-pmm)
dsc <- mice(dsi, m=5, maxit = 255, meth = "pmm", seed = NA)
dsc <- complete(dsc,1)

write.csv(dsc, "result/day/dsc.csv", quote = F) #guardamo

```

**Anexo 7.** Algoritmo en R para análisis de errores estadísticos.

```

## Cargar la librería -----
library(pacman)
pacman::p_load(zoo, xts, hydroGOF, hydroTSM, tidyverse, RColorBrewer)

## Importamos los datos -----
load('Result/dsc_pm.RData')
load('Result/gpm_pm.RData')

## Errores estadístico de datos completados -----
result <- gof(sim = gpm, obs = dsc)

# Errores estadísticos por ecuación
rNSE <- result["NSE",] # Eficiencia de Nash-Sutcliffe
rCC <- result["r",] #Coeficiente de correlación de pearson
rRMSE <- result["RMSE",] # Raíz del error medio cuadrático (mm)
rPBIAS <- result["PBIAS %",] #Porcentaje de Sesgo (%)

```

**Anexo 8.** Algoritmo en R para análisis de índice de detección.

```

## Cargar la librería -----
library(pacman)
pacman::p_load(zoo, xts, hydroGOF, hydroTSM, tidyverse,
               RColorBrewer, viridis, hrbthemes)

## Importamos los datos -----
load('Result/dsc_pm.RData')
load('Result/gpm_pm.RData')

```

```

## Índice de detección de eventos -----
ne<-ncol(obs)
# Límites de precipitación Umbral(mm) para calcular los índices.
thresholds=c(5, 10, 20, 50, 100, 200)
# Guardar en una variable el número de límites
nt<-length(thresholds)
## Encerar las variables para guardar los índices
ResPOD<-matrix(rep(NA,ne*nt),ncol=ne)
ResFAR<-matrix(rep(NA,ne*nt),ncol=ne)
ResETS<-matrix(rep(NA,ne*nt),ncol=ne)
ResFBI<-matrix(rep(NA,ne*nt),ncol=ne)

##Cálculo global para todas las estaciones y todos los registros
for (l in 1:ne){ #n de estaciones l=1
  for (k in 1:nt){ #n de thresholds k=1
    # Tablas de contingencia
    a=ifelse(is.na(subset(data.frame(table(sim[,l]>=thresholds[k] & obs[,l]>=thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,]), 0,
      subset(data.frame(table(sim[,l]>=thresholds[k] & obs[,l]>=thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,]) #TRUE a verdadero ambos

    d=ifelse(is.na(subset(data.frame(table(sim[,l]<thresholds[k] & obs[,l]<thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,]), 0,
      subset(data.frame(table(sim[,l]<thresholds[k] & obs[,l]<thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,])#TRUE d falso ambos

    b=ifelse(is.na(subset(data.frame(table(sim[,l]>=thresholds[k] & obs[,l]<thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,]), 0,
      subset(data.frame(table(sim[,l]>=thresholds[k] & obs[,l]<thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,])#TRUE b falso positivo

    c=ifelse(is.na(subset(data.frame(table(sim[,l]<thresholds[k] & obs[,l]>=thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,]), 0,
      subset(data.frame(table(sim[,l]<thresholds[k] & obs[,l]>=thresholds[k])), Var1==TRUE, "Freq")[1,])#TRUE c Falso negativo
    POD = a/(a+c)
    FAR = b/(a+b)
    He = ((a+c)*(a+b))/(a+b+c+d)
    ETS = (a-He)/(a+b+c-He)
    FBI = (a+b)/(a+c)
    ResPOD[k,l]<-POD
    ResFAR[k,l]<-FAR
    ResETS[k,l]<-ETS
    ResFBI[k,l]<-FBI
  }
}

```