

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“DATOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN ZONAS DE
ESCASA INFORMACIÓN DE LA REGIÓN ANCASH-PERÍODO
2012-2017, 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

Tesista: Bach. **EDUARDO EMER VILLAVICENCIO GUILLÉN**

Asesor: M.Sc. **CIRO WALTER FERNANDEZ ROSALES**

Co-Asesor: M.Sc. **KATY DAMACIA MEDINA MARCOS**

Huaraz - Perú

Octubre, 2019

**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
CONDUCTENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL.**

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Villavicencio Guillen Eduardo Emer

Código de alumno: 091,0605,019 Teléfono: 993615639

Correo electrónico: evg250@hotmail.es DNI o Extranjería: 45710128

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

- Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional
 Trabajo Académico Trabajo de Investigación
 Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Título Profesional o Grado obtenido:

Ingeniero Ambiental

4. Título del trabajo de investigación:

DATOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN ZONAS DE ESCASA INFORMACIÓN
DE LA REGIÓN ANCASH-PERÍODO 2012-2017, 2019

5. Facultad de: Ciencias del Ambiente

6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería Ambiental

7. Asesor:

Apellidos y nombres Fernandez Rosales Ciro Walter Correo electrónico: cirofer29@yahoo.es

Teléfono: 957670796 N° de DNI o Extranjería: 31761595 ORCID: 0000-0003-0376-1406

8. Tipo de acceso al Documento

- Acceso público* al contenido completo.
 Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

11. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

12. Para ser llenado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de recepción del documento por el Repositorio Institucional:



Karlos Willem Eduardo
CORRESPONSABLE
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
CONDUCTENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL.**

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Villavicencio Guillen Eduardo Emer

Código de alumno: 091.0605.019 Teléfono: 993615639

Correo electrónico: evg250@hotmail.es DNI o Extranjería: 45710128

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

- Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional
 Trabajo Académico Trabajo de Investigación
 Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Título Profesional o Grado obtenido:

Ingeniero Ambiental

4. Título del trabajo de investigación:

DATOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN ZONAS DE ESCASA INFORMACIÓN
DE LA REGIÓN ANCASH-PERÍODO 2012-2017, 2019

5. Facultad de: Ciencias del Ambiente

6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería Ambiental

7. Asesor:

Apellidos y nombres Medina Marcos Katy Damacia Correo electrónico: kmedina@inaigem.gob.pe

Teléfono: 995769386 N° de DNI o Extranjería: 44752984 ORCID: 0000-0002-2910-6808

8. Tipo de acceso al Documento

- Acceso público* al contenido completo.
 Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

11. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



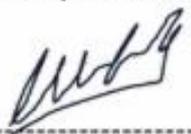
El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

12. Para ser llenado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de recepción del documento por el Repositorio Institucional:




Varillas William Eduardo
CORRESPONSABLE
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

Av. Centenario N° 200 – Teléfono (043) 640020 anexo 1103
HUARAZ - ANCASH - PERÚ



"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **"DATOS DE PRECIPITACION Y TEMPERATURA EN ZONAS DE ESCASA INFORMACION DE LA REGION ANCASH- PERIODO 2012-2017, 2019"**, que presenta **VILLAVICENCIO GUILLEN EDUARDO EMER** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de: *Dieciséis* (16)

En consecuencia, **VILLAVICENCIO GUILLEN EDUARDO EMER** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 25 de Octubre de 2019

Dr. Pedro Liberato valladares Jara
Jurado (presidente)

Ing. Ricardo Ray Villapueva Ramirez
Jurado (primer miembro)

Ing. Frida Mónica Caballero Bedriñana
Jurado (segundo miembro)

Ing. Ciro Walter Fernández Rosales
Asesor de tesista



DEDICATORIA

A mi madre por el apoyo incondicional en esta aventura

A mis profesores y amigos que formaron parte directa e indirecta de esta tesis

Eduardo Emer Villavicencio Guillén

AGRADECIMIENTOS

Al M.Sc. Ciro Walter Fernández Rosales y al Ing. Rafael Ramón Figueroa Tauquino por el asesoramiento y compartir sus puntos de vista, además, por brindarme su amistad de manera incondicional.

Al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo -CIAD-UNASAM en especial al Ing. Dany Robles Sánchez quien colaboró de forma desinteresada en la recolección y pretratamiento de los datos meteorológicos.

Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM en especial a mi co-asesora M.Sc. Katy Damacia Medina Marcos y al M.Sc Edwin Anibal Loarte Cadenas por sus comentarios, recomendaciones y experiencias compartidas.

Este trabajo fue financiado por el CONCYTEC-FONDECYT en el marco de la convocatoria E041-01 [Contrato N°23-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU] del proyecto “Evaluación y estimación de la distribución espacio temporal de permafrost a nivel nacional como potencial de reserva hídrica - PERMAFROST”]

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue generar datos para zonas con escasa información mediante la validación de los modelos de precipitación y temperatura para los satélites GPM y MERRA-2, en comparación con la información *in situ* (CIAD) en la Región Ancash, para lo cual se recopiló información de precipitación y temperatura mensual para el periodo 2012 - 2017, los cuales fueron comparados con los datos de precipitación mensual de GPM y con los datos de temperatura mensual del MERRA-2.

La confiabilidad de los datos del Rainfall Measuring Mission (TRMM), Global Precipitation Measurement (GPM) y The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) varía según la razón de error cuadrático medio, sesgo porcentual, eficiencia de Nash y el coeficiente de correlación, debido a la discrepancia de los datos satelitales e *in situ*.

Para el caso de la precipitación se usó el modelo aditivo propuesto por Thomas Condom para regiones superiores a los 2000m el cual está basado en la regionalización del área de estudio, obteniendo 4 regiones; las cuales fueron denominadas como Región 1 Santa, Región 2 Marañón, Región 3 Pativilca y Región 4 Pacífico, por otro lado, en el caso de la temperatura se propone el uso del modelo propuesto por Andreas Fries, el cual está basado en el uso de la pendiente de la recta entre los datos de temperatura vs la altura. En este modelo no se considera la regionalización.

Los resultados obtenidos muestran que el modelo usado para la temperatura es confiable con una correlación que oscila entre los 0.95 y 0.72 para los meses de febrero y agosto respectivamente, mientras que el modelo para la precipitación en las Regiones 1, 2 y 3 es confiable mientras que en la Región 4 es inaceptable teniendo un error porcentual de 256.79%, lo cual refleja que el modelo aditivo no es conveniente en zonas de costa.

Palabras claves: Precipitación, temperatura, modelo, satélite, modelamiento físico numérico.

ABSTRACT

The objective of this test is to generate data for areas with limited information by validating the precipitation and temperature models for the GPM and MERRA-2 satellites, compared to the on-site information (CIAD) in the Ancash Region, for which monthly precipitation and temperature information will be collected for the 2012-2017 period, which were compared with the monthly GPM precipitation data and with the monthly temperature data of the MERRA-2

The reliability of the data from the Rainfall Measuring Mission (TRMM), Global Precipitation Measurement (GPM) and The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) varies according to the mean square error ratio, percentage bias, Nash efficiency and correlation coefficient, because of the discrepancy of satellite and *in situ*.

In the case of precipitation, the additive model proposed by Thomas Condom was used for regions above 2000m which is based on the regionalization of the study area, obtaining 4 regions; which were denominated as Holy Region 1, Marañón Region 2, Pativilca Region 3 and Pacific Region 4, on the other hand, in the case of temperature the use of the model proposed by Andreas Fries is proposed, which is based on the use of the slope of the line between temperature data vs. height. In this model, regionalization is not considered.

The results obtained show that the model used for temperature is reliable with a correlation that ranges between 0.95 and 0.72 for the months of February and August respectively, while the model for precipitation in Regions 1, 2 and 3 is reliable while that in Region 4 it is unacceptable having a percentage error of 256.79%, which reflects that the additive model is not suitable in coastal areas

Key words: Precipitation, temperature, model, satellite, physical-numerical modeling.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pag.
ACTA DE SUSTENTACION	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA	x
SIGLAS	x
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Hipótesis	3
3.1. Variables.	3
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes de la Investigación	4
2.1. Bases teóricas.	7
2.2. Definición de términos.	18
2.3. Fundamento del escenario de investigación.	22
MARCO METODOLÓGICO	24
3.2. Tipo de investigación	24
3.3. Métodos de análisis de la precipitación:	25
3.4. Métodos de análisis de la temperatura.	25
3.5. Pretratamiento y adecuación de datos <i>in situ</i> .	25
3.6. Descarga, extracción y adecuación de datos satelitales.	27
3.7. Materiales y equipos.	32

3.8. Población y muestra.	32
RESULTADOS	34
4.1. Datos Satelitales	34
4.2. Datos de precipitación y temperatura <i>in situ</i> del CIAD.	47
4.3. Grado de correlación de datos <i>in situ</i> y los datos satelitales.	55
4.4. Modelamiento y corrección de datos satelitales con los datos <i>in situ</i> .	63
4.5. Calidad de datos generados.	65
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
5.1. Precipitación	71
5.2. Temperatura	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
6.1. Conclusiones	74
6.2. Recomendaciones	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla 1: Operacionalización de variables.....	3
Tabla 2: Especificaciones técnicas de TRMM y GPM	9
Tabla 3: Especificaciones técnicas de los sensores HMP45C y 107	14
Tabla 4: Período de datos del CIAD de precipitación y temperatura regionalizada...	29
Tabla 5: Materiales y equipos usados	32
Tabla 6: Característica del equipo principal	32
Tabla 7: Factor de corrección F1 para TRMM.....	63
Tabla 8: Factor de corrección F1 para GPM	64
Tabla 9: Resultados estadístico de la precipitación de TRMM.	66
Tabla 10: Resultados estadístico de la precipitación de GPM.....	67
Tabla 11: Resultados estadísticos de la temperatura de MERRA-2.	70

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.....	23
Figura 2: Diagrama de flujo de procedimientos	24
Figura 3: Datos de temperatura diaria de Cañasbamba,	26
Figura 4: Mapa de regionalización de cuencas hidrográficas	28
Figura 5: Correlación de MERRA-2 y el CIAD con la altura del mes de enero.....	30
Figura 6: Correlación del mes de enero de los datos MERRA-2 mejorados	31

Figura 7: Correlación de los datos in situ y mejorados en b para el mes de enero ...	31
Figura 8: Comportamiento de la temperatura anual del satélite MERRA-2.....	36
Figura 9: Comportamiento de la correlación de la altura de los datos MERRA-2	36
Figura 10: Región 1 Santa TRMM datos mensuales 2012 -2017	38
Figura 11: Región 2 Marañón TRMM datos mensuales 2012 -2017.....	39
Figura 12: Región 3 Pativilca TRMM datos mensuales 2012 -2017	40
Figura 13: Región 4 Pativilca TRMM datos mensuales 2012 -2017	41
Figura 14: Región 1 Pacifico GPM datos mensuales 2014 -2017.....	43
Figura 15: Región 2 Marañón GPM datos mensuales 2014 -2017	44
Figura 16: Región 3 Pativilca GPM datos mensuales 2014 -2017.....	45
Figura 17: Región 4 Pacifico GPM datos mensuales 2014 -2017.....	46
Figura 20: Región 1 Pacifico in situ datos mensuales 2012 -2017.....	48
Figura 21: Región 2 Marañón in situ datos mensuales 2012 -2017	50
Figura 22 Región 3 Pativilca in situ datos mensuales 2012 -2017.....	51
Figura 23: Región 4 Pacífico in situ datos mensuales 2012 -2017	52
Figura 18: Comportamiento de la temperatura anual de los datos in situ 2012-2017	54
Figura 19: Correlación de la altura con los datos in situ	55
Figura 24: Precipitación de la región 1 Santa a paso mensual 2012-2017	55
Figura 25: Regresión de la región 1 Santa de TRMM y GPM vs los datos in situ	56
Figura 26: Precipitación de la región 2 Marañón a paso mensual 2012-2017.....	56
Figura 27: Regresión de la región 2 Marañón de TRMM y GPM vs los datos in situ.	57
Figura 28: Precipitación de la región 3 Pativilca a paso mensual 2012-2017	57

Figura 29: Regresión de la región 3 Pativilca de TRMM y GPM vs los datos in situ.	58
Figura 30: Precipitación de la región 4 Pacífico a paso mensual 2012-2017	58
Figura 31: Regresión de la región 4 Pacífico de TRMM y GPM vs los datos in situ. .	59
Figura 32: Grado de correlación de MERRA-2 y CIAD vs la altura	60
Figura 33: Comportamiento de la temperatura satelital e in situ 2012-2017	62
Figura 34: Variabilidad de datos de precipitación TRMM y GPM con los datos in situ	63
Figura 35: Variabilidad de datos de temperatura MERRA-2 con los datos in situ	64
Figura 36: Correlación de los datos de temperatura del CIAD, MERRA-2 y corregido por meses	65

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

DENOMINACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	ABREVIATURA
Temperatura	Celsius	(°C)
Precipitación	Milímetro	(mm)

SIGLAS

SIGLA	DENOMINACIÓN
CIAD	Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo
CONCYTEC	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
DEM	Modelo de Elevación Digital
FONDECYT	Fondo Nacional de Desarrollo Científico Tecnológico y de Innovación Tecnológica.
GPM	Global Precipitation Measurement

INAIGEM	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montañas.
MERRA-2	The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NetCDF	Network Common Data Form
RCP	Representative Concentration Pathways
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UNASAM	Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”
SRTM	NASA Shuttle Radar Topography Mission

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los métodos de interpolación de las variables climáticas han sido usadas y estudiadas ampliamente a lo largo de la historia, la tendencia en los últimos años desarrollada en la creación de metodologías específicas diseñadas para cada zona de interés (Quevedo & Sánchez, 2009; Rau et al., 2013). Con el avance tecnológico y el conocimiento en Geoestadística se ha logrado mejorar los modelos de representación espacial de las variables climáticas como son la temperatura, radiación solar y precipitación (Ninyerola et al., 2000; Quevedo & Sánchez, 2009).

Ante ello, los trabajos realizados por Thomas (2010), Quevedo (2009) y Pedro (2010 y 2013), proponen el uso de modelos de temperatura y precipitación en el Perú como una representación espacial de estas dos variables. Estos modelos espaciales se basan en la relación de la información geográfica e información climática, dando una alternativa que es capaz de generar la información en zonas de baja densidad de estaciones.

Precisamente con la intención de cubrir la baja densidad de estaciones y conocer más de cerca los eventos climáticos, fue lanzado el primer radar diseñado específicamente para observar la precipitación como parte de la misión TRMM en 1997, la cual generó las primeras mediciones continuas de precipitación para todas las regiones tropicales, siendo el precursor de la misión GPM el cual inicio operaciones el 2014 y mantiene los buenos resultados de TRMM mediante una mejora del algoritmo (Huffman, 2018b). Estos datos destacan debido a su ángulo

de observación, que no exhiben problemas de alcance o variaciones en la sensibilidad regional, genera las mejores descripciones de la precipitación en comparación a los radares terrestres (Huffman, 2018b; Ouatiki et al., 2017).

Por otro lado, el proyecto MERRA-2 fue una iniciativa de la NASA, el cual tuvo como objetivo realizar el re análisis de los diferentes satélites que fueron enviados al espacio desde los años 80's obteniéndose datos desde 1980 hasta la actualidad. Estos datos reanalizados fueron generados con el uso de la variación de la presión en hectopascales (Bosilovich et al., 2016).

Es por ello que la tesis tiene como objetivo general desarrollar el modelo de datos de temperatura y precipitación en zonas de escasa información mediante el uso de datos satelitales junto con los datos *in situ* (CIAD) para un período de 6 años (2012-2017) en la región Ancash.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Generar datos para zonas con escasa información de precipitación y temperatura, mediante la validación de los modelos para los datos del satélite GPM y MERRA-2 con los datos del CIAD, en la región Ancash en el período 2012 -2017.

1.1.2. Objetivos específicos

- a. Analizar los datos del satélite MERRA-2, TRMM y GPM en la región Ancash.
- b. Analizar los datos de precipitación y temperatura *in situ* del CIAD en la región Ancash.
- c. Determinar la correlación de los datos de precipitación y temperatura *in situ* del CIAD con los datos satelitales.
- d. Modelar y corregir los datos satelitales con los datos *in situ* del CIAD.
- e. Determinar la calidad de los datos generados.

1.2. Hipótesis

El modelamiento de la precipitación y la temperatura con datos satelitales GPM y MERRA-2 respectivamente, combinados con los datos *in situ* del CIAD, generarán datos para zonas de escasa información de la región Ancash para el período 2012 -2017.

1.3. Variables

Las variables identificadas para el desarrollo de la presente tesis se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Instrumento-Técnica	Indicador	Unidad de medida
VI: modelo de precipitación y temperatura	Modelos numéricos	Script en Python / Programación	Grado de correlación	Mm
VI: datos del CIAD	Meteorología o clima	Estación meteorológica sensor de temperatura HMP45C	Temperatura	°C
VI: datos del CIAD	Meteorología o clima	Estación meteorológica sensor de precipitación / gravimétrico	Precipitación	Mm
VD: datos del satélite MERRA-2	Modelos físicos	Imágenes Satélite / teledetección	Temperatura	°C
VD: datos del satélite GPM y TRMM	Modelos físicos	Imágenes Satélite / teledetección	Precipitación	Mm

Nota: VI = variable independiente, VD = variable dependiente

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Chen, F (2016), en China, investigó la “Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 Monthly Precipitation Products over Mainland China” donde se evaluaron las potencialidades y limitaciones de los productos mensuales de precipitación de TRMM en la zona de China continental basándose en comparaciones mensuales, estacionales y anuales con mediciones comprendidas desde marzo del 2014 a febrero del 2015. Arriba a la conclusión de que las estimaciones de precipitación de los algoritmos de R-IMERG y TRMM 3B43 tienen el mismo valor de coeficiente de correlación (0.96) para la precipitación anual con respecto a las estaciones meteorológicas.

Hamza (2017), en el Reino de Marruecos, investigó la “Evaluation of TRMM 3B42 V7 Rainfall Product over the Oum Er Rbia Watershed in Morocco”, en la cuenca del Oum Er Rbia, una de las mayores cuencas hidrográficas del Reino de Marruecos, que posee elevaciones que varían entre 0 m.s.n.m. en su salida y 3890 m.s.n.m. en las montañas Atlas. Concluyó en que los datos de TRMM y pluviómetros estuvieron bien correlacionados para la mayoría de los sitios de estudio, con un coeficiente de correlación de 0.8 y 0.71 para las escalas mensuales y anuales respectivamente. También menciona que los datos del algoritmo TRMM a escala mensual y anual son una valiosa fuente de información, especialmente

para el modelado hidrológico y es una valiosa fuente de información para los gestores y tomadores de decisiones.

Efraín (2015), en Puno, investigó la “Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú”, ubicado dentro de la región hidrográfica del Titicaca, con una altitud comprendida entre los 3820 a 5750 m.s.n.m., concluyendo que las precipitaciones estimadas por el algoritmo TRMM para la zona evaluada, muestran una alta eficiencia, afirmando que reproducen con cierta precisión el patrón del ciclo estacional considerándose datos fiables, los cuales pueden ser utilizados como datos de entrada en modelos hidrológicos en zonas sin información, constituyendo como una alternativa en el fortalecimiento de la gestión de recursos hídricos en cuencas hidrográfica.

Lavado (2009), investigó la “Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico”, ubicado dentro de la Cuenca Amazónica que comprenden las subcuencas Urubamba y Tambo del río Ucayali, el período de evaluación fue de enero de 1998 hasta diciembre del 2007. Concluyó en que el algoritmo de TRMM y su mejoramiento se comporta como los mejores para describir los regímenes hidrológicos sobre regiones con pobre distribución de estaciones pluviométricas en la cuenca amazónica peruana, sin embargo, las estaciones *in situ* son indispensables para validar y mejorar los datos de precipitación.

Condom (2010), investigó la “Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007, ubicando siete regiones: Santa, Pacífico Norte, Colca, Quilca, Apurímac, Urubamba y Ocoña. Llegó a la conclusión de que el algoritmo TRMM ayudaría a mejorar la distribución de los datos en el espacio, sin embargo, este estudio demostró que antes de que estos datos puedan ser utilizados deben ser corregidos. Por lo tanto, propuso dos modelos de corrección, uno aditivo y otro multiplicativo, que pueden ser aplicados a los datos del algoritmo TRMM. Finalmente determinó que el modelo de corrección aditivo es el de mayor precisión.

Mourre (2016), investigó el “Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and *in situ* precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Perú)”, ubicado en la cuenca del río Santa, con un período de evaluación desde 1965 hasta el 2013. Considera en sus conclusiones que los productos de resolución gruesa (TRMM y WRF27) representan correctamente el gran gradiente espacial entre las tierras bajas amazónicas húmedas y la Costa del Pacífico seco, por lo que sus series de precipitación a largo plazo pueden usarse para estudiar la variabilidad interanual de los patrones espaciales en una gran escala regional y posibles tendencias a largo plazo vinculadas al cambio climático.

Benali (2012) investigó la “Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data” con un total de 106 estaciones, concluyendo que puede estimarse con precisión la temperatura máxima, mínima y promedio en base a la altura utilizando las técnicas de teledetección, el resultado puede verse afectado por la temporalidad en el transcurso de los meses debido a la traslación de la Tierra que limita las estaciones mundiales.

Ninyerola (2000) en España investigó “A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques” en la Península ibérica, con un período de datos desde 1951 hasta 1999, concluyendo que se pueden hacer mapas temáticos mensuales y anuales de gran precisión de la temperatura y la precipitación usando procesos que integren técnicas estadísticas y SIG.

Huerta (2016) creó “PISCO temperatura versión 1.1”, abarcando todo el territorio nacional con un período de evaluación desde 1981 hasta el 2016, donde recomienda que el uso de productos grillados debe ser homogenizado con datos *in situ* para capturar las tendencias.

Quevedo (2009) investigó la “Comparación de dos métodos de interpolación para la estimación de la temperatura del aire aplicando técnicas geoestadísticas” abarcando todo el territorio nacional y teniendo un período de datos desde 1971 hasta el 2000. La conclusión fue que el método de la regresión lineal múltiple resulta ser un método bastante adecuado para la representación de la temperatura en zonas de montaña.

2.2. Bases teóricas

En el análisis de la tesis fue necesario plantear los parámetros que sirven de ejes conceptuales sobre los cuales se apoya la lectura interpretativa. Por ello fue necesario dividirlo en tres ítems que abarcan las variables de precipitación, temperatura y métodos de validación de datos.

2.1.1. Precipitación

La precipitación se define como alguna de las formas de agua líquida o sólida que cae del cielo (Met Office, 2018). Una definición más amplia sería que la precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra (Guillermo, 2015). Ocurre cuando la atmósfera se satura con el vapor de agua se condensa y precipita (Guillermo, 2015). Por consiguiente, la precipitación es toda agua producto de la condensación atmosférica del vapor de agua que precipita en forma sólida o líquida en la superficie de la Tierra. El vapor de agua es detectado por los sensores remotos que se encuentran en los diferentes satélites.

Los satélites no pueden medir las lluvias en forma directa, pero pueden realizar tales estimaciones aproximadas basadas en la cantidad de vapor de agua por medio de la aplicación de un coeficiente de precipitación, en función de la cantidad, tipo y espesor de las nubes observadas o deducidas a través de los sensores infrarrojos y de esta manera obtener la intensidad y precipitación probable (OMM, 2008). Los diferentes sensores remotos de precipitación son los pertenecientes a los satélites y proyectos Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications (MERRA-2), Global Precipitation Measurement (GPM), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Global Land Data Assimilation System (GLDAS), Land Data Assimilation System (FLDAS), National Climate Assessment - Land Data Assimilation System (NCA-LDAS) y North American Land Data Assimilation System (NLDAS), de las cuales el desarrollo de la tesis se enfoca en los productos generados por el proyecto TRMM y GPM, por ser los que abarcan la región de estudio.

En 1997 se inició el estudio de las precipitaciones para la investigación climática mediante el proyecto TRMM después de más de 17 años de recopilación de datos productivos, los instrumentos del proyecto TRMM se apagaron el 8 de abril del 2015 (Huffman, 2018b). El producto 3B43 el cual almacena los datos de la precipitación, se seguirá generando en la plataforma de GPM mientras ocurre la transición de los productos del proyecto TRMM a los productos del proyecto GPM hasta mediados del 2019 (Huffman, 2018b)

El proyecto TRMM consistió en la creación de un satélite de investigación diseñado para mejorar nuestra comprensión de la distribución y la variabilidad de la precipitación en los trópicos como parte del ciclo del agua en el sistema climático actual (Scott Braun, 2015). Al cubrir las regiones tropicales y subtropicales de la Tierra, TRMM proporcionó información muy necesaria sobre la precipitación y su liberación de calor asociada que ayuda a impulsar la circulación atmosférica global (Condom et al., 2011; Scott Braun, 2015). El satélite trabajó en coordinación con otros satélites pertenecientes al Sistema de Observación de la Tierra que posee la NASA, TRMM proporcionó información importante sobre la precipitación utilizando diferente tipos de sensores para aumentar nuestra comprensión de las interacciones entre el vapor de agua, las nubes y la precipitación, que son fundamentales para regular el clima de la Tierra (Mourre et al., 2016; Scott Braun, 2015).

El proyecto GPM consiste en una red internacional de satélites que proporciona las observaciones globales de precipitación y nieve (Chen & Li, 2016; Jenner, 2015). El proyecto inicio el 27 de febrero del 2014 con él envió de un satélite, siendo el sucesor directo del satélite TRMM mejorando sus características y manteniendo sus particularidades que hicieron tan exitoso al proyecto TRMM (Jenner, 2015). La misión consistió en el despliegue de un satélite “Core”, que lleva un sistema avanzado de radar/radiométrico para medir la precipitación desde el espacio, el cual sirve de patrón para unificar las mediciones de precipitación de la constelación de satélites de investigación operativos, comprendiendo un consorcio de agencias espaciales internacionales las cuales están formadas por el Centre National d'Études Spatiales (CNES), the Indian Space Research Organization (ISRO), the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), y the

European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) principalmente (Jenner, 2015). En la Tabla 2 se muestra un cuadro comparativo entre las principales diferencias entre los dos tipos de satélite.

Tabla 2: Especificaciones técnicas de TRMM y GPM

Algoritmo	<i>TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis</i>	<i>Integrate Multi-satellite Retrievals for GPM</i>
<i>Siglas básicas</i>	TMPA	IMERG
<i>Conjunto de datos</i>	3B42/ 3B43 3B40RT/3B41RT/3B42RT	3IMEGHH/ 3IMERGM 3IMERGL 3IMERGE
<i>Resolución espacial</i>	0.25°x0.25° lat/lon;50°N-S	0.1°x0.1° lat/lon; 60°N-S
<i>Intervalo de tiempo</i>	3hr: desde 1998 hasta el presente Mensual: desde 1998 hasta el presente	30 min: desde 12 marzo 2014 hasta el presente Mensual: abril 2014 hasta el presente

Adaptado: (Rozante et al., 2018)

Nota: En negrita el producto usado en la tesis.

El desarrollo de la tesis abarcó el período de transición entre ambos proyectos, con énfasis en los datos del proyecto GPM debido a que este proyecto se encuentra vigente en la actualidad mientras los productos generados por el proyecto TRMM están concluidos (Rozante et al., 2018; Scott Braun, 2015). Los datos satelitales debido a su naturaleza pasan por un proceso de mejora y validación tomando como base los datos *in situ*.

Los datos de precipitación sobre la superficie terrestre fueron obtenidos de la red meteorológica del Centro de Investigación para el Desarrollo (CIAD) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM). La red de estaciones está conformada por 16 estaciones distribuidas en el ámbito de la región Ancash, las cuales reportan datos a través del satélite GOES13 de forma continua siendo descargadas y almacenadas en el CIAD (Rafael, 2017). Las estaciones cuentan con un sistema uniforme de sensores las cuales tienen características técnicas de alta calidad como son los equipos Campbell Scientific que permite mantener un estándar de calidad en la obtención de los datos meteorológicos (Rafael, 2017). Entre las diferentes variables que miden las estaciones meteorológicas del CIAD, se encuentra la precipitación, la cual cumple con los estándares internacionales en la instalación y recolección de los datos (OMM, 2008; Rafael, 2017).

Los datos de precipitación obtenidos por las estaciones meteorológicas son de forma continua a intervalos de 5 minutos, los cuales son almacenados de forma automática en un Dataloger, el cual consiste en un módulo de control, almacenamiento y distribución de datos mediante el uso de una batería auto recargable con energía solar (Campbell Scientific, 2018). Los datos de precipitación son captados a través de un sensor TE525 de tipo balancín con una sensibilidad de 0.254mm por impacto (Campbell Scientific, 2012b), los datos recolectados por el sensor pueden sufrir alguna alteración externa o interna, es por ello que los datos tienen que ser sometidos a un control de calidad que permita identificar estas alteraciones.

El control de calidad al que se someten los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas es mediante el RCLIMDEX, software de cálculo de índices climáticos extremos y de detección de cambio climático, desarrollado en lenguaje R a frecuencia diaria (Zhang & Yang, 2004), permitiendo eliminar los datos erróneos identificados por el software.

La extracción de los datos satelitales de precipitación de los proyectos TRMM y GPM se realizó mediante el uso de un software SIG, que permite el geoprocesamiento de datos vectoriales y ráster (Arteaga, 2018).

Los datos vectoriales son una estructura que almacenan datos geográficos que representan objetos espaciales del mundo real en forma geométrica (puntos, líneas y polígonos) que contienen información. Los puntos representan coordenadas X e Y, las cuales vienen a ser la longitud y latitud (longitud van del polo Norte al polo Sur, latitud van de Este a Oeste) usadas comúnmente para la geolocalización. Las líneas son un conjunto de pares ordenados que forman dos o más vértices que unidos representan entidades lineales. Los polígonos son la representación de una superficie mediante la unión de entidades lineales describiendo un área cerrada que contiene atributos geográficos, normalmente usada para representar la localización de una entidad (QSIG, s. f.; Zerger & Bishop, 1999). En un nivel mayor de almacenamiento de datos se encuentran los datos ráster los cuales toman un enfoque diferente.

Los datos ráster están compuestos por filas y columnas conteniendo valores numéricos llamados píxeles (conocidos también como celdas), donde cada píxel representa una región geográfica de un alto y ancho determinado con un valor que representa alguna característica de dicha área. Los datos ráster se aplican a entidades que no son homogéneas logrando de esta manera evitar perder datos contenidos en el área, son buenos representando la superficie del mundo real ya que proporcionan una gran cantidad de detalles, pero también se pueden usar para la representación de ideas más abstractas como las tendencias de precipitación, temperatura entre otras más (Chang, 2018; DeMers, 2008).

La representación de los datos ráster está determinada por su resolución espacial, espectral y temporal. La resolución espacial consiste en la representación geográfica de un área que abarca el píxel de un ancho y alto determinado, generalmente la resolución espacial es determinada por el sensor y el propósito del satélite (Chang, 2018; DeMers, 2008). La resolución espectral está compuesta por los sensores electrónicos que son capaces de detectar las diferentes longitudes de onda dentro del espectro electromagnético (Chang, 2018; DeMers, 2008). La resolución temporal consiste en la frecuencia o el período que demora en reingresar al mismo espacio el satélite (Chang, 2018).

Los satélites pueden ser divididos en dos tipos principalmente, satélites geoestacionarios y polares. Los satélites geoestacionarios giran a la misma velocidad que la Tierra, se encuentran ubicadas a unos 35,790Km aproximadamente y tienen un período de rotación de 23h:56m:40s, siempre observan la misma superficie con lo cual permiten observar los eventos meteorológicos (Rogerson, 2016). Los satélites polares giran alrededor de la Tierra, a través de los ejes polares de forma sincronizada con el sol (Rogerson, 2016). De estos dos tipos de satélite los datos de precipitación generados por TRMM y GPM se generan a través de los satélites geoestacionarios ubicados alrededor de mundo (Huffman, 2018a).

Los datos de precipitación de los satélites TRMM y GPM se ajustaron a los datos del CIAD mediante la ecuación de corrección del método aditivo planteado en el estudio desarrollado por Condom et al, (2011), donde el modelo aditivo es un

proceso estándar que asume que los datos de las estaciones meteorológicas son correctos y permiten el cálculo del promedio mensual usando la *ecuación* (1), creando el vector F_1 el cual está compuesto de 12 valores mensuales (Condom et al., 2011).

$$\frac{\sum_{t=1}^j \left(\mu_{\log(\text{Satelite}_{i,j+1})} - \mu_{\log(\text{CIAD}_{i,j+1})} \right)}{j} = F_{1i} \quad (1)$$

Donde j es el número de años, i son los meses (1,2, ..., 11,12), $\mu_{\log(\text{Satelite}_{i,j+1})}$ son los datos de TRMM y GPM transformados a datos mensuales i por cada año j y $\mu_{\log(\text{CIAD}_{i,j+1})}$ son datos de las estaciones meteorológicas del CIAD transformados a datos mensuales i para cada año j .

El vector F_1 hallado en la *ecuación* (1) se aplica en la *ecuación* (2) para obtener los datos mensuales corregidos de TRMM y GPM del período de estudio (Condom et al., 2011).

$$\text{Satelite}_{icj} = \sqrt{F_{1i} \text{Satelite}_{i,j} + 1} - 1 \quad (2)$$

Donde Satelite_{icj} son los datos corregidos, i son los meses y j son los años, F_{1i} es el vector, $\text{Satelite}_{i,j}$ son los datos satelitales.

La *ecuación* (2) es una ecuación desarrollada para el territorio peruano, debido a que contempla la geografía irregular y por ello requiere que los datos estén regionalizados, para lo cual se emplea el DEM (Condom et al., 2011; Lavado Casimiro et al., 2009).

El modelo de elevación digital (DEM) es una representación matemática compuesta de píxeles que representan la altura con respecto al nivel del mar que permite caracterizar las formas del relieve (Contreras, 2014). El DEM que se maneja es el SRTM30 mejorado, que tiene una resolución espacial de 90m el cual ha pasado por varias mejoras de interpolación y nuevos algoritmos desde el 2004, actualmente los datos SRTM están en la versión 4 y son administrados por CGIAR-

CSI quienes mantienen en constante mejora el DEM (CGIAR-CSI SRTM – SRTM 90m , s. f.; Global Elevation Data, s. f.).

Con la ayuda del DEM se caracteriza y desarrolla la regionalización, basada en delimitar los límites de las cuencas hidrográficas para obtener una correlación aceptable entre la precipitación, altitud, longitud y latitud que permite identificar las regiones geográficas relativamente homogéneas (Allende & Mendoza, 2010; Condom et al., 2011).

La cuenca hidrográfica es la unidad territorial definida por el sistema hídrico, donde su corriente principal conduce sus aguas a otro sistema hídrico mayor (mar, lago etc.) y se encuentra delimitado por los puntos de mayor altura denominado divisoria o parte agua, la cual divide las precipitaciones entre las cuencas (Mejía, 2019).

2.1.2. Temperatura

Se define la temperatura como la magnitud física de los movimientos de las partículas, dependiendo de los factores espacio temporales pueden ser muy variables y complejas debido a los factores ambientales que controlan el equilibrio energético entre la Tierra y la atmósfera (Becker & Zhao-Liang Li, 1995; Benali et al., 2012; OMM, 2008). La radiación solar es el principal flujo de energía que alcanza la superficie de la Tierra, limitada por factores como la latitud y longitud que determinan la posición relativa del sol, la presencia de nubes y partículas en la atmósfera, formando un equilibrio mediante la adsorción solar en onda corta y emisión de radiación en onda larga (Benali et al., 2012), las cuales pueden ser medidos por los termómetros.

El termómetro es un equipo que permite medir la temperatura a una escala internacional (valores meteorológicos de -80 °C a +60 °C), la cual está basada en la relación lineal entre la resistencia eléctrica del platino y el punto de rocío triple del agua (OMM, 2008). En la toma de datos de temperatura meteorológica el termómetro tiene que estar expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa (OMM, 2008). Por otro lado los termómetros radiométricos que operan en la banda

infrarroja del espectro electromagnético son usados principalmente en los satélites (OMM, 2008).

El proyecto The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications versión 2 (MERRA-2), el cual aporta información satelital de temperatura, fue una iniciativa de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) donde se tuvo la visión de realizar el reanálisis de la historia climática, para ello se integraron diferentes tipos de satélite y productos generados por la NASA, con lo cual se ha logrado generar datos desde 1980 hasta la actualidad. Los datos de MERRA-2 tienen una resolución espacial de $0.5^\circ \times 0.625^\circ$ a una temporalidad mensual (Bosilovich et al., 2016; Collins et al., 2005; Dee et al., 2014). Estos datos satelitales pasan por un proceso de mejora y validación en base a los datos tomados en campo por las estaciones meteorológicas.

Los datos de temperatura generados por las estaciones meteorológicas del CIAD son obtenidos través de los sensores HMP45C y 107, los cuales se encuentran ubicados a 2 metros sobre el suelo (Rafael, 2017) y se detallan sus principales características en la Tabla 3.

Tabla 3: Especificaciones técnicas de los sensores HMP45C y 107

Características	MODEL HMP45C	MODEL 107
RANGO DE TEMPERATURA	-40°C a +60°C	-35°C a +50°C
ERROR	<±0.4 °C	<± 0.01 °C
VARIABLES	Temperatura del aire, humedad relativa	Temperatura (aire, suelo y agua)

Adaptado: (Campbell Scientific, 2009, 2012a)

Nota: Ambos sensores se encuentran instalados en las estaciones del CIAD

Al igual que la precipitación la temperatura del CIAD fue sometido al control de calidad del software RCLIMDEX, el ingreso de datos es a frecuencia diaria donde se identifica que la temperatura máxima no sea menor que la mínima, también genera límites de control mediante la *ecuación* (3) (Zhang & Yang, 2004):

$$Lim = \bar{x} \pm 3 * S \quad (3)$$

Donde *Lim* es el límite máximo o el límite mínimo de la temperatura, \bar{x} es el promedio, *S* es la desviación estándar.

Por último se realiza un análisis de redondeo, este último análisis está pensado principalmente para la identificación de errores en la recolección de data de forma manual (Zhang & Yang, 2004).

Para la mejora de los datos de temperatura se aplican las *ecuaciones* (4) y (5) debido al alto grado de correlación con la altura. La *ecuación* (4) permite bajar las estaciones a una misma altura para que puedan ser interpolados espacialmente (Fries et al., 2012).

$$T_{Det} = T_m + (r * (Z_{Det} - Z_m)) \quad (4)$$

Donde T_{Det} es la nueva temperatura a la altura determinada, T_m es la temperatura de la estación, r es la gradiente de la temperatura con la altura, Z_{Det} es la nueva altura estimada, Z_m es la altura actual a la que se encuentra la estación (Fries et al., 2012).

Una vez interpolado los datos de temperatura se procede a corregir los datos con la *ecuación* (5) restableciendo a su altura correspondiente.

$$T_{(x,y)} = T_{Det} + (r(Z_{(x,y)}^{DEM} - Z_{Det})) \quad (5)$$

Donde $T_{(x,y)}$ es la temperatura a una altura y ubicación determinada por el DEM, T_{Det} es la temperatura determinada en la ecuación anterior, $Z_{(x,y)}^{DEM}$ el DEM, Z_{Det} altura a la que fue determinada la temperatura determinada (Fries et al., 2012).

2.1.3. Análisis y validación de datos.

Los datos satelitales de temperatura y precipitación junto con los datos de las estaciones meteorológicas fueron sometidos a análisis de consistencia y validación de datos.

La comparación de los datos de temperatura y precipitación satelital con los datos de las estaciones meteorológicas del CIAD (Condom et al., 2011) fueron aplicadas mediante la *ecuación* (6), la cual nos permite observar la diferencia entre los datos satelitales e *in situ*.

$$\Delta TP_s = (TP_{s_{i,j}} - EM_{i,j}) \quad (6)$$

Donde ΔTP_s es la variación entre los datos de satélite con los datos de la estación meteorológica CIAD, $TP_{s_{i,j}}$ datos de MERRA-2, TRMM y GPM, $EM_{i,j}$ son datos de las estaciones meteorológicas, j números de años (2012, ...,2017), i número de meses (1, ...,12).

El error cuadrático medio (RMSE) es el análisis del comportamiento probabilístico que compara el error de pronóstico del modelo mediante la *ecuación (7)*, la cual determina que tan lejos están los datos de la línea de regresión lineal y es usado comúnmente en climatología, predicción, análisis de regresión y en la verificación de resultados experimentales, de esta manera RMSE busca que el valor estimado sea el menor valor posible en términos de su desviación estándar. (Barnstom, 1992; Condom et al., 2011; Despotovic et al., 2016)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (TP_{s_{i,j}} - EM_{i,j})^2}{N}} \quad (7)$$

Donde $TP_{s_{i,j}}$ son datos de MERRA-2, TRMM y GPM, $EM_{i,j}$ son datos de las estaciones meteorológicas, j números de años (2012, ...,2017), i número de meses (1, ...,12) y N es el número de pares de datos.

El error cuadrático medio relativo (RRMSE) es mostrado en la *ecuación (8)*, la cual indica la precisión de los modelos con respecto a los datos *in situ* (Despotovic et al., 2016).

$$RRMSE = \frac{\sqrt{RMSE}}{\sum_{i=1}^N TP_{i,j}} * 100 \quad (8)$$

Donde $TP_{s_{i,j}}$ son datos de MERRA-2, TRMM y GPM, $EM_{i,j}$ son datos de las estaciones meteorológicas, $RMSE$ es el valor obtenido del error cuadrático medio, j números de años (2012, ...,2017), i número de meses (1, ...,12) y N es el número de pares de datos.

Los resultados de RRMSE son obtenidos en porcentaje, si <50% es determinado como valores confiables, si >=50% la estimación se considera poco confiable (Condom et al., 2011).

Coefficiente de determinación (r^2) descrita en la *ecuación* (9) busca el rendimiento de la covariación (varían conjuntamente). Es importante hacer notar que esta covariación no implica necesariamente causalidad, la correlación puede ser fortuita (Vinuesa, 2012). Entonces r^2 mide la relación entre los valores estimados con los valores observados.

$$r^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (EM_i - \overline{EM})(TPS_i - \overline{TPS})}{\left[\sum_{i=1}^N (EM_i - \overline{EM}) \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^N (TPS_i - \overline{TPS}) \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (9)$$

Donde EM_i es el valor de estación mensual del multi anual, TPS_i es el valor estimado corregido (MERRA-2, TRMM y GPM), \overline{EM} es el promedio del valor de estación mensual anual, \overline{TPS} es el promedio de valor estimado (MERRA-2, TRMM y GPM) mensual anual e i es el promedio mensual de todos los años (1, ...,12).

Teniendo en cuenta que la correlación es en esencia una medida normalizada de asociación o covariación lineal entre dos variables. Esta medida o índice de correlación r^2 puede variar entre 0 y 1, si $r^2 = 1$ indica correlaciones perfectas y si $r^2 = 0$ indica que no existe relación lineal entre las dos variables (Vinuesa, 2012). Por consiguiente, r^2 fue clasificado bajo los criterios de muy bueno >0.95, bueno de 0.85 – 0.95, satisfactorio de 0.65 - 0.85 e insatisfactorio <0.65 (Lujano Laura et al., 2015).

El sesgo porcentual (BIAS) mostrado en la *ecuación* (10) describe la tendencia del comportamiento de los datos. El inconveniente de esta prueba es que no muestra el rendimiento correcto cuando el modelo presenta valores sobreestimados y subestimados al mismo tiempo, ya que los valores de sobreestimación y subestimación se cancelan entre sí (Despotovic et al., 2016).

$$BIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (TPS_i - EM_i)}{\sum_{i=1}^N EM_i} \right] \times 100 \quad (10)$$

Donde EM_i es el valor de estación mensual multi anual, TPs_i es el valor estimado corregido (MERRA-2, TRMM y GPM) e i es el promedio mensual de todos los años (1, ...,12).

Por consiguiente, un BIAS positivo implica que la tendencia del modelo es a sobreestimar los valores de las observaciones, por el contrario cuando se obtiene un BIAS negativo el modelo tiende a subestimar, mientras que el valor óptimo del BIAS es 0.0 (Despotovic et al., 2016; Lujano Laura et al., 2015).

La eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE) es una *ecuación* (11) estadística normalizada que determina la magnitud relativa de la varianza residual ("ruido") en comparación con la varianza de datos medidos, el cual es uno de los controles de calidad más usados en Hidrología que permite medir cuánto de la variabilidad de los datos *in situ* es explicada por la corrección de los datos satelitales, también es un indicador del buen comportamiento gráfico del modelo, (Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (EM_i - TPs_i)^2}{\sum_{i=1}^N (EM_i - \overline{EM})^2} \quad (11)$$

Donde EM_i es el valor de estación mensual del multi anual, TPs_i es el valor estimado corregido (MERRA-2, TRMM y GPM), \overline{EM} es el promedio del valor de estación mensual anual e i es el promedio mensual de todos los años (1, ...,12).

La eficiencia de Nash y Surcliffe está sometida bajo los criterios de muy bueno 0.90, bueno 0.80 – 0.90, aceptable 0.65 - 0.80 e insatisfactorio <0.65 (Moriasi et al., 2007; Ritter & Muñoz-Carpena, 2013).

2.3. Definición de términos.

3.5.1. NetCDF

Es un formato diseñado para el almacenamiento de datos en forma de matrices que constituyen una colección que puede ser distribuida libremente y permite el acceso a los datos, normalmente usado para representar datos

científicos como temperatura, humedad, presión, precipitación, velocidad y dirección de viento (ESRI, 2010; News unidata, 2019).

3.5.2. Python

Es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y multipropósito. En los últimos años su utilización ha ido creciendo constantemente y en la actualidad es uno de los lenguajes de programación más empleados para el desarrollo del software. Puede ser utilizado en diversas plataformas y sistemas operativos, entre los que podemos destacar los más populares como Windows, Mac OS X, Linux (Borges, 2010; Montoro, 2012).

Hasta el momento sólo se ha liberados tres versiones principales, teniendo cada una de ellas diversas actualizaciones. En lo que respecta a la versión 2, la última en ser liberada fue la 2.7 en julio del 2010, la versión 3 cuenta con la actualización 3.2, liberada en febrero del 2011. Ambas versiones se mantienen por separado. Esto implica que tanto la 2.7 como la 3.2 se consideran estables, pero, lógicamente, hay diferencias notables entre las versiones y por ello se mantiene las dos versiones (Borges, 2010; Montoro, 2012).

3.5.3. R

R es un entorno de software libre para computación estadística y gráficos. Compila y se ejecuta en una amplia variedad de plataformas UNIX, Windows y MacOS (R Foundation, 2019).

3.5.4. Geolocalización

Es una de las herramientas más utilizadas por diferentes profesionales para situar a las personas u objetos en el espacio mediante sus coordenadas (latitud – longitud), la cual ha cobrado una eminente dimensión a partir de la aparición de internet y el desarrollo de nuevos software de ubicación (Salazar, 2017)

3.5.5. Modelo

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica (Felicísimo, 2018).

a. Tipos de modelo

➤ Modelos análogos

Poseen algunas propiedades similares a los objetos representados, pero sin ser una réplica morfológica de los mismos. Normalmente, para su construcción se utiliza un conjunto de convenciones que sintetizan y codifican propiedades del objeto real para facilitar la “lectura” o interpretación de las mismas (Felicísimo, 2018).

➤ Modelos digitales

Son como los análogos con la diferencia básica que los modelos digitales están codificados en cifras, por lo que permite su tratamiento informático (Felicísimo, 2018). Los modelos digitales presentan unas propiedades inherentes a su naturaleza:

✓ No ambigüedad:

Cada elemento del modelo tiene unas propiedades y valores específicos y explícitos (Felicísimo, 2018)

✓ Verificabilidad:

Los resultados se construyen mediante pasos explícitos y concretos que pueden ser analizados uno a uno y comprobados en todas las fases del proceso (Felicísimo, 2018).

✓ Repetitividad:

Los resultados no están sometidos, a menos que se diseñe expresamente, a factores aleatorios o incontrolados y pueden ser comprobados y replicados las veces que se desee (Felicísimo, 2018).

3.5.6. Fenómenos climáticos mundiales

a. ENSO

Es un patrón climático recurrente que implica cambios de temperatura de las aguas en el Océano Pacífico, el cambio afecta a los patrones de presión a nivel del mar, vientos y lluvias (NOAA, 2018).

Varía en periodos de tres a siete años y consiste en que las aguas superficiales a través de una gran franja del Océano Pacífico se calienten o enfríen entre 1 ° C a 3 ° C, en comparación con la temperatura normal (US Department of Commerce, s. f.).

Este patrón de calentamiento y enfriamiento oscilante, denominado ciclo ENSO, afecta directamente la distribución de las lluvias en los trópicos y puede tener una fuerte influencia en el clima en diferentes partes del mundo. El Niño y La Niña son las fases extremas del ciclo ENSO, entre estas dos fases hay una tercera fase llamada ENSO-neutral (NOAA, 2018; US Department of Commerce, s. f.).

b. ZCIT

Las condiciones atmosféricas en la Zona de Convergencia Intertropical son muy inestables. Formado por fuertes corrientes de aire ascendente, a medida que el aire asciende, la humedad dentro de él se condensa, se forman nubes y llueve. Las condiciones inestables hacen que las regiones ecuatoriales sean una de las más húmedas del mundo. Estas áreas a menudo experimentan fuertes lluvias y tormentas eléctricas (Dias, 2010; LosTipos, 2018; NASA, 2000).

En el hemisferio norte, los vientos alisios se mueven hacia el suroeste desde el noreste, mientras que, en el hemisferio sur, se mueven hacia el

noroeste desde el sureste. Cuando la Zona de Convergencia Intertropical, se ubica al norte o al sur del Ecuador, estas direcciones cambian de acuerdo con el efecto de Coriolis generado por la rotación de la Tierra (Dias, 2010; LosTipos, 2018; NASA, 2000).

La variación en la ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical afecta drásticamente la precipitación en muchas naciones ecuatoriales, lo que resulta en las estaciones húmedas y secas de los trópicos en lugar de las estaciones frías y cálidas de las latitudes más altas. Los cambios a largo plazo en la Zona de Convergencia Intertropical pueden provocar sequías severas o inundaciones en áreas cercanas (Dias, 2010; LosTipos, 2018; NASA, 2000).

2.4. Fundamento del escenario de investigación

La zona de estudio abarca toda la región Ancash mostrado en la Figura 1, la cual se encuentra ubicada al noroeste del Perú y limitada por el norte con La Libertad, por el este con Huánuco, por el sur con Lima y por el oeste con el Océano Pacífico. Su altura va desde los 0 m (zona costa) hasta los 6768 m (zona sierra), altura del nevado Huascarán. Posee un clima semi seco y semifrío en la zona sierra mientras que en las costas tiene un clima muy cálido con alto contenido de humedad.

Se eligió la región Áncash debido a que es una de las regiones que tiene la red de estaciones meteorológicas más grandes y completas del Perú, también contiene las zonas de costa, sierra y áreas de glaciares. Esto permite evaluar el comportamiento de los datos en diferentes escenarios climáticos y a diferentes alturas con respecto al nivel del mar, permitiendo un análisis enriquecedor del comportamiento de los datos y su modelización.

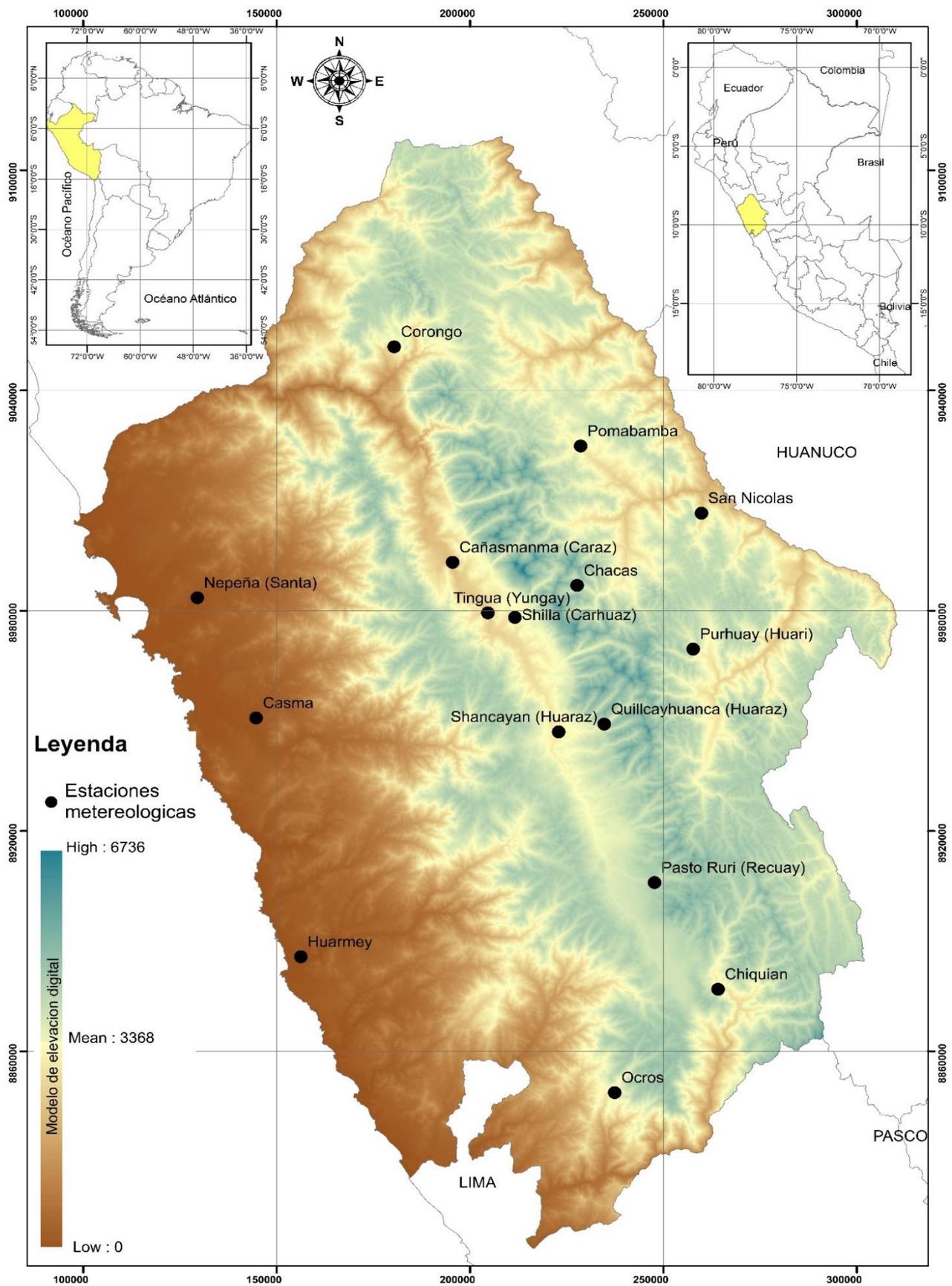


Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas
Fuente: CIAD y DEM STRM30 de 90m.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo longitudinal debido a que las muestras numéricas se evalúan en un prolongado período de tiempo y en puntos específicos de las estaciones meteorológicas que permiten realizar el análisis de las variables.

A continuación, en la Figura 2 se detalla un diagrama de flujo del procedimiento realizado para la ejecución de la tesis.

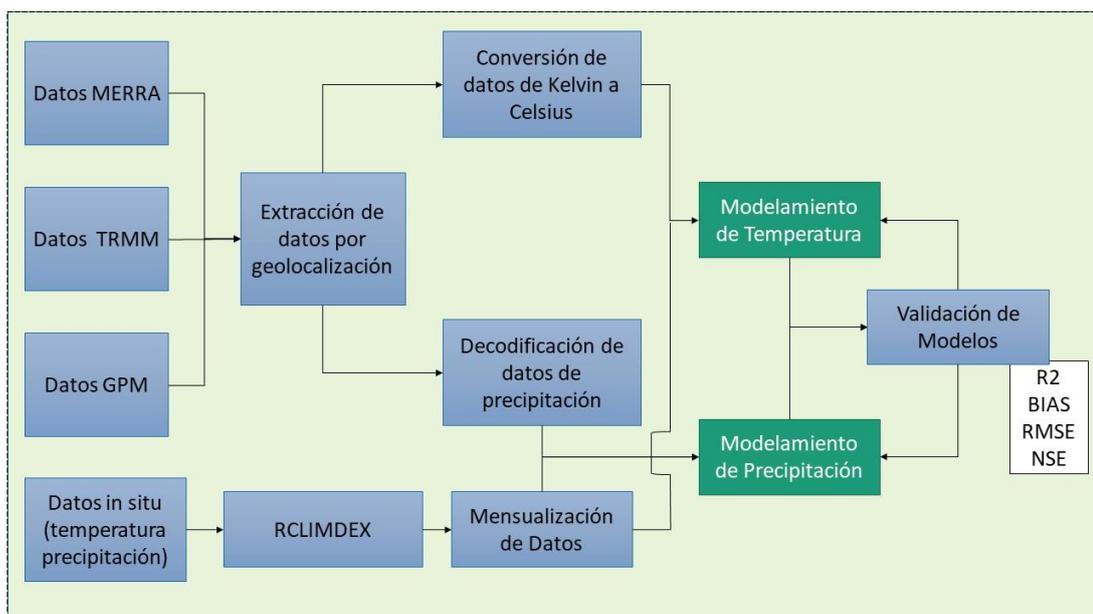


Figura 2: Diagrama de flujo de procedimientos

3.2. Métodos de análisis de la precipitación

El método usado fue propuesto por Condom et al. (2011), quien plantea la *ecuación (1) y (2)* denominado “modelo aditivo”, el cual consiste en un factor de corrección de la precipitación regionalizada de la zona de estudio. La *ecuación (1)* genera un factor de corrección de forma mensual promedio de las regiones identificadas dentro del área de estudio, posteriormente este factor puntual es aplicado en la *ecuación (2)* donde se corrige para cada uno de los pixeles dentro de la región que le corresponde.

Este método está limitado a áreas de montaña, ha sido replicado con éxito por la comunidad científica nacional e internacional y ha demostrado su alto grado de eficiencia (Condom et al., 2011; Lavado Casimiro et al., 2009; Mourre et al., 2016).

3.3. Métodos de análisis de la temperatura

El método usado para la temperatura fue una combinación de los métodos planteados por Fries et al. (2012); Quevedo & Sánchez (2009); donde se plantea que la temperatura tiene un alto grado de relación con la altura y por ende ésta puede ser modelada usando un DEM, para lo cual se usa las *ecuaciones (4) y (5)*. Es importante mencionar que los datos de temperatura generados por los satélites tienen una buena correlación con los datos *in situ* y permiten observar el comportamiento de la temperatura en otras áreas donde no se cuentan con estaciones meteorológicas.

3.4. Pretratamiento y adecuación de datos *in situ*

Los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas del CIAD fueron a paso horario por lo que fueron transformados a paso diario. Para el caso de la precipitación, éstas fueron el acumulado de las 24 horas, mientras que para el caso de la temperatura se obtuvo el máximo del día y el mínimo del día, con el objetivo de realizar el control de calidad con RCLIMDEX, el script usado actualmente por SENAMHI en el control de calidad de sus datos.

Durante el pre procesamiento, algunos datos de estaciones presentaron errores, esto posiblemente se deba a que estas estaciones sufrieron algún

desperfecto, manipulación inadecuada o pérdida de datos que afectó su funcionamiento adecuado.

Los datos identificados por el RCLIMDEX como datos erróneos fueron eliminados del proceso, puesto que no se tiene un patrón de control de calidad de datos para que puedan ser completados. Por ejemplo, la Figura 3 muestra datos de la estación Cañasbamba, donde se observa que en el gráfico A los datos que fueron entregados por el CIAD presentan algunos errores y fechas faltantes mientras que los datos del gráfico B muestran los datos después del control de calidad sin los datos erróneos.

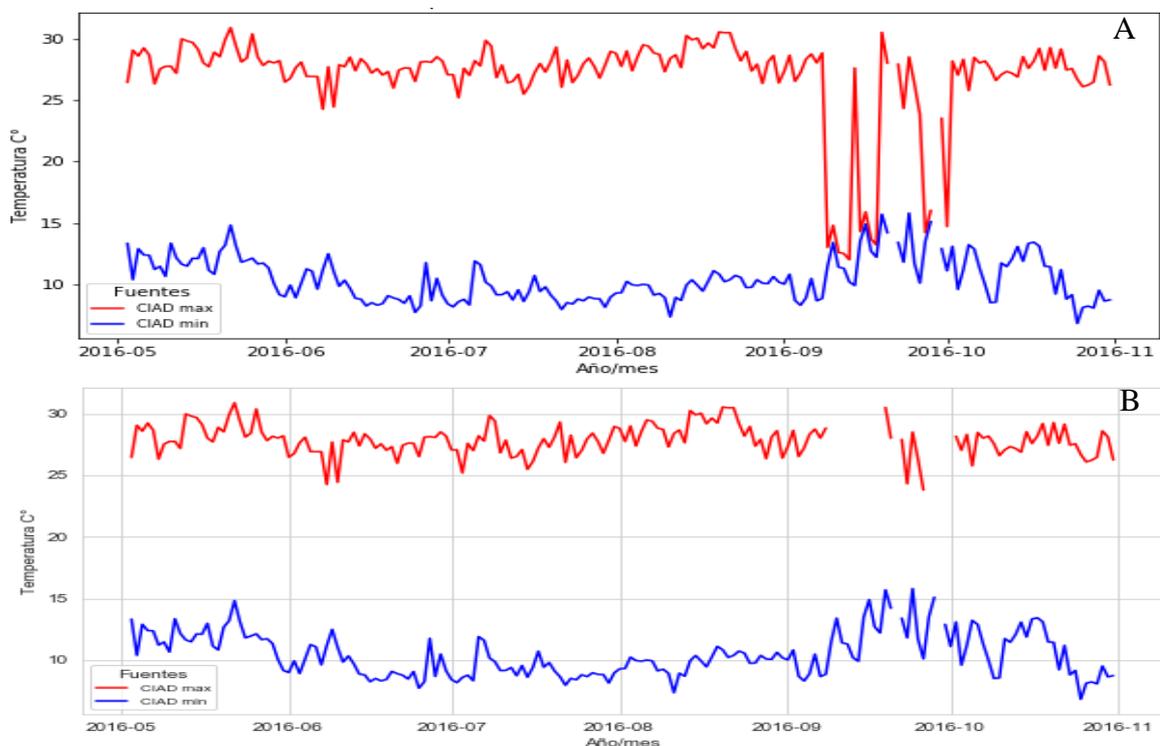


Figura 3: Datos de temperatura diaria de Cañasbamba,
Nota: Color rojo temperatura máxima, azul temperatura mínima, A son los datos de temperatura del CIAD y B son los datos de temperatura con RCIMDEX

Después del control de calidad de los datos *in situ* del CIAD se procedió a mensualizar. Los datos de precipitación corresponden al acumulado del mes, los datos de temperatura mensual se obtuvieron del promedio de los máximos y de los mínimos. Posteriormente se procedió a generar datos promedio mensuales mediante la suma de los máximos y mínimos mensuales entre 2.

3.5. Descarga, extracción y adecuación de datos satelitales

Los datos satelitales fueron obtenidos de la página web GIOVANNI–NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). La descarga de los datos fue a través del diseño de un script en lenguaje Python que pudo descargar todos los datos de forma automática (Anexo 1), estos datos descargados fueron en formato NetCDF a paso mensual.

Con los datos descargados se procedió a realizar la extracción de los datos mediante la geolocalización punto grilla de las estaciones a través del uso de un software SIG y el lenguaje de programación Python (Cumbe & Candeias, 2014; ESRI, 2019). Se obtuvo valores de las grillas en cada estación para cada mes de estudio, los datos obtenidos de TRMM y GPM fueron multiplicados por el número de días del mes del que pertenecen para que puedan ser usados y estén en las unidades DEM. A los datos de MERRA-2 se les resto 273.15 debido a que se encontraban en grados Kelvin y era necesario tenerlos en grados Celsius debido a que los datos *in situ* están en esa unidad (Anexo 2).

Los datos extraídos fueron organizados por fechas y estaciones. Los datos *in situ* del CIAD fueron usados como patrón para la adecuación de los datos satelitales, de esta manera se logró considerar las mismas fechas de los datos satelitales.

3.5.1. Regionalización

La regionalización se realizó mediante el uso del DEM, generando los límites hidrográficos de la cuenca y uniendo las cuencas que tienen un comportamiento similar (Allende & Mendoza, 2010; Ouatiki et al., 2017). Se identificaron 4 regiones, a las cuales se muestran en la Figura 4 y fueron denominadas como R1 Santa, R2 Maraón, R3 Pativilca y R4 Pacífico.

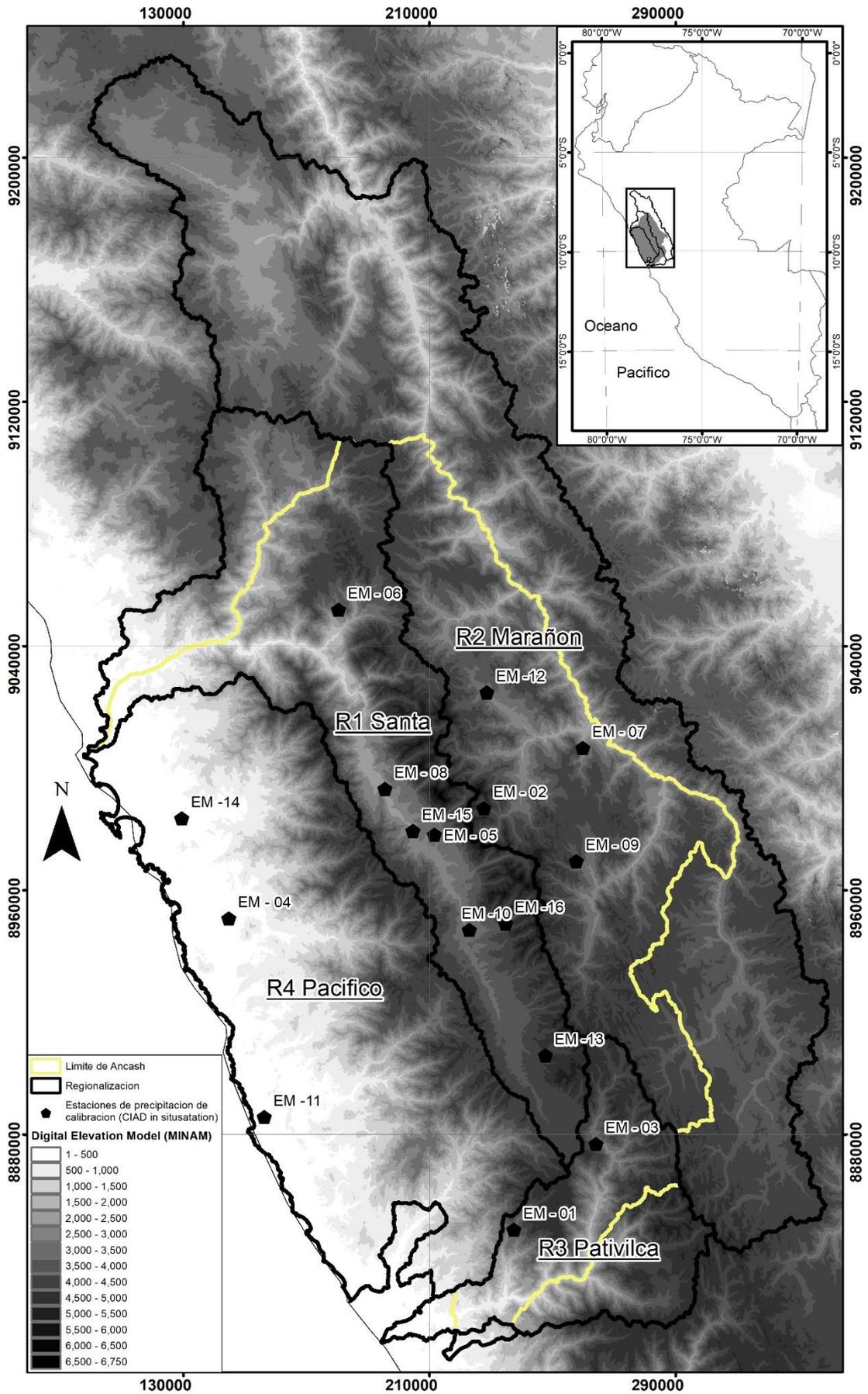


Figura 4: Mapa de regionalización de cuencas hidrográficas

Las estaciones meteorológicas están codificadas como EM-01 Ocos, EM-02 Chacas, EM-03 Chiquián, EM-04 Casma, EM-05 Shilla, EM-06 Corongo, EM-07 San Nicolás, EM-08 Cañasbamba, EM-09 Purhuay, EM10 Shancayán, EM-11 Huarmey, EM-12 Pomabamba, EM-13 Pasto Ruri, EM-14 Nepeña, EM-15 Tingua y EM-16 Quillcayhuanca.

Posterior a la regionalización se procedió a ubicar geográficamente las estaciones meteorológicas en las regiones que les corresponden mostrado en la Tabla 3.

Tabla 4: Período de datos del CIAD de precipitación y temperatura regionalizada.

Región	Estación meteorológica CIAD	Período de datos
<i>R1 Santa</i>	EM-06 CORONGO (3207 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-05 SHILLA (3210 m.s.n.m.)	02/2012 - 12/2017
	EM-15 TINGUA (2614 m.s.n.m.)	01/2012 - 12/2017
	EM-08 CAÑASBAMBA (2367 m.s.n.m.)	01/2012 - 12/2017
	EM-16 QUILLCAYHUANCA (3830 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-10 SAHNCAYAN (3135 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-13 PASTO RURI (4194 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
<i>R2 Marañón</i>	EM-07 SAN NICOLÁS (2573 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-12 POMABAMBA (3024 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-09 PURHUAY (3450 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
<i>R3 Pativilca</i>	EM-02 CHACAS (3964 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-03 CHIQUIÁN (3367 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
<i>R4 Pacífico</i>	EM-01 OCROS (3514 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-14 NEPEÑA (126 m.s.n.m.)	07/2012 - 12/2017
	EM-04 CASMA (167 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017
	EM-11 HUARMEY (12 m.s.n.m.)	03/2012 - 12/2017

3.5.2. Corrección de la precipitación.

Con la regionalización de los datos *in situ* se obtuvo la precipitación regional para cada mes, este proceso se desarrolló mediante el promedio mensual de las estaciones comprendidas en la misma región promediando para cada mes el total de años de estudio.

Con los datos obtenidos de la regionalización de los datos *in situ* y los datos satelitales se procedió a aplicar la *ecuación* (1) con lo cual se obtuvieron los 12 datos de F1 que permitieron la corrección de los datos satelitales (Anexo 3).

Los datos F1 obtenidos anteriormente fueron usados en la *ecuación* (2) para aplicarlo a los datos satelitales (Anexo 4), de esta manera se logró generar los datos de precipitación satelital corregido para cada una de las 4 regiones.

3.5.3. Corrección de la temperatura

La temperatura fue corregida considerando el grado de correlación entre la altura y la temperatura, para ello los datos de MERRA-2 fueron promediados de forma mensual y anual generando 12 procesos de corrección por cada mes correspondiente.

Para ello se bajó los datos de temperatura (MERRA-2 y CIAD) a una misma altura con la *ecuación* (4), en base a la ecuación de la recta. En la Figura 5 se muestra como ejemplo los datos correspondientes al mes de enero representados con sus ecuaciones de la recta, observándose la diferencia entre los datos MERRA-2 y CIAD, donde los datos de MERRA-2 son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

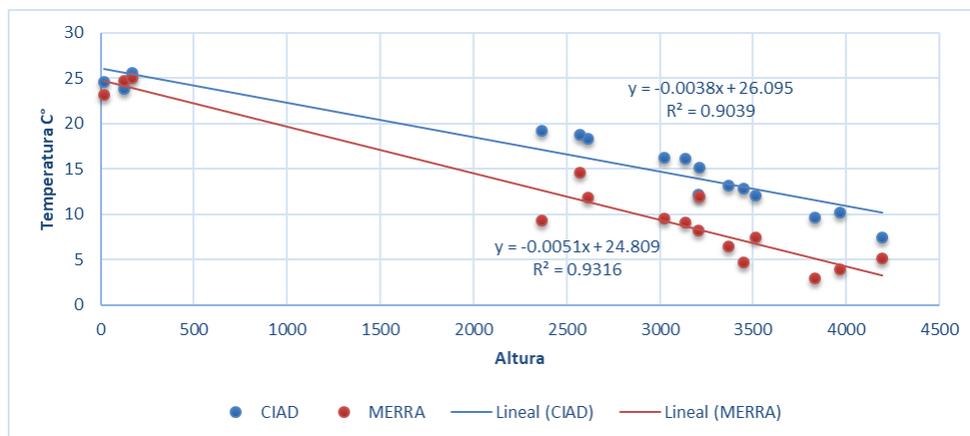


Figura 5: Correlación de MERRA-2 y el CIAD con la altura del mes de enero

Se usó la ecuación de la recta de los datos *in situ* en la *ecuación* (5) para los datos satelitales, de esta manera logrando ajustar los datos satelitales a los datos *in situ*. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de los datos del mes de enero.

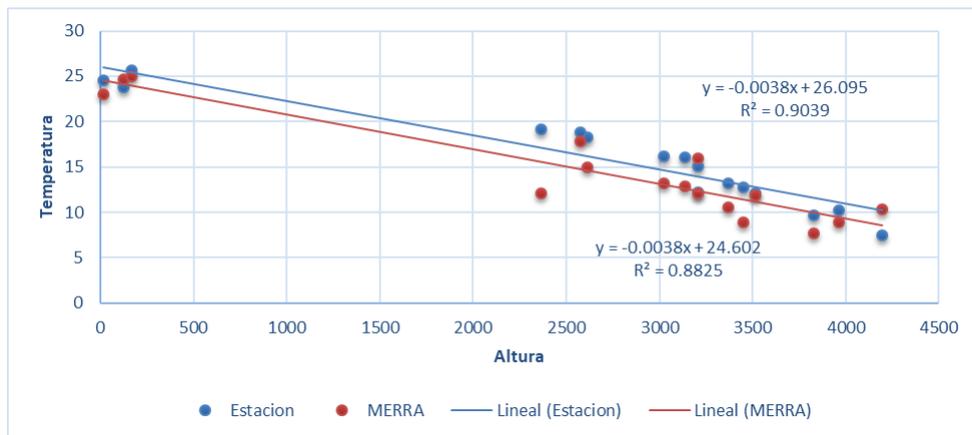


Figura 6: Correlación del mes de enero de los datos MERRA-2 mejorados

Por consiguiente, las nuevas ecuaciones de la recta mostraron una diferencia entre las ecuaciones b (CIAD) y b' (MERRA-2), donde a b' se le sumó la resta entre b' y b obteniéndose el valor de reajuste correspondiente a la recta mostrado en la Figura 7.

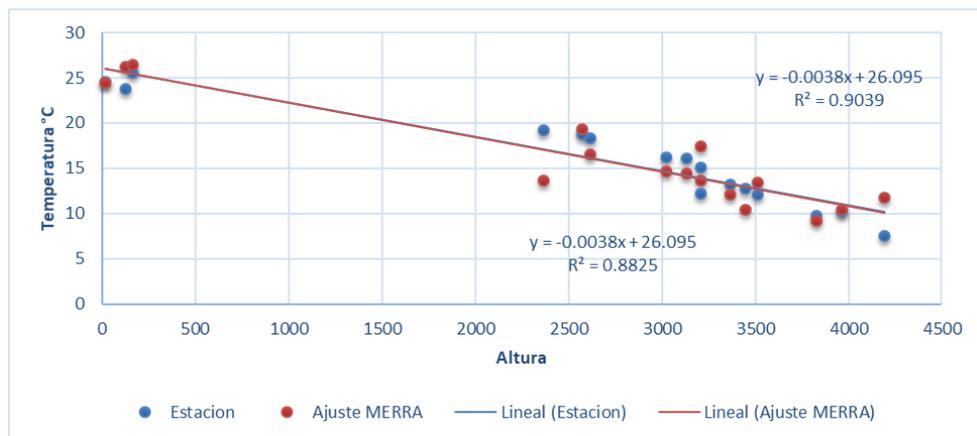


Figura 7: Correlación de los datos *in situ* y mejorados en b para el mes de enero

Una vez establecidos los valores de la pendiente de MERRA-2, CIAD y el valor de reajuste, se procedió a bajar las temperaturas a una misma altura. Para MERRA-2 y el CIAD se empleó la *ecuación* (4) con su respectiva pendiente. Asimismo, se empleó el modelo Kriging para reducir el tamaño de los pixeles de 5 Km a 1 Km para los datos de MERRA-2.

Con la *ecuación* (5) los datos de MERRA-2 retornan a su altura correspondiente basado en el DEM y la pendiente generada por el CIAD.

Finalmente, a los datos de MERRA-2 se les sumó el valor de la diferencia de b con b' establecidos con anterioridad en el Figura 7.

3.6. Materiales y equipos

Durante el desarrollo de la tesis se contó con algunos materiales y equipos especiales, los cuales se describen en la Tabla 5 y las especificaciones detalladas en la Tabla 6.

Tabla 5: Materiales y equipos usados

<i>Materiales</i>	<i>Equipos</i>
Cuaderno de recolección de información Internet	Laptop Computadora de escritorio USB

Tabla 6: Característica del equipo principal

<i>Equipo</i>	<i>Características</i>
Computadora de escritorio	Procesador: AMD FX™-8350 Eight-Core Processor (8 CPUs), -4.3 GHz Memoria: 16 GB RAM Video: AMD Raedon R7 250 series 10169 GB

3.7. Población y muestra

3.7.1. Características de la muestra

- **Población:** conformada por las variables de temperatura y precipitación de las estaciones del CIAD denominados EM-01 Ocros, EM-02 Chacas, EM-03 Chiquián, EM-04 Casma, EM-05 Shilla, EM-06 Corongo, EM-07 San Nicolás, EM-08 Cañasbamba, EM-09 Purhuay, EM10 Shancayán, EM-11 Huarmey, EM-12 Pomabamba, EM-13 Pasto Ruri, EM-14 Nepeña, EM-15 Tingua, EM-16 Quillcayhuanca.
- **Unidad de muestreo:** Los datos de temperatura y precipitación de las 16 estaciones del CIAD.
- **Tamaño de muestra:** Los datos del CIAD son aproximadamente desde enero del 2012 a diciembre del 2017.

- **Representatividad de la muestra:** las estaciones se encuentran distribuidas en todo el ámbito de la región Ancash, permitiendo realizar un análisis espacial de las variables meteorológicas.

3.7.2. Técnicas de análisis de validación de datos

Se aplicó el modelo de regresión lineal simple, TPs, NSE, BIAS, RMSE y RRMSE para explicar el comportamiento de las variables dependientes e independientes.

La temperatura y la precipitación corregidas fueron sometidas a las ecuaciones de variación de datos, donde primeramente fue aplicado el TPs que permitió observar la diferencia entre cada uno de los datos mensuales.

El RMSE fue aplicado a todos los datos generados por el modelo corregido obteniéndose la dispersión de los datos sobre la recta de regresión lineal, seguidamente se utilizó el RRMSE que permitió observar si los datos modelados son correctos mediante el ajuste desarrollado por Condom et al., (2011).

El r^2 se aplicó a todos los datos obteniendo el grado de correlación que tiene entre cada dato modelado, de esta manera logrando determinar el ajuste entre ellos.

La aplicación de BIAS también se desarrolló mediante la aplicación a cada uno de los datos, para poder observar cuál es el ajuste entre los datos y si son sobre estimados o subestimados.

Por último, la aplicación NSE nos permitió observar el ruido generado por los datos y si tienen un buen comportamiento gráfico entre los datos *in situ* y satelitales.

CAPITULO IV

RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el estudio con base en la comparación de la precipitación y la temperatura de los datos satelitales y los datos *in situ* (anexo 4).

4.1. Datos Satelitales

4.1.1. Datos del satélite MERRA-2

Los datos de temperatura generados por el satélite MERRA-2 durante los 6 años de datos estudiados, muestran que las estaciones que se encuentran a menos de 1000 m.s.n.m. presentan una temperatura entre los 21°C a 26°C. Los datos de Huarney tienen una mediana 21.9°C y una media de 22.2°C encontrándose la mayoría de los datos entre 21°C y los 23.4°C con un máximo de 25.3°C y un mínimo de 20.2°C. Nepeña tiene una mediana de 24.7°C y una media de 24.6°C donde la mayoría de los datos se encuentran entre 25.1°C a 23.9°C, con un máximo de 26.4°C y mínimo de 23°C. Casma tiene una mediana de 25.11°C y una media de 25°C, encontrándose la mayoría de los datos entre los 24.5°C y los 25°C conteniendo datos máximos de 26.7 y mínimo 23.1°C.

Por otro lado, se tienen las estaciones que superan los 2000 m.s.n.m. que presentan una temperatura entre los 7.4°C y 14.8°C. Los datos de Cañasbamba tienen una mediana de 9.9°C y una media de 9.8°C, encontrándose la mayoría de los datos entre 9.5°C y 10°C teniendo datos anómalos en sus extremos como

máximo 11.1°C y mínimo de 8.7°C. San Nicolás tiene una mediana de 14.4°C y una media 14.3°C, encontrándose la mayoría de los datos entre 13.9°C a 14.8°C con datos máximos de 15.8°C y mínimo anómalo de 12.4°C. Tingua tienen una mediana de 12.1°C y una media de 12.1 donde la mayoría de los datos se encuentran entre el 11.7°C al 12.3°C, encontrando como un máximo de 13.1°C y mínimo de 10.9°C. Pomabamba tiene una mediana de 9.2°C y una media de 9.3°C, encontrándose la mayoría de los datos de 8.8°C a 9.7°C con una máxima de 10.8 y una anómala mínima de 7.4 °C.

También las estaciones de Shancayán tienen una mediana de 9.2°C y una media de 9.2°C donde los datos se encuentran entre 8.9°C y 10.3°C. Corongo tiene de mediana 8.7°C y una media de 8.7°C, encontrándose la mayoría de los datos entre 8.1°C y 9.2°C con un máximo de 10.1 y mínimo de 6.65. Shilla tiene una mediana de 12.1°C y una media de 12.1°C la mayoría de los datos están comprendidos entre los 11.7°C y los 12°C, teniendo un máximo de 13.1°C y mínimo de 10.9°C. Chiquián tiene una mediana de 6.8 y una media de 6.7, teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre 6.4°C y 7.1°C. Purhuay tiene una mediana de 4.5°C y una media de 4.5°C, donde la mayoría de los datos se encuentran comprendidos entre los 4.2°C y 4.9°C con un dato máximo de 5.9°C y un dato mínimo anómalo 2.9°C. Ocros tiene una mediana de 8°C y una media de 7.9°C teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 7.4°C y 8.4°C con dato máximo de 9.3°C y mínimo de 6.6°C.

Por último las estaciones que se encuentran encima de los 3500 m.snm presentan una temperatura entre 2.15°C y 5.8°C. Quillcayhuanca tiene una mediana de 2.9°C y una media de 2.9°C, encontrándose la mayoría de los datos entre 2.5°C y 3.2°C donde como máximo presenta 4.1°C y mínimo 1.5°C. Pastoruri tiene una mediana de 5.5°C y una media de 5.4°C donde la mayoría de los datos están entre 5.1°C y 5.8°C con un máximo de 6.5°C y un mínimo anómalo de 3.9°C. Chacas tiene una mediana de 3.7°C y una media de 3.8°C teniendo la mayoría de

sus datos entre los 3.4°C y 4.2°C con máximo de 5.2°C y un mínimo anómalo de 2.15°C

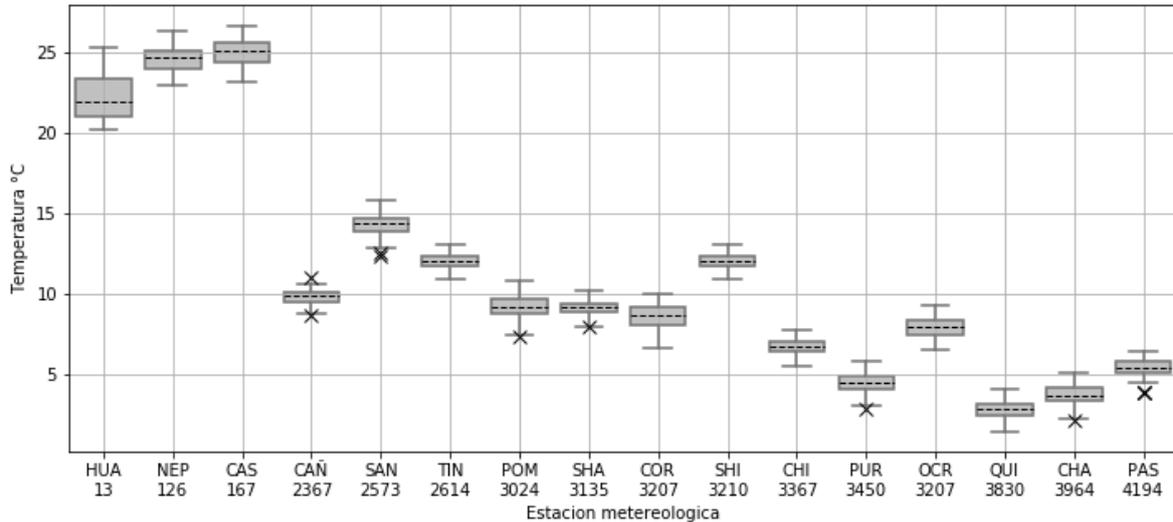


Figura 8: Comportamiento de la temperatura anual del satélite MERRA-2

Los datos satelitales tienen una correlación mensual anual con la altura mostrado en la Figura 9, donde se tiene un mínimo de 0.9088 en octubre mientras que llegan a un máximo de 0.9405 en marzo. Esta correlación alta se debe principalmente al algoritmo usado por NASA, pese a ello, cuando los datos se observan a mayor detalle hay una baja relación con la altura y la presión como se muestra en la Figura 8.

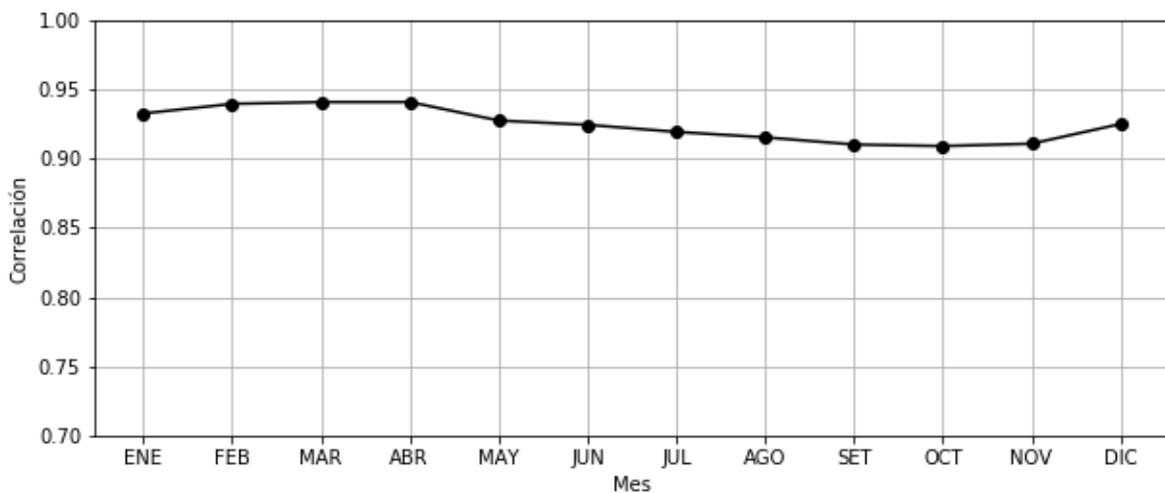


Figura 9: Comportamiento de la correlación de la altura de los datos MERRA-2

4.1.2. Datos del satélite TRMM

a. Región 1 Santa

En el Figura 10 se observa que los datos estimados por el satélite en la región 1 en el mes de enero tiene una mediana de 105 mm y que la mayoría de los datos de precipitación oscilan entre los 52 a 125 mm y también encontramos algunos valores bajos de 35 mm y valores que llegan hasta los 190 mm, febrero tiene una media de 110 mm teniendo la mayoría de los datos entre 90 a 150 mm presentando picos de 170 mm y valores bajos de 58 mm, en marzo se tiene una media de 175 mm y la mayoría de los datos se encuentran entre los 202 y 150 mm teniendo valores máximos de 285 mm y mínimos de 95mm.

Los datos donde la precipitación disminuye corresponde el mes de abril donde se tiene la mediana con un valor de 60 mm, mientras que la mayoría de los valores oscilan entre los 40 a 90 mm, llegando a máximos de 165 mm y mínimos de 45 mm conteniendo valores atípicos de 185 mm. En mayo se tiene el valor de la mediana de 60 mm donde la mayoría de los valores oscilan entre los 38 y 86 mm teniendo máximos de 158 mm y mínimos de 3 mm.

Entre los meses más secos están junio, julio y agosto. Junio tiene como mediana 5 mm donde se encuentran la mayoría de los valores entre 2 y 63 mm con máximos de 70 mm y mínimos de 1 mm teniendo valores atípicos que se registran en los 175 y 180 mm. Julio tiene como mediana los 5 mm y se aprecia que la mayoría de los datos oscilan entre los 3 y llegando, a máximos de 132 mm y mínimos de 0 mm. Agosto cuenta con una media de 4 mm donde la mayoría de los datos se concentra entre los 2 y 60 mm llegando a tener valores máximos de 105 mm y mínimos de 0 mm.

Las precipitaciones comienzan a aumentar en setiembre que tiene una mediana de 18 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 10 y 75 mm, mientras se tiene máximos de 147 y mínimos de 2mm. Octubre presenta una mediana de 50 mm oscilando la mayoría de los datos entre los 25 a 76 mm presentando datos máximos de 150 mm y mínimos de 15 mm. Noviembre

presenta una mediana de 50 mm oscilando la mayoría de los datos entre 40 y 80 mm teniendo máximos de 149 mm y mínimos de 15 mm. Diciembre tiene una mediana de 120 mm concentrando la mayoría de los datos entre los 75 y 140 mm presentando picos de 225 mm y mínimos de 47 mm.

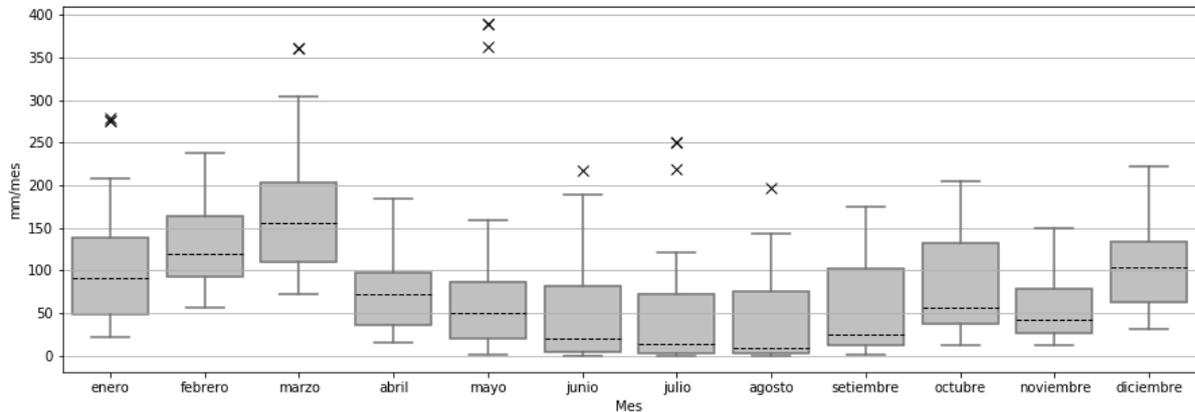


Figura 10: Región 1 Santa TRMM datos mensuales 2012 -2017

b. Región 2 Marañón

En el Figura 11 se observa que los datos estimados del satélite en la región 2 en enero presenta una mediana de 105 mm, mientras que la mayoría de los datos oscilan entre los 76 y 143 mm llegando a un máximo de 178 mm y un mínimo de 75 mm. En febrero se tiene una mediana de 110 mm con la mayoría de los datos comprendidos entre los 101 a los 134 mm con un mínimo de 76 mm y un máximo de 150 mm, llegando a tener un valor atípico de 178 mm. Marzo tiene una mediana de 143 mm con valores que se acumulan entre los 134 y 213 mm con valor mínimo de 105 mm y máximo de 260mm.

La precipitación disminuye en el mes de abril, la cual tiene una mediana de 51 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 48 y 53 mm con un máximo de 73 mm y un mínimo de 75 mm, y mayo tiene una mediana de 50 mm y la mayoría de los datos oscilan entre los 40 a 70 mm presentando un mínimo de 3 mm y un máximo de 100 mm.

Los meses más secos inician en junio que tiene como mediana 13 mm donde los datos oscilan entre los 11 y 18 mm con valores máximos de 25 mm

y mínimos de 3 mm conteniendo el valor atípico de 97 mm. Julio tiene una mediana de 5 mm donde la mayoría de sus valores oscilan entre 3 y 18 mm con valores mínimos de 0 mm y máximos de 40 mm; por último agosto tiene una mediana de 14 mm donde la mayoría de los valores oscilan entre 5 y 16 mm con un mínimo de 1 mm llegando a un máximo de 26 mm.

Las precipitaciones comienzan en setiembre, mes que presenta una mediana de 27 mm con la mayoría de los datos que oscilan entre los 20 y 29 mm; octubre tiene una mediana de 50 mm y la mayoría de los datos oscilan entre los 38 mm y los 87 mm presentando valores mínimos de 25 mm y máximos de 100 mm. Noviembre tiene una mediana de 65 mm con valores agrupados que oscilan entre los 54 y 80 mm con un mínimo de 51 mm y un máximo de 120 mm con un dato atípico de 165mm. Diciembre tiene una mediana de 135 mm donde la mayoría de los valores oscilan entre los 101 y 175 mm presentando valores mínimos de 80 mm y máximos de 237 mm.

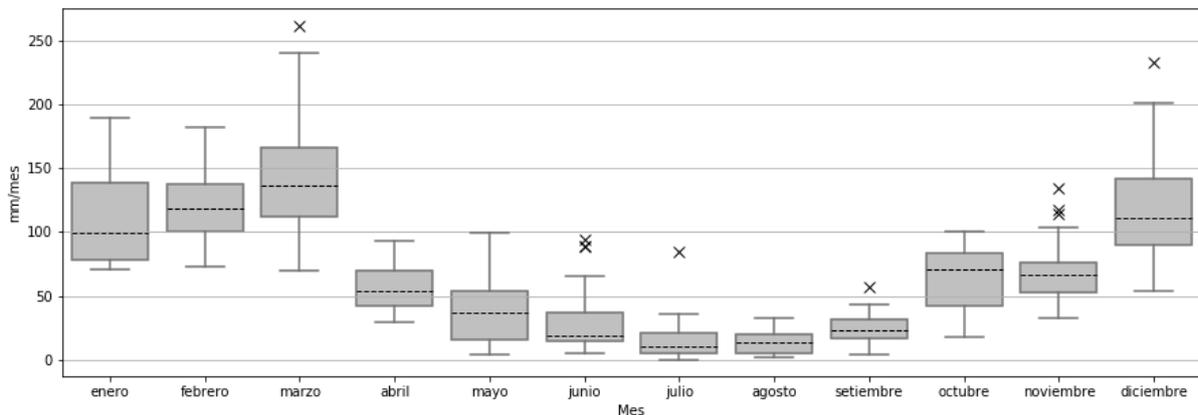


Figura 11: Región 2 Maraón TRMM datos mensuales 2012 -2017

c. Región 3 Pativilca

En el Figura 12 se observa que los datos estimados por el satélite en la región 3 en enero tiene una mediana de 50 mm presentando la mayoría de los datos oscilantes entre los 40 y 65 mm con valores mínimos de 25 mm y máximos de 134 mm; febrero tiene una mediana de 70 mm con la mayoría de los valores que oscilan entre 24 a 112 mm teniendo como máximos los 144 mm y mínimo de 64 mm. Marzo tiene una mediana de 142 mm donde la

mayoría de los datos se encuentran entre 91 a 156 mm con datos máximos de 232 mm y mínimos de 75 mm.

La precipitación disminuye desde abril que tiene una mediana de 30 mm, donde la mayoría de los datos fluctúan entre 20 a 23 mm con un máximo de 28 mm y un mínimo de 21 mm, mayo tiene una mediana de 30 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 18 a 40 mm donde se tiene un máximo de 50 mm y un mínimo 1 mm.

Los meses más secos son junio, el cual tiene una mediana de 1 mm donde la mayoría de los datos oscilan de 0 a 2 mm encontrándose un dato anómalo de 7 mm, julio que tiene una mediana de 1 mm y la mayoría de los datos fluctúan entre 0 y 1 donde se tiene un máximo de 6 mm con un dato anómalo de 14 mm. Agosto tiene una mediana de 1 mm con la mayoría de datos que oscilan hasta 4 mm y un máximo de 6 mm con un dato anómalo de 12 mm; y finalmente el mes de setiembre tiene una mediana de 2 mm con la mayoría de los datos oscilantes entre 0 y 4 mm con un dato anómalo de 12 mm.

Las precipitaciones comienzan en octubre y tiene una media de 18 mm donde los datos en su mayoría oscilan entre 10 y 15 mm con un mínimo de 0 mm y un máximo de 28 mm con un dato anómalo de 53 mm, noviembre tiene una mediana de 15 mm donde la mayoría de los datos fluctúan entre los 10 y 25 mm con un máximo de 37, mm también hay un dato anómalo de 61mm. Diciembre tiene una mediana de 63 mm con la mayoría de datos que oscilan entre 40 a 75 mm con datos máximos de 118 mm y un mínimo de 37 mm.

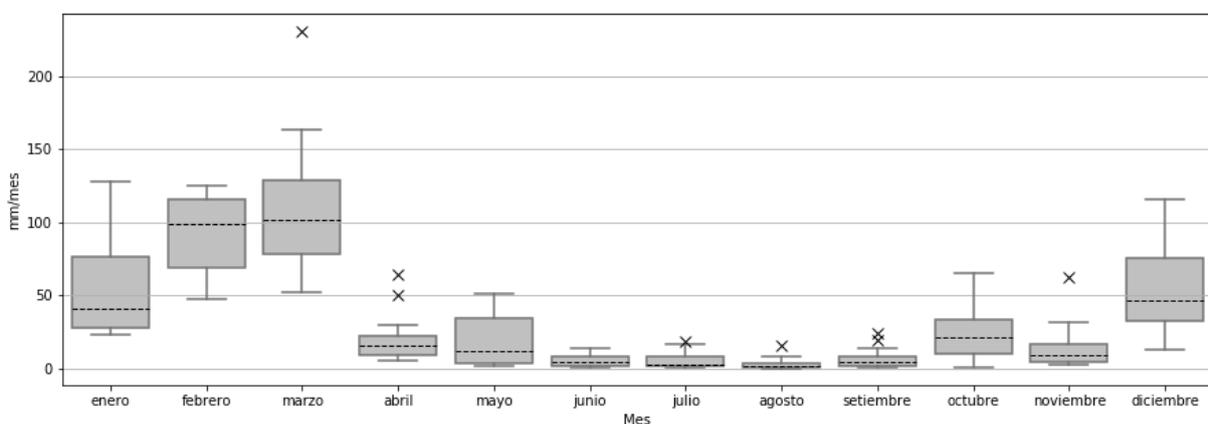


Figura 12: Región 3 Pativilca TRMM datos mensuales 2012 -2017

d. Región 4 Pacífico

En el Figura 13 se observa que los datos estimados por el satélite en la región 4 en enero tiene una mediana de 28 mm, donde la mayoría de los datos oscilan entre los 24 a 37 mm con máximos de 48 mm y un mínimo de 17 mm, febrero tiene una mediana de 38 mm mientras los datos fluctúan entre los 34 a 41 mm con un máximo de 53 mm y un mínimo de 30 mm, marzo tiene una mediana de 65 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 58 a 84 mm con un máximo de 124 mm y un mínimo 43 mm.

Las precipitaciones disminuyen en los meses de abril que tiene una mediana de 17 mm donde la mayoría de datos se encuentran entre 12 a 22 mm con el máximo de 25 mm y mínimo de 7 mm; mayo tiene una mediana de 10 mm con la mayoría de datos oscilando entre 7 a 18 mm con un dato máximo de 35 mm y un mínimo de 0 mm; junio tiene una media de 0 mm con un valor anómalo de 5 mm; julio tiene una mediana de 3 mm con valores máximos de 6 mm y conteniendo un dato anómalo de 10 mm. Agosto tiene una mediana de 0 mm, setiembre tiene una mediana de 0 mm oscilando hasta 6 mm con un máximo 8 mm; octubre tiene una mediana de 12 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre 3 a 17 mm con un máximo de 20 mm y un mínimo de 0 mm; noviembre tiene una mediana de 7 mm que tiene la mayoría de los datos comprendidos entre 3 a 18 mm con un mínimo de 0 mm y un máximo de 19 mm; y diciembre tiene la mediana a 29 mm donde la mayoría de datos están comprendidos entre los 19 a 50 mm con datos máximos de 70 mm y un mínimo de 0 mm.

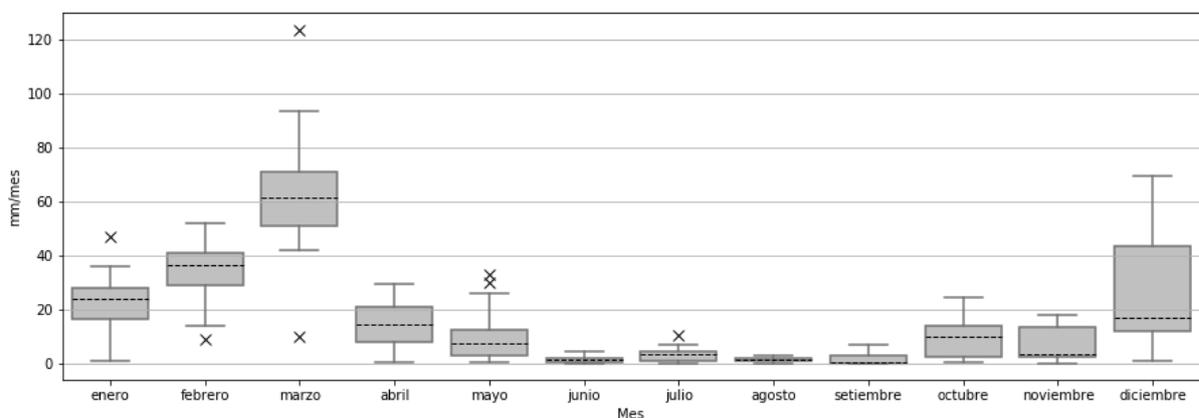


Figura 13: Región 4 Pativilca TRMM datos mensuales 2012 -2017

4.1.3. Datos del satélite GPM

a. Región 1 Santa

En el Figura 14 se observa que los datos estimados por GPM en la región 1 en el mes de enero tiene una mediana de 60 mm y que la mayoría de los datos de precipitación oscilan entre los 51 a 125 mm y también encontramos algunos valores bajos de 50 mm y valores que llegan hasta los 150 mm, en febrero los datos tienen una mediana de 100 mm teniendo la mayoría de los datos entre 80 a 110 mm con picos de 120 mm y valores bajos de 52 mm; en marzo se tiene una mediana de 118 mm y la mayoría de los datos oscilan entre los 114 y 218 mm teniendo valores máximos de 230 mm y mínimos de 112 mm.

Las precipitaciones disminuyen en el mes de abril cuya mediana tiene un valor de 50 mm mientras que la mayoría de los valores oscilan entre los 42 a 58 mm llegando a máximos de 75 mm y mínimos de 30 mm conteniendo valores atípicos de 90 mm, mayo tiene el valor de la mediana de 50 mm donde la mayoría de los valores oscilan entre los 32 y 58 mm teniendo máximos de 98 mm y mínimos de 2 mm.

Los meses más secos inician en junio que tiene como mediana 5 mm, julio tiene como mediana los 1 mm llegando a máximos de 8 mm y mínimos de 0 mm con un valor atípico de 10 mm, y agosto se cuenta con una media de 1 mm llegando a tener valores máximos de 10 mm y mínimos de 0 mm.

La precipitación empieza en el mes de setiembre que tiene una mediana de 11mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 10 y 34 mm con máximos de 40 mm y mínimos de 1 mm, octubre presenta una mediana de 43 mm oscilando la mayoría de los datos entre los 36 a 59 mm presentando datos máximos de 75 mm y mínimos de 25 mm con cuatro valores atípicos que están desde 78 mm hasta 124 mm, noviembre presenta una mediana de 47mm oscilando la mayoría de los datos entre 36 y 49 mm teniendo máximos de 68 mm y mínimos de 17 mm, y diciembre tiene una mediana de 74mm oscilando

la mayoría de los datos entre los 65 y 130 mm teniendo picos de 214 mm y mínimos de 49 mm.

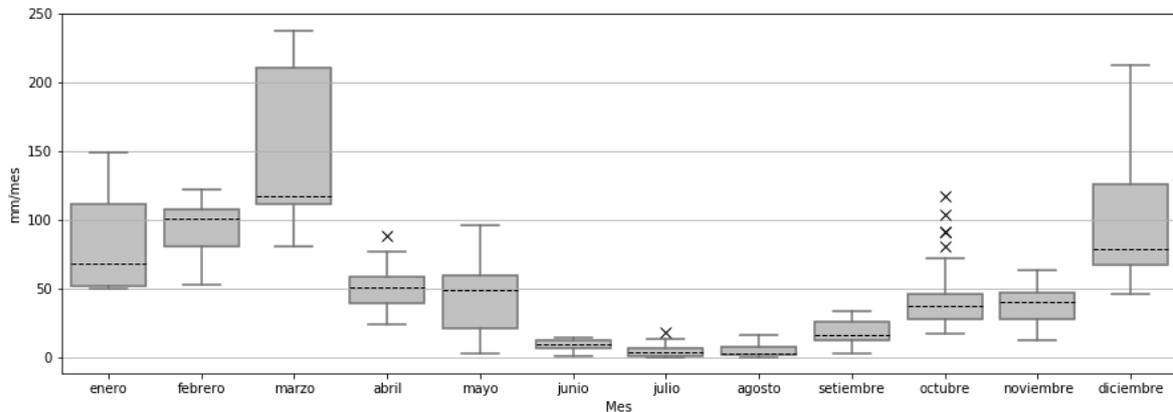


Figura 14: Región 1 Pacifico GPM datos mensuales 2014 -2017.

b. Región 2 Marañón

En el Figura 15 se observa que los datos estimados por GPM de la región 2 en enero presenta una mediana de 86 mm mientras que la mayoría de datos oscilan entre los 72 y 151 mm llegando a un máximo de 150 mm y un mínimo de 52 mm; febrero tiene una mediana de 125 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 110 mm a los 134 mm con un mínimo de 81 mm y un máximo de 151 mm; marzo tiene una mediana de 127 mm con valores que se acumulan entre los 118 y 210 mm con valor un mínimo de 117 mm y máximo de 247 mm.

La precipitación disminuye en el mes de abril que tiene una mediana de 55 mm con un rango de la mayoría de datos que oscilan entre los 50 y 76 mm con un máximo 100 mm y un mínimo de 34 mm; mayo tiene una mediana de 80 mm y la mayoría de los datos oscilan entre los 50 a 83 mm presentando un mínimo de 4 mm y un máximo de 121 mm; y junio tiene como mediana a 21mm donde los datos oscilan entre los 15 y 29 mm con valores máximos de 50 mm y mínimos de 12 mm conteniendo el valor atípico de 58 mm.

Los meses con poca precipitación inician en julio que tiene una mediana de 10 mm donde la mayoría de sus valores oscilan entre 8 y 28 mm con valores

mínimos de 0 mm y máximos de 50 mm. Agosto tiene una mediana de 11 mm donde la mayoría de los valores oscilan entre 3 y 29 mm con un mínimo de 1mm llegando a un máximo de 38 mm.

En el mes de setiembre inicia la precipitación que tiene una mediana de 72 mm con la mayoría de datos que oscilan entre los 27 a 48 mm; octubre tiene una mediana de 51 mm y la mayoría de los datos oscilan entre los 47 mm y los 75 mm teniendo mínimos de 25 mm y máximos de 124 mm; noviembre tiene una mediana de 58 mm con valores que oscilan entre los 55 a 74 mm con un mínimo de 28 mm y un máximo de 75 mm con datos atípicos de 108 mm y 125 mm; y diciembre tiene una mediana de 123 mm donde la mayoría de los valores oscilan entre los 98 y 169 mm presentando valores mínimos de 75 mm y máximos de 187 mm.

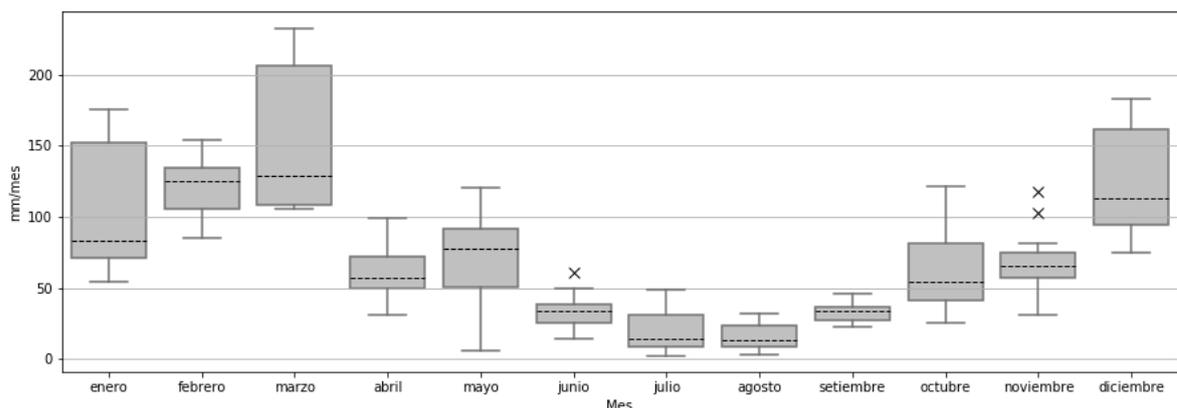


Figura 15: Región 2 Marañón GPM datos mensuales 2014 -2017

c. Región 3 Pativilca

En el Figura 16 se observa que los datos estimados del satélite en la región 3 en enero tienen una mediana de 46 mm con la mayoría de datos que oscilan entre los 38 y 75 mm con valores mínimos de 25 mm y máximos de 128 mm; febrero tiene una mediana de 76 mm con la mayoría de los valores que fluctúan entre 70 a 80 mm teniendo como mínimos 60 mm y máximos de 115 mm; y marzo tiene una mediana de 90 mm donde la mayoría de los datos se encuentran entre 84 a 167 mm con datos máximos de 210 mm y mínimos de 75 mm.

El descenso de la precipitación inicia en abril que tiene una mediana de 34 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 31 a 41 mm con un máximo de 30 mm y un mínimo de 14mm; mayo tiene una mediana de 35 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre los 24 a 37 mm donde tiene un máximo de 50 mm y un mínimo de 1 mm.

Los meses más secos inician en junio que tiene una mediana de 5 mm donde la mayoría de los datos fluctúan de 0 a 10 mm con un máximo de 15 mm y un mínimo de 0 mm; julio tiene una mediana de 1 mm y la mayoría de datos fluctúan entre 0 y 1 mm con un dato anómalo de 16 mm; agosto tiene una mediana de 1 mm con la mayoría de datos que oscila hasta 8 mm y un dato anómalo de 17 mm.

En el mes de setiembre inicia las precipitaciones y tiene una mediana de 12 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre 4 y 19 mm; octubre tiene una media de 22 mm donde los datos en su mayoría ondean entre 20 y 48 mm con un mínimo de 8 mm y un máximo de 41 mm con un dato anómalo de 57 mm; noviembre tiene una mediana de 32 mm donde la mayoría de los datos fluctúan entre los 10 y 38 mm con un máximo de 63 mm; y diciembre tiene una mediana de 63 mm con la mayoría de datos oscilantes entre 40 a 75 mm con datos máximos de 104 mm y un mínimo de 42 mm.

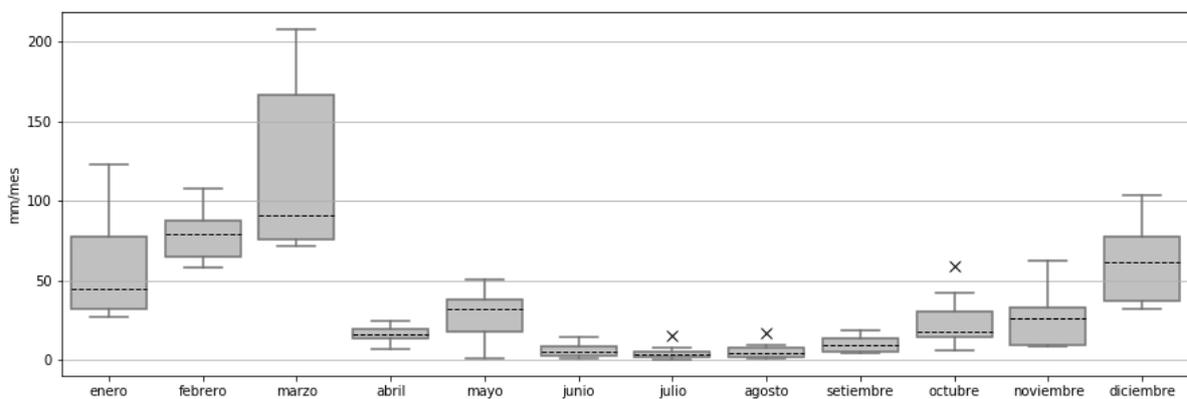


Figura 16: Región 3 Pativilca GPM datos mensuales 2014 -2017.

d. Región 4 Pacifico

En el Figura 17 se observa que los datos estimados del satélite en la región 4 en enero tiene una mediana de 27 mm donde la mayoría de los datos

oscilan entre los 22 a 36 mm con máximos de 45 mm y un mínimo de 18 mm; febrero tiene una mediana de 41 mm mientras los datos oscilan entre los 37 a 43 mm con un máximo de 47 mm y un mínimo de 34 mm; y marzo tiene una mediana de 58 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre 57 a 105 mm con un máximo de 139 mm.

El descenso de la precipitación inicia en el mes de abril cuya mediana tiene un valor de 18 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre 17 a 21 mm con un máximo de 25 mm y mínimo de 10 mm y mayo tiene una mediana de 10 mm con la mayoría de datos oscilando entre 0 a 23 mm con datos máximos de 29 mm y un mínimo de 0 mm.

En el mes de junio inician los meses más secos y terminan en agosto donde se tiene una media de 0 mm con valores máximos de 7 mm.

La precipitación inicia en el mes de septiembre con una mediana de 2 mm oscilando hasta 9 mm; octubre tiene una mediana de 12 mm donde la mayoría de los datos oscilan entre 9 a 14 mm con un máximo de 18 mm y un mínimo de 4 mm; noviembre tiene una mediana de 17 mm y se tiene la mayoría de los datos comprendidos entre 10 a 18 mm con un mínimo de 8 mm y un máximo de 20 mm; y diciembre tiene la mediana de 24 mm donde la mayoría de los datos están comprendidos entre los 21 a 48 mm con datos máximos de 77 mm y un mínimo de 14 mm.

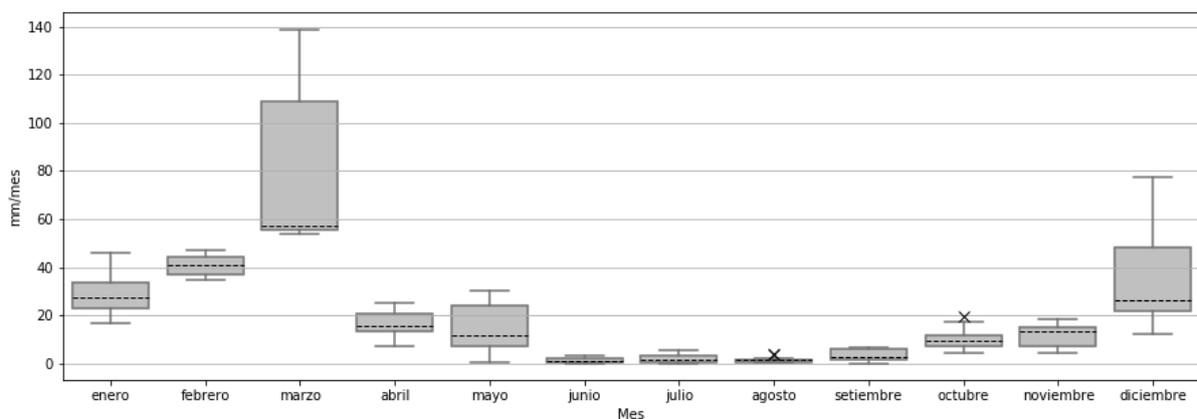


Figura 17: Región 4 Pacífico GPM datos mensuales 2014 -2017

4.2. Datos de precipitación y temperatura *in situ* del CIAD

4.2.1. Precipitación

a. Región 1 Santa

El comportamiento de la precipitación en la región 1 mostrado en la Figura 20 para el mes de enero tiene una mediana de 86.6 mm y una media 88.7 mm estando concentrados la mayoría de los datos entre los 50.5 mm y los 130 mm encontrando datos máximos de 178.3 mm y mínimos 0 mm. Febrero tiene una mediana de 114.8 mm y una media de 116.3 mm encontrándose la mayoría de los datos entre los 84.9 mm y los 157.1 mm encontrando datos mínimos de 0 mm y máximos de 209.6 mm. Marzo tiene una mediana de 151.5 mm y una media de 153.73 mm encontrándose la mayoría de los datos comprendidos entre 119.3 mm y los 189 mm con un dato mínimo anómalo de 0 mm y un dato máximo anómalo de 302 mm.

El descenso de la precipitación en el mes de abril tiene una mediana de 84.8 mm y una media de 74.2 mm quedando la mayoría de los datos comprendidos entre los 44.1 mm y los 103.1 mm con un dato máximo anómalo de 218 mm y un mínimo anómalo de 0 mm. Mayo tiene una mediana 26.5 mm y una media de 32.4 mm encontrándose la mayoría de los datos comprendidos entre los 15.3 mm y los 50.8 mm con un dato mínimo de 0 mm y máximo de 86.9 mm.

Los meses sin precipitación inician en junio el que tiene una mediana de 1.3 mm y una media de 2.9 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 0.3 mm y 4.5 mm con un dato mínimo de 0 mm y máximo anómalo de 17.8 mm. Julio tiene una media de 1.8 mm y una mediana 0 mm estando la mayoría de los datos comprendidos entre los 0 mm y los 3.3 mm con datos o valores máximos anómalos de 10.9 mm. Agosto tiene una mediana de 1.1 mm y una media de 3.2 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 0 mm y los 4.8 mm teniendo datos anómalos máximos de 20.1 mm.

El reinicio de las precipitaciones ocurre en el mes de setiembre que tiene una mediana de 18.4 mm y una media de 20.6 mm teniendo la mayoría de los

datos comprendidos entre 10.5 y 28.6 mm; tiene un mínimo de 0 mm y un máximo anómalo de 60.7 mm. Octubre tiene una mediana de 50.0 mm y una media de 50.5 mm donde la mayoría de los datos están comprendidos entre los 25 mm y los 72.2 mm teniendo datos mínimos de 0 mm y un máximo anómalo de 143.8 mm. Noviembre tiene una mediana de 36.2 mm y una media de 41.5 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 10.8 y 61.8 mm; tiene valores mínimos de 0 mm y un máximo anómalo de 138 mm. Diciembre tiene una mediana de 96.6 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre 66 y 123vmm con datos máximos de 208.5vmm y mínimo de 0vmm.

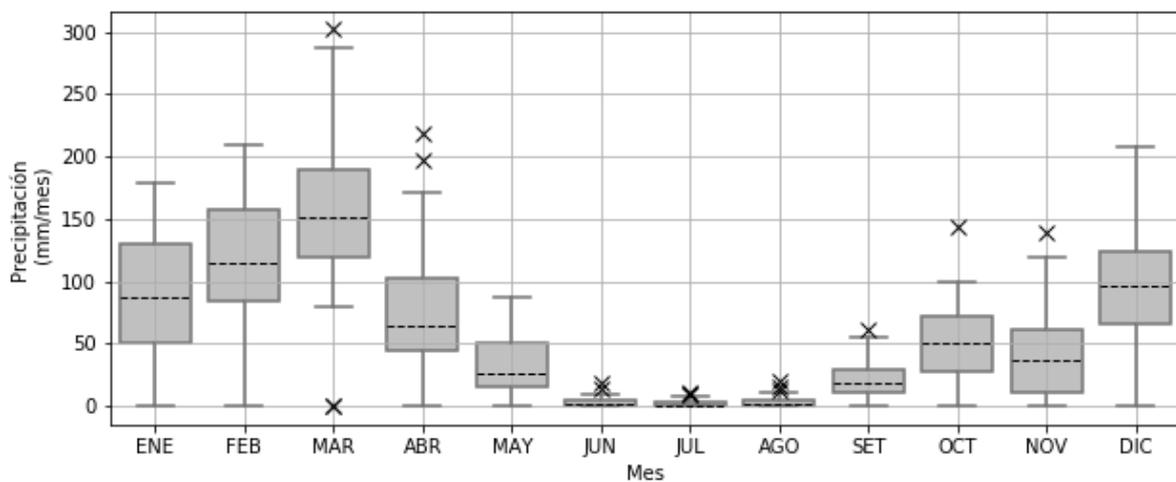


Figura 18: Región 1 Pacífico *in situ* datos mensuales 2012 -2017

b. Región 2 Maraón

El comportamiento de la precipitación en la región 2 se representa en la Figura 21 que muestra para el mes de enero una mediana de 114.8 mm y una media 129.4 mm encontrándose la mayoría de los datos entre los 91.4 y 152 mm con valores mínimos de 41.4 mm y un máximo anómalo de 283.5 mm. Febrero tiene una mediana de 147.4 mm y una media de 144.8 mm teniendo la mayoría de los datos en el rango de 97 y 171.8 mm con un valor mínimo 0.3 mm y un valor máximo anómalo de 364.2 mm. Marzo tiene una mediana 149 mm y una media 149.5 mm teniendo la mayoría de los datos agrupados entre los 99.9 y 195.5 mm con valores mínimos de 0 mm y un valor máximo anómalo de 356.1 mm.

El descenso de la precipitación ocurre en el mes de abril que tiene una mediana 100.2 mm y una media de 92.2 mm donde la mayoría de los datos están comprendidos entre los 62.2 y 118.7 mm con valores mínimos de 0 mm y máximos anómalos de 206.8 mm. Mayo tiene una mediana 39.4 mm y una media 54 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre 8.5 y 69.1 mm teniendo valores mínimos de 0 mm y un máximo anómalo 241.3 mm.

Los meses más secos ocurren en los meses de junio, julio y agosto. Junio tiene una mediana de 8 mm y una media de 9.9 mm teniendo la mayoría de los datos entre 3.5 y 15 mm con datos mínimos de 0 mm y máximos de 47 mm. Julio tiene una mediana de 4.8 mm y una media de 7.6 mm teniendo la mayoría de datos comprendidos entre 1.2 y 9.8 mm registrando valores mínimos de 0 mm y máximos anómalos de 47.8 mm. Agosto tiene una mediana de 9.9 mm y una media de 17.1 mm donde la mayoría de los datos están comprendidos entre 4.4 y 20.1 mm con valores mínimos de 0.8 mm y máximos anómalos de 67.6 mm.

En el mes de setiembre reinician las lluvias es por ello que se tiene una mediana de 26.7 mm y una media de 36.2 mm encontrándose la mayoría de los datos comprendidos entre los 18.2 y 52.9 mm registrando valores mínimos de 1.3 mm y máximos de 102.6 mm. Octubre tiene una mediana de 82 mm y una media de 81.6 mm encontrándose la mayoría de los datos comprendidos entre los 51.2 y 124.3 mm con datos mínimos de 1.2 mm y máximos anómalos de 321.2 mm; noviembre tiene una mediana de 78.9 mm y una media de 97.4mm encontrándose la mayoría de los datos entre los 46 y 125 mm con datos mínimos de 1.3 mm y máximos de 241.2 mm. Diciembre tiene una mediana de 148.6 mm y una media de 157.4 mm encontrándose la mayoría de los datos entre los 126.4 y 175.4 mm con datos anómalos máximos de 369.8 mm y mínimos de 20.9mm.

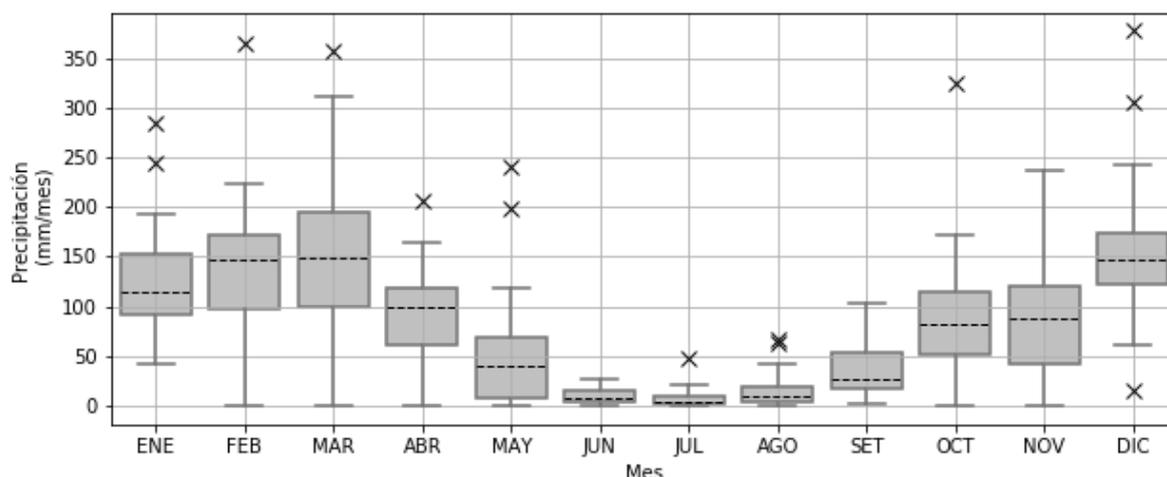


Figura 19: Región 2 Marañón *in situ* datos mensuales 2012 -2017

c. Región 3 Pativilca

El comportamiento de la precipitación de la región 3 mostrada en la Figura 22 para el mes de enero tiene una mediana de 58.7 mm y una media de 70 mm teniendo los datos comprendidos entre los 24 y 109 mm registrando datos máximos de 150.4 mm y mínimos de 17.8 mm; febrero tiene una mediana de 129.3 mm y una media 114.7 mm encontrándose la mayoría de los datos comprendidos entre los 59.6 y 160.0 mm; marzo tiene una mediana de 143.1 mm y una media de 144.8 mm donde la mayoría de los valores están entre los 93.1 y 190.6 mm con un dato máximo de 272.8 mm y un mínimo de 43.9 mm.

El mes de abril presenta un descenso en la precipitación que tiene una mediana de 38.6 mm y una media de 43.2 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 27 y 57.7 mm con un dato máximo de 113.8 mm y un mínimo de 5.6 mm; mayo tiene una mediana de 5.5 mm y una media de 11.1 mm donde la mayoría de los datos se encuentran entre los 1.8 y 15.8 mm teniendo un valor mínimo de 0 mm y máximo anómalo de 113.8 mm.

El mes de junio se inician los meses secos y tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.4 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 0 y 0.5 mm con un valor máximo anómalo de 1.8 mm, julio tiene una mediana de 0 mm y una media 0.2 mm teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 0 y 0.1 mm con un valor máximo anómalo de 1 mm; y

agosto tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.7 mm con valores comprendidos entre los 0 y 0.8 mm con valor máximo anómalo de 3.6 mm.

En el mes de setiembre reinician las precipitaciones teniendo una mediana 4.1 mm con una media de 7 mm donde la mayoría de los datos están entre los 0.5 y 13.2 mm con un máximo de 21.3 mm; octubre tiene una mediana 22.1 mm y una media de 23.1 mm con la mayoría de los datos comprendidos entre los 13.4 y 29.8 mm con un mínimo de 0 mm y un máximo de 49.3 mm; noviembre tiene una mediana 12.4 mm y una media de 19.9 mm teniendo la mayoría de los valores comprendidos entre los 8.1 y 33 mm teniendo un mínimo de 0 mm y un máximo de 62.5 mm; y diciembre tiene una mediana de 84.3mm y una media 59.4 mm y la mayoría de los datos se encuentran entre los 27.1 y 84.3 mm con un mínimo de 11.7 mm y un máximo de 122.2 mm.

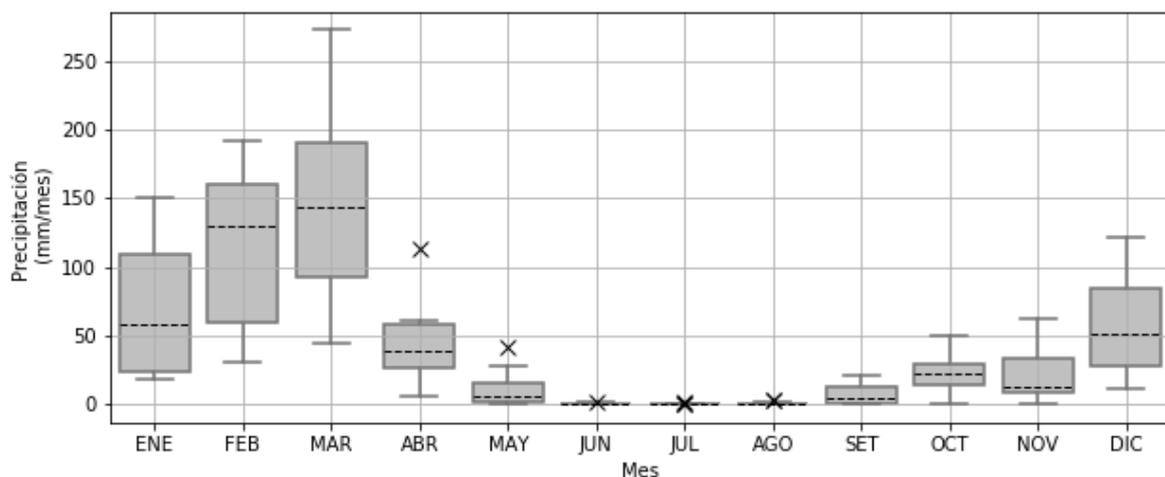


Figura 20 Región 3 Pativilca *in situ* datos mensuales 2012 -2017.

d. Región 4 Pacífico

El comportamiento de la precipitación de la región 4 mostrada en la Figura 23 para el mes de enero tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.2 mm donde la mayoría de los datos se encuentra entre los 0 y 0.3 mm con un dato máximo anómalo de 1.5 mm; febrero tiene una mediana de 1.3 mm y una media de 1.5 mm teniendo la mayoría de los datos entre los 0.4 y 2.2 mm con un dato máximo anómalo de 5.1 mm; marzo tiene una mediana de 2 mm

y una media 6.5 mm donde la mayoría de los datos se encuentran entre 0.8 y 3.9 mm con un dato máximo anómalo de 51.3 mm.

En el mes de abril inicia un período seco sin precipitaciones, cuya mediana es de 0 mm y una media de 0.3 mm donde la mayoría de los datos están entre los 0 y 0.3mm con un valor máximo de 2.5 mm; mayo tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.4 mm con un dato máximo anómalo de 2.5 mm; junio tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.1 mm con un máximo anómalo de 1 mm; julio tiene una mediana de 0 mm con una media de 0.2 mm y un dato máximo anómalo de 1 mm; agosto tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.1 mm con un máximo anómalo de 0.5 mm; y setiembre tiene una mediana de 0 mm y una media de 0.2 mm con datos comprendidos entre 0 y 0.3 mm con un máximo anómalo de 1.5 mm.

En el mes de octubre se inicia un período de precipitación muy corto con una mediana de 0 mm y una mediana 0.4 mm con valores comprendidos entre 0 y 0.5 mm y datos anómalos máximos de 3.3 mm; noviembre tiene la precipitación esporádica más alta de este período con una mediana de 0 mm y una media de 3.4 mm con datos comprendidos entre 0 y 2.3 mm con datos anómalos máximo de 18 mm; y diciembre tiene una mediana de 0.5 mm y una media de 1.1 mm con la mayoría de los datos comprendidos entre 0 y 1.3 mm teniendo una máximo anómalo 5.3 mm.

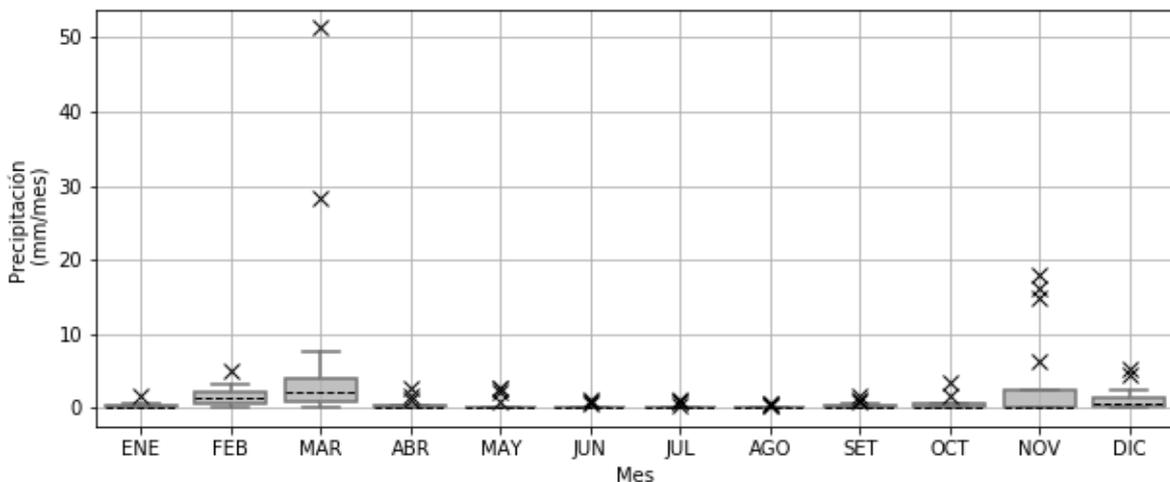


Figura 21: Región 4 Pacífico *in situ* datos mensuales 2012 -2017

4.2.2. Temperatura

Del comportamiento de la temperatura en la región Ancash mostrado en el Figura 18 se describe que para la zona de costa Huarney tiene una mediana de 20.9°C y una media de 21.4°C estando la mayoría de los datos entre los 19.1°C y los 23°C presentando un máximo de 26.8°C y un mínimo de 16.9°C. Nepeña tiene una mediana de 21.6°C y una media de 22.3°C estando la mayoría de los datos entre los 19.8°C y los 22.1°C presentando un máximo de 25.7°C y un mínimo de 17.5°C. Casma tiene una mediana de 22.5°C y una media de 22.7°C teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre los 20.5°C y los 25.1°C con un máximo de 27°C y un mínimo de 18°C.

Las zonas con estaciones que superan los 2000 m.s.n.m. y que tienen un comportamiento similar son Cañasbamba que tiene una mediana de 19.1°C y una media de 18.9°C, con datos comprendidos entre los 18.5°C y los 19.4°C, con un mínimo de 17.8°C y un máximo de 20.3°C; San Nicolás con una mediana de 18.3°C y una media de 18.4°C teniendo la mayoría de sus datos entre los 17.7°C y los 19.2°C con un máximo de 20.8°C y un mínimo 16.2°C y Tingua con una mediana y media de 18°C con la mayoría de datos comprendidos entre 17.7°C y 18.4°C presentando valores mínimos de 16.9°C y máximos anómalos de 19.8°C.

Otro grupo que presenta un comportamiento similar es Pomabamba que tiene una mediana de 15.5°C y una media de 15.4°C, con la mayoría de datos comprendidos entre 14.8°C y 16°C, con un máximo de 17.8°C y un mínimo de 13.3°C; Shancayán que tiene una mediana de 15.5°C y una media de 15.5°C, encontrándose la mayoría de los datos entre 14.9°C y 15.5°C con un mínimo de 14.9°C y un máximo anómalo de 17°C.

Por otro lado, Corongo presenta una particularidad teniendo una mediana y una media de 11.9° C y la mayoría de los datos comprendidos entre 11.4°C y 12.3°C con un mínimo de 10.4°C y un máximo anómalo de 13°C.

Mientras que los datos que presentan un descenso constante son Shilla que tiene una mediana de 14.7°C y una media de 14.9°C con la mayoría de sus datos comprendidos entre 14.5°C y 15.3°C, con un máximo de 16.2°C y un mínimo de

16.8°C; Chiquián que tiene una mediana y una media de 13.4°C donde la mayoría de los datos oscilan entre 12.9°C y 14.1°C con un máximo de 14.9°C y un mínimo de datos anómalos de 11.4°C. Purhuay que tiene una mediana y una media de 12.5°C encontrándose la mayoría de los datos comprendidos entre 12°C y 12.9°C teniendo como valor mínimo 10.8°C y máximo anómalo de 14.3°C; Ocros que tiene una mediana de 12.4°C y una media de 12.5 con datos comprendidos entre 11.8°C hasta 13°C con un valor máximo de 14.3°C y un valor mínimo de 10.9°C.

Quillcayhuanca tiene una mediana de 9.2°C y una media de 9.1°C encontrándose la mayoría de los datos entre 8.5°C y 9.6°C conteniendo un máximo de 11°C y un mínimo anómalo de 7°C. Chacas tiene una mediana de 9.6°C encontrándose la mayoría de los datos entre 8.9°C y 10.1°C con un valor máximo de 12°C y un mínimo anómalo de 7.1°C. Pastoruri tiene una mediana de 6.9°C y una media de 6.7°C teniendo la mayoría de los datos comprendidos entre 6.2°C y 7.3°C con un valor mínimo de 5.1°C y máximo anómalo de 9°C.

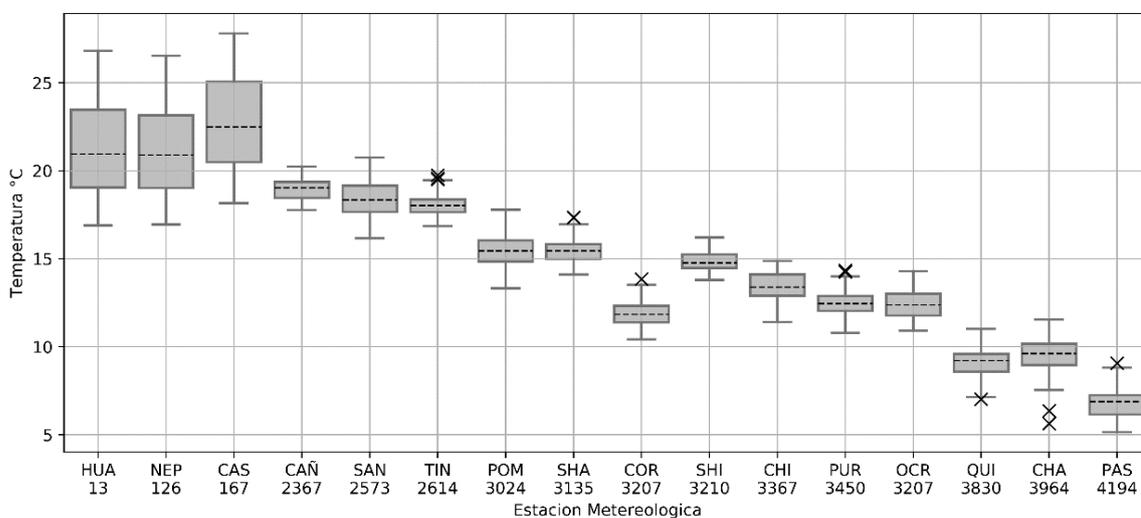


Figura 22: Comportamiento de la temperatura anual de los datos *in situ* 2012-2017

Los datos *in situ* tienen una correlación con la altura como se muestra en la Figura 19, donde las mayores correlaciones son superior a 0.8 comprendido entre los meses de diciembre a mayo, coincidiendo con los meses de mayor precipitación, mientras que en los meses comprendidos entre junio a noviembre se observa un descenso constante y significativo de la correlación llegando a 0.6 y en

el mes de agosto estos datos son congruentes con el estudio desarrollado en SENAMHI (Endara Huanca et al., 2016).

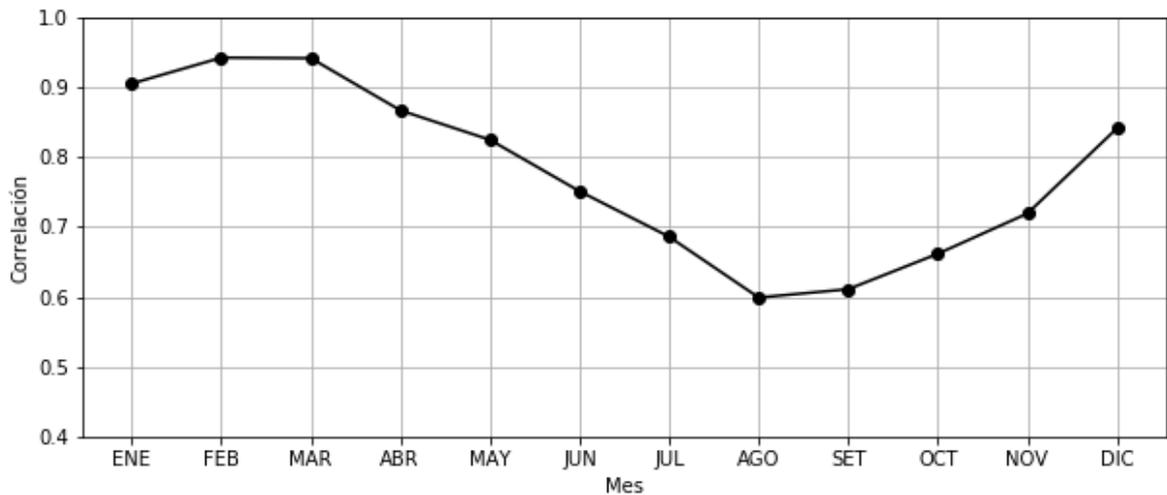


Figura 23: Correlación de la altura con los datos *in situ*

4.3. Grado de correlación de datos *in situ* y los datos satelitales

4.3.1. Precipitación

El grado de correlación de la precipitación se desarrolló por cada zona regionalizada, de esta manera se logró estudiar el comportamiento de los datos en las diferentes regiones.

a. Región 1 Santa

La región 1 Santa se muestra en la Figura 24 los datos de precipitación del CIAD desde enero del 2012 hasta diciembre del 2017, los datos de TRMM desde enero del 2012 hasta diciembre del 2017 y los datos de GPM se tiene sólo desde abril del 2014 hasta diciembre del 2017.

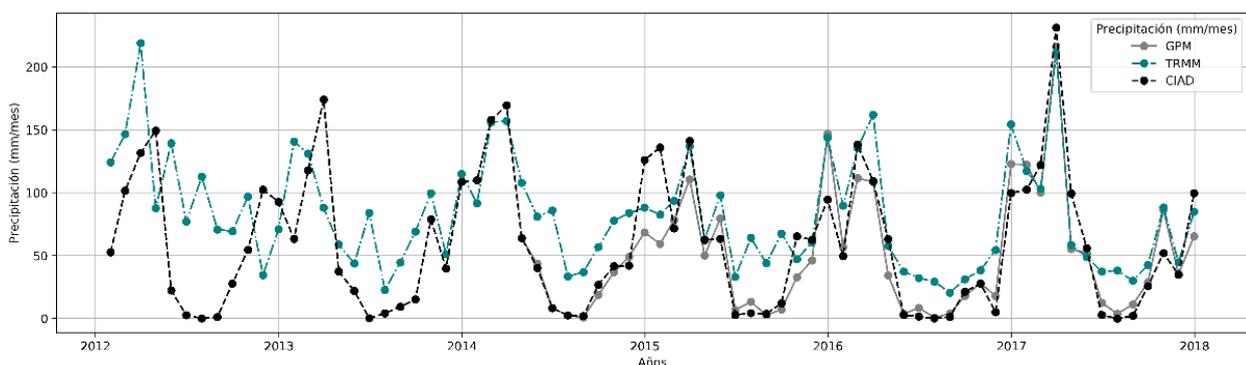


Figura 24: Precipitación de la región 1 Santa a paso mensual 2012-2017

La relación temporal observada es evidenciada en la Figura 25, donde se observa que la correlación entre TRMM y las estaciones apenas llegan hasta los 0.49 mientras que los datos de GPM llegan hasta los 0.81.

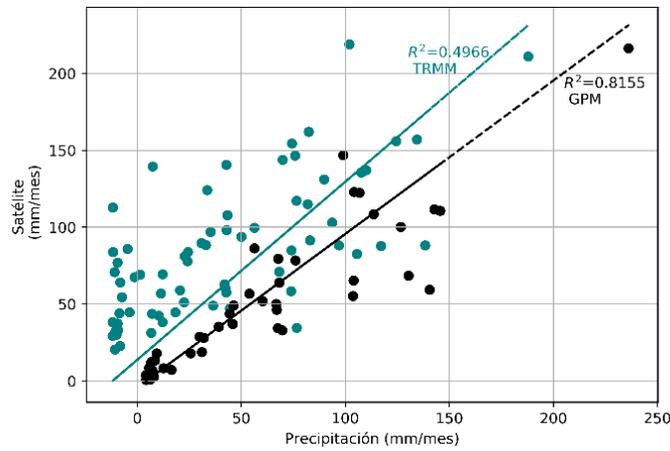


Figura 25: Regresión de la región 1 Santa de TRMM y GPM vs los datos *in situ*

b. Región 2 Marañón

La precipitación en la región 2 Marañón se muestra en la Figura 26, donde se observan los datos del CIAD desde marzo del 2012 hasta diciembre del 2017, los datos de TRMM se tienen desde marzo del 2012 hasta diciembre del 2017 y los datos de GPM se tiene desde abril del 2014 hasta diciembre del 2017.

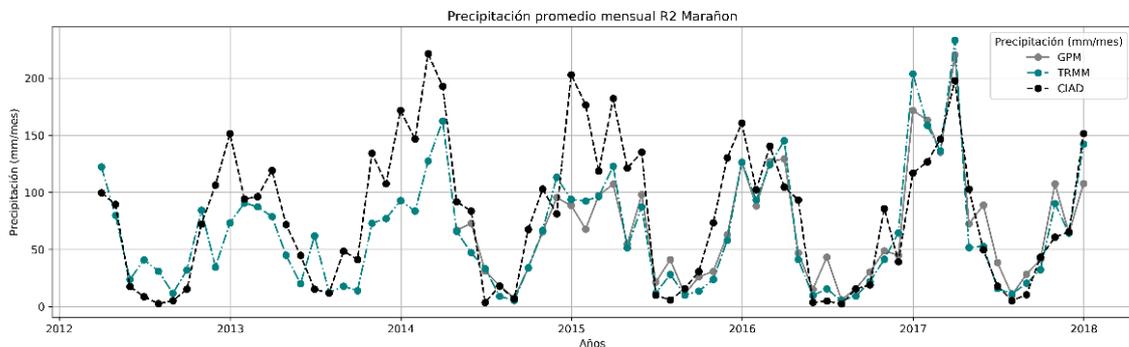


Figura 26: Precipitación de la región 2 Marañón a paso mensual 2012-2017

La Figura 27 muestra los datos de regresión donde se aprecia que los datos de TRMM tienen una relación de 0.61 y los datos de GPM tienen una relación de 0.6 con los datos *in situ*.

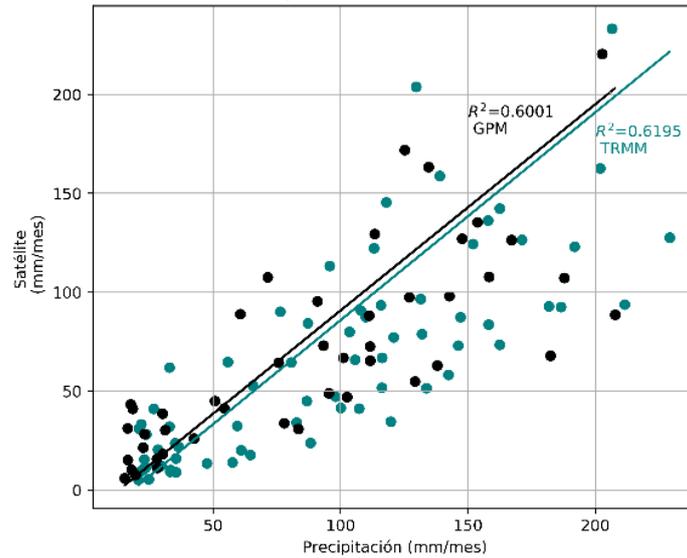


Figura 27: Regresión de la región 2 Marañón de TRMM y GPM vs los datos *in situ*.

c. Región 3 Pativilca

En la región 3 Pativilca se muestran los datos del comportamiento de la precipitación descrita en la Figura 28, donde los datos del CIAD se muestran desde marzo del 2012 a diciembre del 2017, los datos de TRMM se tiene desde marzo del 2012 hasta diciembre del 2017 mientras que los datos de GPM sólo se tienen desde abril del 2014 hasta diciembre del 2017.

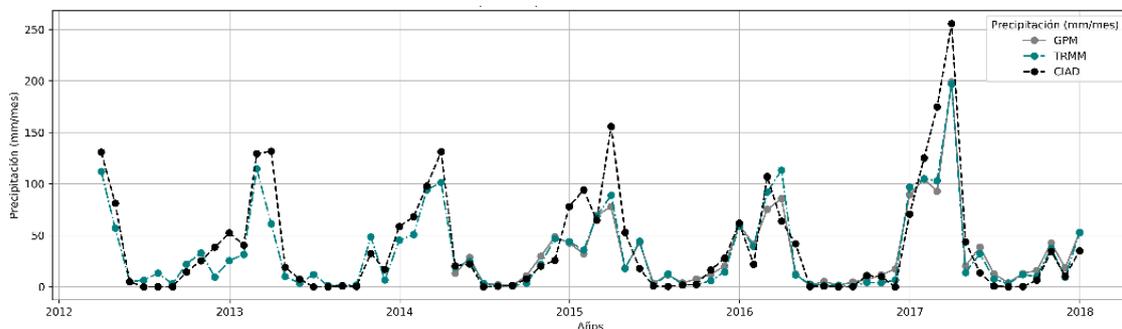


Figura 28: Precipitación de la región 3 Pativilca a paso mensual 2012-2017

Se ha encontrado que el grado de correlación mostrados en la Figura 29 para los datos del CIAD y TRMM es de 0.83 mientras que para los datos del GPM es de 0.81.

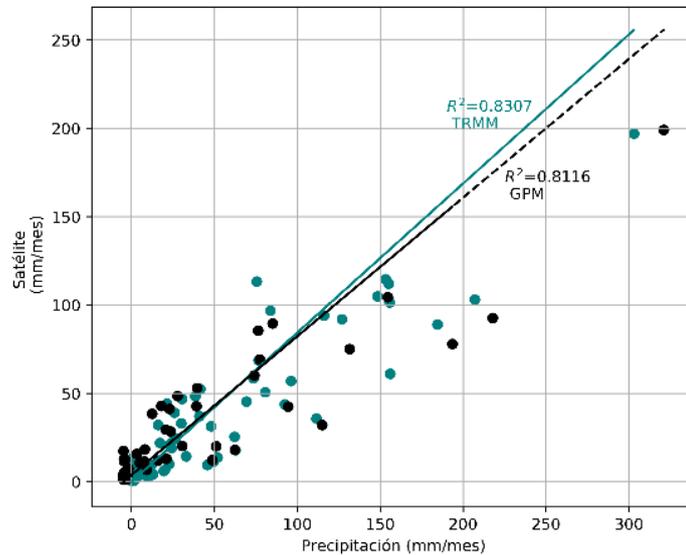


Figura 29: Regresión de la región 3 Pativilca de TRMM y GPM vs los datos *in situ*.

d. Región 4 Pacífico

Los datos a lo largo del tiempo en la región 4 Pacífico se muestran en la Figura 30, donde los datos del CIAD son desde enero del 2012 hasta diciembre del 2017, los datos de TRMM se tienen desde enero del 2012 hasta diciembre del 2017 y los datos de GPM sólo se tienen desde abril del 2014 hasta diciembre del 2017.

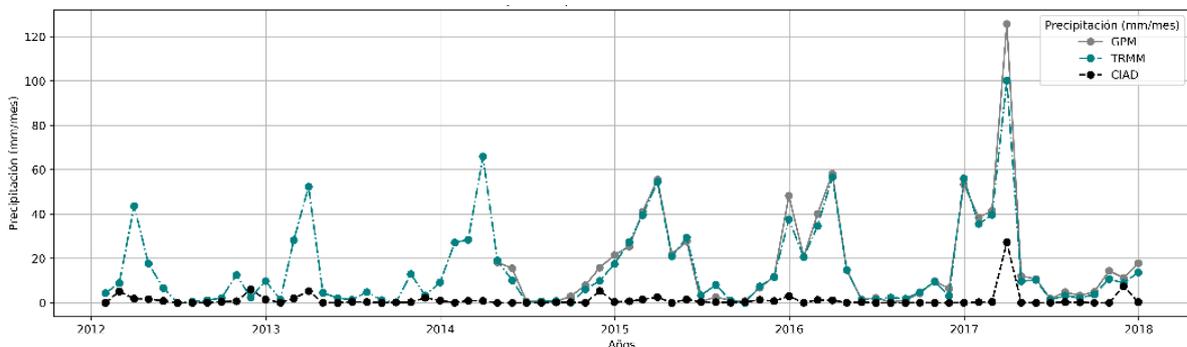


Figura 30: Precipitación de la región 4 Pacífico a paso mensual 2012-2017

El comportamiento de la correlación de los datos de TRMM y GPM en esta región mostrados en la Figura 31 presenta valores de 0.31 y 0.52 respectivamente.

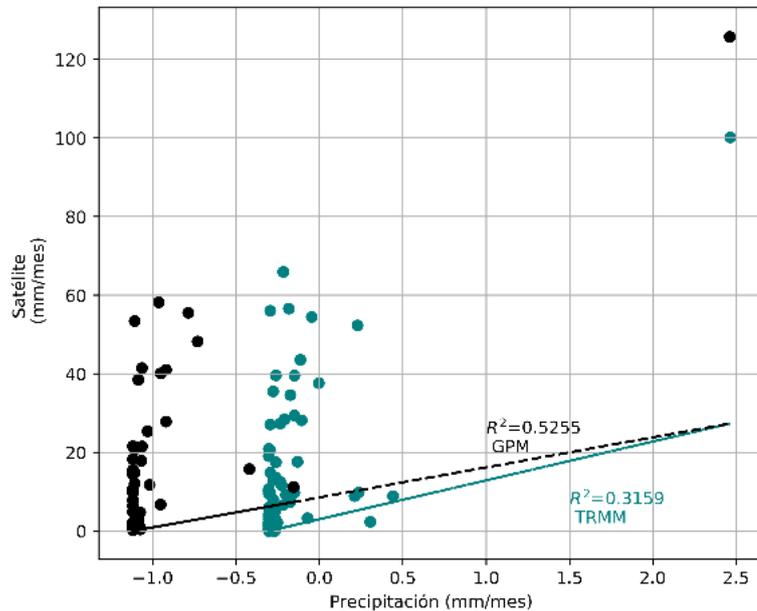


Figura 31: Regresión de la región 4 Pacífico de TRMM y GPM vs los datos *in situ*.

4.3.2. Temperatura

El caso de la temperatura, se desarrolló en base a la altura debido al grado de correlación que existe entre este tipo de datos, los cuales se muestran en la Figura 32 donde los datos CIAD tienen un comportamiento no constante a lo largo del año, observándose períodos de mayor correlación en los meses de enero a marzo, coincidiendo con el período de verano mientras que se observa un descenso de la correlación del mes de abril al mes de agosto que concuerda con los meses de mayor precipitación en la costa y corresponde a las época de friaje en la zona sierra, por otro lado se tiene los datos MERRA-2 que tienen un alto grado de correlación durante todo el año.

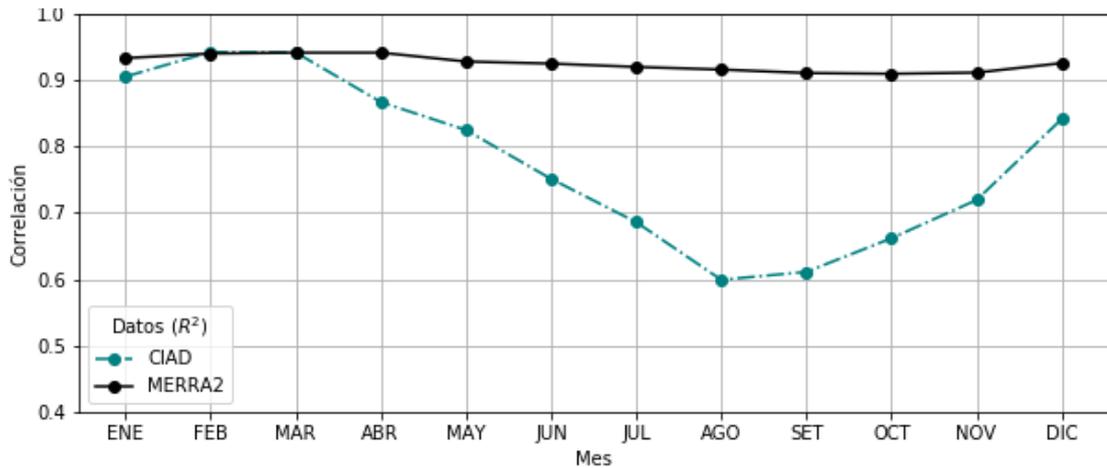


Figura 32: Grado de correlación de MERRA-2 y CIAD vs la altura

La diferencia entre los datos generados por MERRA-2 y el CIAD no presentan variación en el comportamiento, pero si en los datos, este comportamiento puede ser observado en la Figura 33 donde:

A: tiene una diferencia promedio de 6.5°C y los datos satelitales se encuentran subestimados con respecto a los datos in situ, teniendo un comportamiento gráfico similar.

B: se observa una diferencia promedio de 6.8°C y los datos satelitales son subestimados con respecto a los datos in situ, teniendo un comportamiento gráfico similar.

C: se observa que los datos tienen una diferencia promedio de 0.8°C y los datos satelitales sobre estiman a los datos in situ, el comportamiento gráfico es distinto porque el satélite no es capaz de identificar las temperaturas más bajas.

D: se observa que los datos tienen una diferencia promedio de 2.4°C y los datos satelitales subestiman los datos in situ, pero se encuentran períodos donde ambos datos tienen el mismo comportamiento, sin embargo, no identifica los picos máximos identificados por los datos in situ.

E: se observa que tiene una diferencia promedio de 6.7°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

F: se observa que tiene una diferencia promedio de 1.4°C y los datos satelitales sobreestiman a los datos *in situ*, los datos satelitales no son capaces de identificar las temperaturas mínimas.

G: se observa que tiene una diferencia promedio de 7°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

H: se observa que tiene una diferencia promedio de 8.1°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

I: se observa que tienen una diferencia promedio de 9.9°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

J: se observa que tienen una diferencia promedio de 4.2 y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

K: se observa que los datos tienen una diferencia promedio de 4°C y los datos satelitales son subestimados con respecto a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

L: se observa que los datos tienen una diferencia promedio de 3.1°C y los datos satelitales son subestimados con respecto a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

M: la diferencia de los datos promedio es 0.6°C y los datos son subestimados con respecto a los datos *in situ*, los datos satelitales no identifican los valores mínimos que muestra la estación meteorológica.

N: la diferencia de los datos promedio es de 6.7°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico poco similar.

O: la diferencia promedio es de 6.3°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar pero no identifica el cambio brusco de la temperatura adecuadamente.

P: la diferencia de los datos es de 4.3°C y los datos satelitales subestiman a los datos *in situ*, tiene un comportamiento gráfico similar.

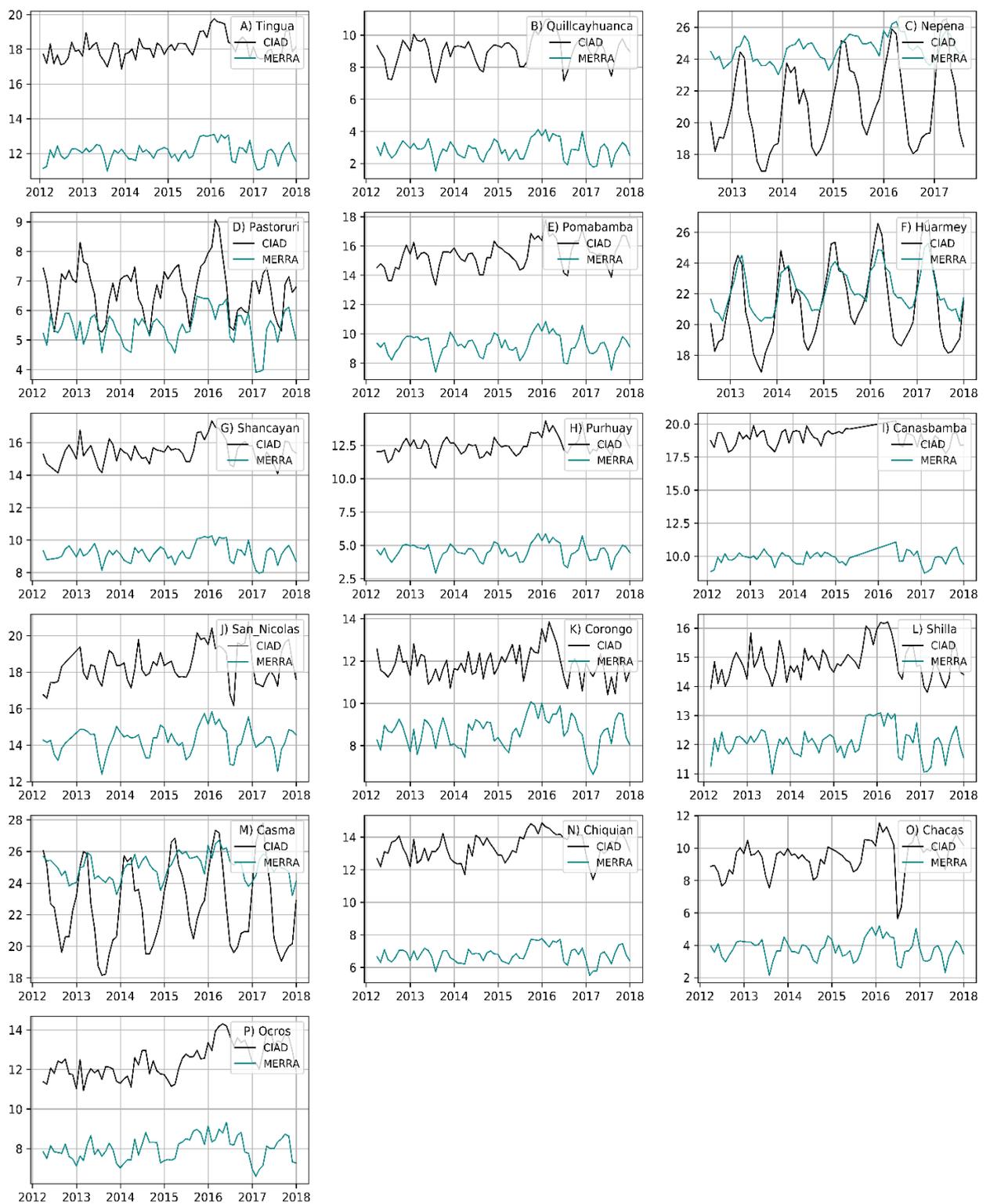


Figura 33: Comportamiento de la temperatura satelital e *in situ* 2012-2017

4.4. Modelamiento y corrección de datos satelitales con los datos *in situ*

4.4.1. Precipitación

Los datos de precipitación fueron corregidos bajo la *ecuación* (6) la cual considera y evalúa la variación de los datos de precipitación del TRMM y GPM con respecto a los datos del CIAD mostrados en la Figura 34, obteniéndose que la mayoría de los datos son cercanos a 0, esto también nos muestra que los datos satelitales e *in situ* son cercanos entre ellos y guardan una relación mensual.

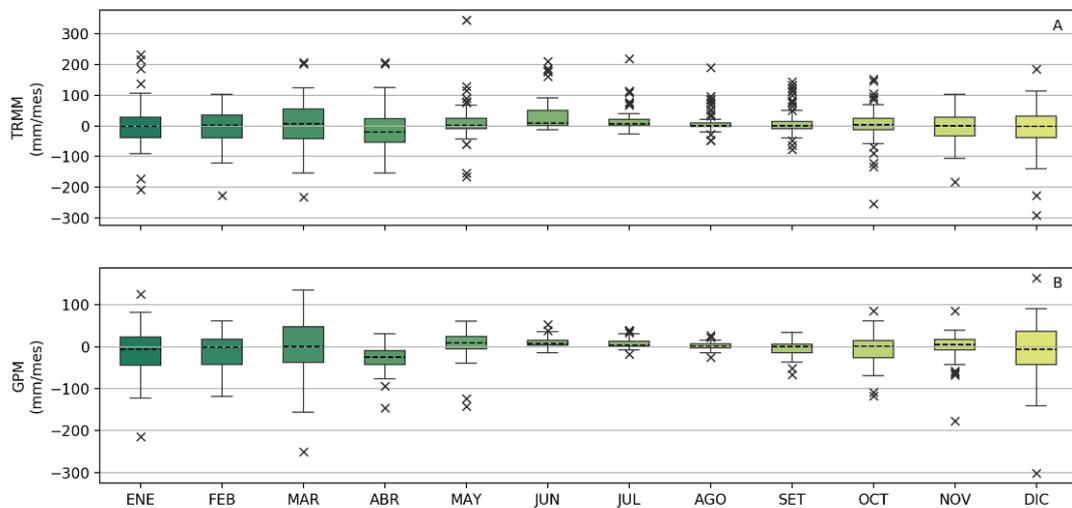


Figura 34: Variabilidad de datos de precipitación TRMM y GPM con los datos *in situ*

La corrección de los datos se desarrolló con la aplicación de las *ecuación* (1) la cual permitió el cálculo del factor F1 para cada región y mes, obteniéndose los resultados para GPM en la Tabla 8 y para TRMM en la Tabla 7, estos valores fueron usados en la corrección de la precipitación aplicando la *ecuación* (2).

Tabla 7: Factor de corrección F1 para TRMM

F1	R1	R2	R3	R4
0	0.959	0.952	0.932	11.575
1	0.972	0.976	0.921	5.125
2	0.980	0.988	0.947	1.808
3	0.920	0.888	0.763	69.296
4	1.025	1.002	1.256	7.345
5	1.449	1.530	4.358	10.136
6	1.796	1.369	8.705	8.125
7	1.442	1.092	3.068	9.270
8	0.948	0.948	1.174	9.177
9	0.996	0.945	1.053	8.604
10	1.007	0.962	1.167	1.703
11	0.992	0.952	1.000	5.324

Nota: R1 = Región 1 Santa, R2 =Región 2 Marañón, R3=Región 3 Pativilca, R4 = Región 4 Pacífico.

Tabla 8: Factor de corrección F1 para GPM

F1	R1	R2	R3	R4
0	1.05	0.96	0.93	15.71
1	1.02	0.95	0.96	3.26
2	1.00	0.99	0.95	2.06
3	0.98	0.89	0.82	9.75
4	1.21	0.92	1.20	6.60
5	2.88	1.43	5.69	6.94
6	3.72	1.32	11.87	10.07
7	2.55	0.90	2.66	10.49
8	1.30	0.90	1.01	5.10
9	1.08	0.93	1.02	7.63
10	1.03	0.94	0.92	1.32
11	1.01	0.95	0.98	4.44

Nota: R1 = Región 1 Santa, R2 =Región 2 Marañón, R3=Región 3 Pativilca, R4 = Región 4 Pacífico.

4.4.2. Temperatura

Los datos de temperatura fueron evaluados bajo la *ecuación* (6) donde se observa la variación de los datos MERRA-2 con respecto a los datos de CIAD en la Figura 35, las cuales tienen una variación constante y este comportamiento se repite a lo largo del año con una diferencia de subestimación de -4.8 en promedio.

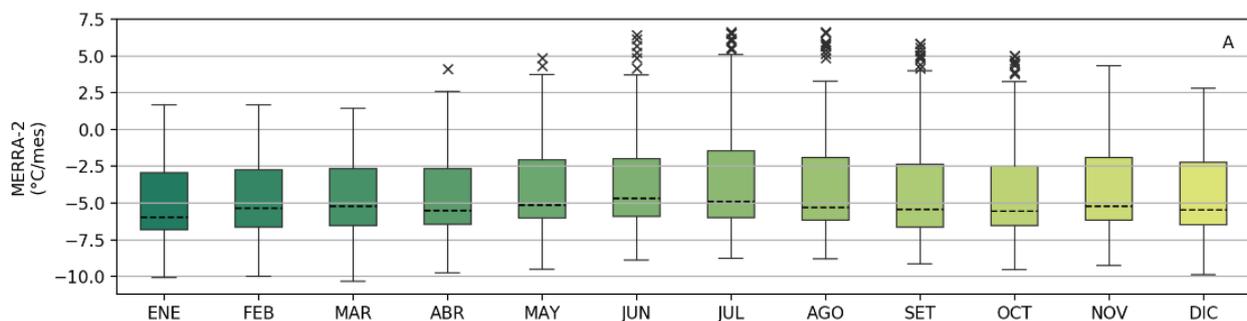


Figura 35: Variabilidad de datos de temperatura MERRA-2 con los datos *in situ*

Los datos de MERRA-2 fueron reajustados mediante las ecuaciones de regresión descrita en la *ecuación* (9), considerando las *ecuaciones* (4 y 5) donde se usa el DEM para espacializar los datos.

Se obtuvo el resultado que se muestra en la Figura 36, donde los datos satelitales corregidos se ajustan a los datos *in situ*, mostrando un comportamiento similar entre ambos a lo largo de los meses.

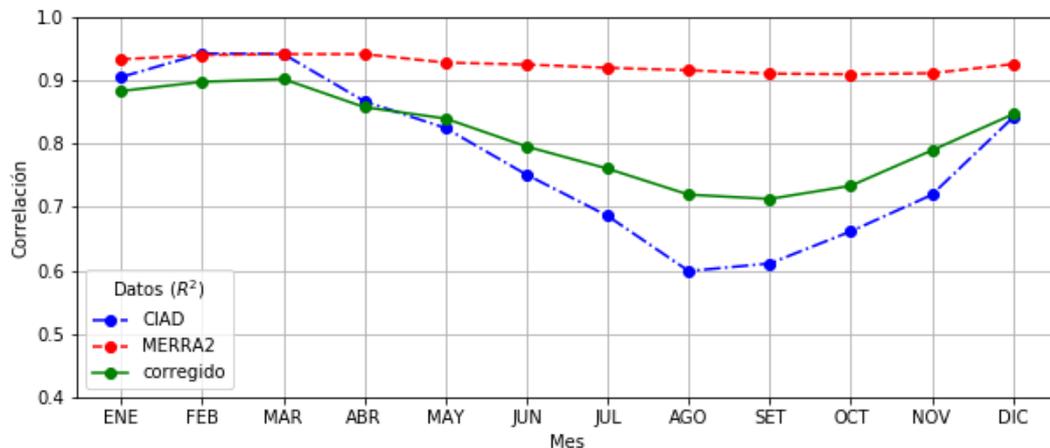


Figura 36: Correlación de los datos de temperatura del CIAD, MERRA-2 y corregido por meses

4.5. Calidad de datos generados

4.5.1. Precipitación.

Para los datos de precipitación del satélite TRMM se determinó el grado de correlación, consistencia y error de los datos lo cual fue obtenido mediante el uso de las ecuaciones (7, 8, 9, 10 y 11) para cada región, cuyos resultados se muestran en la Tabla 9.

Región 1, tiene una mejora considerable en la correlación de los datos antes y después de aplicar la corrección llegando a ser satisfactorio, el comportamiento gráfico obtenido tiene un valor de aceptable, los valores corregidos tienen un error cuadrático considerado aceptable, la tendencia de los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Región 2, tiene una mejora en la correlación desde insatisfactorio a satisfactorio después de aplicar la corrección, el comportamiento gráfico es aceptable, siendo el error cuadrático considerado aceptable y los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Región 3, tiene una mejora en la correlación de los datos, pero manteniendo una clasificación buena, el comportamiento gráfico es bueno, el error cuadrático es considerado inaceptable y los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Región 4, tiene una mejora en la correlación, pero manteniendo una clasificación insatisfactoria, el comportamiento gráfico y el error cuadrático medio son inaceptables y los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Tabla 9: Resultados estadístico de la precipitación de TRMM.

	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4
R2 (a)	0.4966	0.6195	0.8307	0.3159
R2 (b)	0.7315	0.6579	0.8484	0.3828
BIAS	-1.6011	-1.9007	-2.2762	-1.9589
RMSE	28.6474	37.9878	20.7769	3.3493
RRMSE	47.89%	47.54%	52.28%	268.32%
NSE	0.7547	0.6692	0.8351	0.0573

Nota: El dato sombreado indica la inconsistencia del modelo en esas regiones

Para los datos de precipitación del satélite GPM se determinaron los grados de correlación, consistencia y error de los datos mediante el uso de las ecuaciones (7,8,9,10 y 11) donde los resultados se muestran en la Tabla 10 para cada región.

Región 1, la correlación mejora, pero los datos se mantienen en la clasificación de satisfactorio, el comportamiento gráfico de los datos tiene un criterio bueno, el error cuadrático medio es aceptable, los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Región 2, tiene una correlación clasificada como satisfactorio, el comportamiento gráfico y el error cuadrático medio entre los datos corregidos y los datos *in situ* es aceptable, los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Región 3, tiene una correlación clasificada como buena, el comportamiento gráfico entre los datos corregidos y los datos *in situ* tienen el criterio de bueno, el error cuadrático medio es aceptable y los datos corregido son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Región 4, tiene una correlación insatisfactoria, el comportamiento gráfico de los datos corregidos con los datos *in situ* es insatisfactorio, el error cuadrático medio es inaceptable y los datos corregidos son subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Tabla 10: Resultados estadístico de la precipitación de GPM.

	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4
R2 (a)	0.8155	0.6001	0.8116	0.5255
R2 (b)	0.8379	0.6546	0.8826	0.6215
BIAS	-2.0091	-2.0869	-2.0508	-1.9704
RMSE	21.6157	37.5343	18.57	3.3023
RRMSE	40.15%	47.86%	49.17%	256.79%
NSE	0.8239	0.6028	0.8792	0.3732

Nota: El dato sombreado indica la inconsistencia del modelo en esa región

Los datos de precipitación de GPM y TRMM generados como resultado de la tesis se encuentran organizados en archivos tif siendo un total de 116 rásters, el acceso a estos datos se desarrolla a través de los programas SIG o diversos lenguajes de programación, sólo ingresando las coordenadas geográficas que se desee conocer accediendo a la fecha correspondiente.

4.5.2. Temperatura

Con los datos de temperatura del satélite MERRA-2 se determinó el grado de correlación, consistencia y error cuadrático mediante el uso de las *ecuaciones* (7, 8, 9 y 10), los resultados se muestran en la Tabla 11 por cada mes.

Enero tiene una correlación entre los datos *in situ* y satelitales con una clasificación de buena antes y después de la mejora, los datos presentaron una variación promedio absoluta de 5°C y con la mejora se logró reducir a una variación

promedio absoluta de 1.1 °C, el error cuadrático medio se considera confiable con valores de baja magnitud que subestiman los datos satelitales a los datos *in situ*.

Febrero tiene la correlación de los datos *in situ* y satelitales con clasificación buena llegando después de la mejora a muy buena, presentando una variación promedio absoluta de 4.8°C disminuyendo a 1°C la variación, el error cuadrático medio es considerado como confiable, presentando valores de baja magnitud sobreestimado con respecto a los datos *in situ*.

Marzo tiene una correlación clasificada como buena llegando a muy buena después de la mejora, presenta una variación promedio absoluta de 4.7 °C la cual disminuye a 1.1 °C, el error cuadrático medio se considera confiable, presentando valores de baja magnitud sobreestimados con respecto a los datos *in situ*.

Abril tiene una correlación clasificada como buena la cual llega a muy buena después de la mejora de los datos, presenta una variación promedio absoluta de 4.8 °C disminuyendo a 1.1 °C, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores óptimos entre ambos grupos de datos.

Mayo tiene una correlación satisfactoria entre los datos *in situ* y satelitales clasificada como buena después de la corrección, mientras que la variación promedio absoluta es de 4.4 °C disminuyendo a 1.2 °C, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores de baja magnitud que sobre estiman los datos *in situ*.

Junio presenta una correlación de satisfactoria entre los datos *in situ* y satelitales que se mantiene clasificada como buena, la variación promedio absoluta es de 4.7 °C la cual se reduce hasta los 1.5°C, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores de baja magnitud que sobre estiman los datos *in situ*.

Julio tiene una correlación clasificada como *satisfactoria* entre los datos *in situ* y los satelitales, la variación promedio *absoluta* es de 5.1 °C disminuyendo a 1.6°C, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores subestimados con respecto a los valores *in situ*.

Agosto tiene una correlación clasificada como insatisfactoria entre los datos *in situ* y los datos satelitales la cual llega a satisfactoria después de la mejora de los datos, la variación promedio fue de 5.2 °C disminuyendo a 1.7 °C, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Setiembre tiene una correlación clasificada como insatisfactoria entre los datos *in situ* y los datos satelitales los cuales llegan a satisfactoria después de la mejora de los datos, la variación absoluta promedio fue de 5.2 °C que disminuye a 1.6°C después de la mejora de los datos, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Octubre tiene una correlación clasificada como satisfactoria entre los datos *in situ* y satelitales que se mantiene, la variación absoluta promedio de los datos fue de 5°C disminuyendo a 1.4 °C después de la mejora de los datos, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores sobreestimados con respecto a los datos *in situ*.

Noviembre tiene una correlación clasificada como buena manteniéndose después de la corrección de datos, la variación absoluta promedio de los datos fue de 4.6 °C disminuyendo a 1.3 °C después de la mejora de los datos, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores sobreestimados con respecto a los datos *in situ*.

Diciembre tiene una correlación clasificada como buena que se mantiene después de la corrección de datos, la variación absoluta fue de 4.7 °C disminuyendo a 1.1 °C después de la mejora de los datos, el error cuadrático medio es confiable, presentando valores subestimados con respecto a los datos *in situ*.

Los datos de temperatura MERRA-2 generados como resultado de la tesis se encuentran organizados en archivos .tif siendo un total de 72 ráster, el acceso a estos datos se puede desarrollar a través de un SIG o diversos lenguajes de programación, solo ingresando las coordenadas geográficas que se desee conocer y accediendo a la fecha correspondiente.

Tabla 11: Resultados estadísticos de la temperatura de MERRA-2.

<i>MES</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>
R2 (a)	0.8677	0.9037	0.9001	0.8296	0.7978	0.7305
R2 (b)	0.932	0.9518	0.9502	0.9199	0.8966	0.836
BIAS	-0.1	+1.4	+0.1	00	+1.1	+1.0
RMSE	1.4012	1.2543	1.2947	1.3927	1.464	1.6981
NSE	---	---	---	---	---	---

<i>MES</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SET</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
R2 (a)	0.6659	0.5966	0.6167	0.6674	0.7265	0.8200
R2 (b)	0.7922	0.7246	0.7528	0.803	0.8435	0.9076
BIAS	-1.4	-0.8	-0.1	+0.5	+0.7	-0.5
RMSE	1.8618	1.9443	1.8272	1.6553	1.584	1.4131
NSE	---	---	---	---	---	---

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Precipitación

Los datos *in situ* de precipitación regionalizada tienen un comportamiento bien diferenciado, observándose que en las regiones 1, 2 y 3 las precipitaciones entre los meses de mayo a setiembre son menores a diferencia del resto de meses, donde hay presencia de precipitación, sobresaliendo el mes de marzo como el mes de mayor precipitación. Este resultado es similar al encontrado en el estudio de Endara Huanca et al. (2016), que desarrolló un análisis de la precipitación para cada región del Perú coincidiendo con la región que denominó Sierra Central Occidental.

Por otro lado, la región 4 presenta entre los meses de abril a noviembre los meses más secos mientras que los meses de diciembre a marzo presentan alguna precipitación; siendo estos datos similares a los encontrados en el estudio de Endara Huanca et al. (2016), donde los datos coincidieron con los de la región denominada Costa Norte.

Los datos de precipitación generados por los satélites tienen un alto grado de relación con respecto a los datos *in situ* teniendo como máximo en TRMM 0.83 para la región 3 y en GPM de 0.81 para la región 1, estos datos tienen una correlación similar a los datos obtenidos en los estudios hechos por Condom et al. (2011); Lavado Casimiro et al. (2009); Lavado & Condom (2010); Lujano Laura et al.

(2015); Rau et al. (2013); donde ponen a prueba los datos TRMM en zonas de montaña.

El resultado de la corrección de los datos de precipitación para TRMM y GPM mostró una mejora de los datos en todas las regiones, obteniendo un RRMSE inferior al 50% en las regiones 1, 2 y 3. Este resultado es similar a lo que se ha encontrado en el estudio de Condom et al. (2011), donde usa estaciones del SENAMHI para realizar este análisis.

En el estudio de Condom et al. (2011), se afirma que esta corrección no pueden ser usadas en zonas de la costa peruana, lo cual se demuestra en la región 4 que tiene un RRMSE para TRMM 268% y GPM 256%, pero si han sido usadas en otras zonas costeras a nivel internacional con una buena correlación como lo muestra el estudio de Ouatiki et al. (2017).

5.2. Temperatura

Los datos *in situ* de temperatura tienen una estrecha relación con la altura, la cual se observa en la Figura 18 donde el comportamiento de los datos *in situ* ha sido similar a los datos obtenidos por Quevedo & Sánchez (2009), en el cual demuestra que el método de regresión lineal basado en la altura y la temperatura es un método bastante adecuado para la representación de la variable de temperatura.

En la Figura 19 se puede ver la relación de la temperatura con la altura diferenciado por mes, donde la temperatura tiene una correlación alta de 0.94 en los meses de febrero y marzo mientras que en el otro extremo se tiene una correlación baja de 0.59 en el mes de agosto; este comportamiento también es observado en los datos del estudio realizado por Ninyerola et al.(2000), con la diferencia que los meses de sequias y avenidas son diferentes entre España y Perú. Por otro lado, Benali et al. (2012), que también tiene resultados similares explicó que posiblemente se deba a las brisas y ocurrencias de niebla que modifican el comportamiento de la temperatura.

Los datos satelitales tienen un alto grado de correlación con la altura que va desde 0.91 a 0.94 esto sucede debido al algoritmo de re análisis usado por NASA.

Los datos satelitales con los datos *in situ* guardan una correlación que va desde los 0.59 hasta los 0.90 durante el transcurso de los meses, esta correlación de los datos de temperatura tienen un comportamiento similar a los resultados obtenidos del estudio de Rau et al. (2013), y Ninyerola et al. (2000).

En cuanto al modelo implementado para la temperatura se ha obtenido una mejora en la correlación entre los datos *in situ* y los datos satelitales, obteniendo la mejora de la correlación en un máximo de 0.26, mientras el RMSE tiene valores de 1.94 como máximo y 1.25 como mínimo los cuales son similares a los resultados que se obtuvieron para RMSE en el estudio de Benali et al. (2012); demostrando que se pueden hacer mapas climáticos mensuales y anuales de alta precisión siguiendo metodologías que integren técnicas estadísticas y SIG (Ninyerola et al., 2000).

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Los datos satelitales de precipitación GPM y temperatura MERRA-2 al ser combinados con los datos del CIAD, generan datos para zonas donde no existen datos de estaciones meteorológicas dentro de la región Ancash.

Los datos de temperatura y precipitación de los satelitales MERRA-2, GPM y TRMMM tienen un comportamiento similar a los datos *in situ*, demostrando que los datos satelitales son una valiosa herramienta que puede ser usada en diferentes proyectos, presentando una variación promedio entre los datos satelitales y los datos *in situ* en la temperatura de 1.1 a 1.5 °C y en precipitación de 88 a 93 mm.

El comportamiento de las precipitaciones en la región es bien marcado y esto es mostrado por los datos satelitales y los datos registrados *in situ* donde se puede diferenciar claramente las épocas de estiaje y avenida en las zonas altas, siendo los meses correspondientes a la época de avenida los meses de octubre a marzo y la época de estiaje entre los meses de abril a setiembre.

La corrección de los datos de precipitación en la región 4 no es posible debido a la distorsión de los datos generados por la nubosidad, es por ello que el error supera el 200% cuando lo esperado es inferior al 50%

Los datos satelitales de GPM es un digno sucesor del TRMM, demostrando que su algoritmo ha sufrido grandes mejoras y ello ha aumentado la correlación con los datos *in situ* en un 30% independiente mente de la disminución de su resolución espacial.

La región 3 Pativilca presenta una buena correlación en cuanto a la precipitación debido a que las estaciones se encuentran en la parte superior de la cuenca y es por ello que la precipitación en la parte inferior de la cuenca no puede ser validada con esta metodología debido a lo mostrado en la región 4 Pacifico.

El satélite MERRA-2 tiende a subestimar los datos con respecto a los datos *in situ*, esto se debe la resolución de 5 km usada en la generación de estos datos.

Con la mejora de los datos aplicados en esta tesis se logró mejorar los datos satelitales observándose algunas limitaciones. La temperatura es limitada por la diferencia máxima y mínima de las estaciones con los datos satelitales. La precipitación es limitada por la altura, mostrando que en zonas muy bajas tiende a fallar.

La correlación de la temperatura con la altura disminuye según la estacionalidad de las precipitaciones, coincidiendo que en el mes más seco tiene una menor correlación de 0.72, mientras que en el mes de mayor precipitación tiene un alto grado de correlación de 0.95. Este comportamiento nos muestra cómo interactúan estas dos variables climáticas.

Las variables climáticas a paso mensual tienen una alta precisión referente a la temperatura y precipitación, donde se puede seguir las técnicas estadísticas junto con las técnicas del sistema de información geográfica; obteniéndose valores de correlación que van desde 0.95 hasta 0.72 en la temperatura mientras que en la precipitación desde 0.83 hasta 0.65 en estaciones que se encuentran sobre los 3000 m.s.n.m.

Es importante enfatizar que los resultados pueden ser actualizados con nuevos datos meteorológicos usando los scripts anexados.

6.2. Recomendaciones

El acceso a los datos se tiene que desarrollar mediante cualquier software diseñado para los sistemas de información geográfica, sólo conociendo las coordenadas y las fechas de interés.

Las estaciones meteorológicas tienen que ser cuidadas y mantenidas en buen estado para que puedan seguir generando datos útiles para la comunidad científica y la sociedad.

Un período mayor de datos logrará mejorar los datos generados por los modelos haciendo más robusta las correcciones de los datos satelitales.

Es importante desarrollar en estudios posteriores un sistema de almacenamiento que permita tener los datos ráster de forma mucho más organizada que la que se presenta actualmente.

Los siguientes estudios referidos a la precipitación sólo deben considerar preferentemente los datos GPM, a excepción de que el período de estudio sea anterior al 2014.

Los datos con los que se trabajen no tienen que ser completados, debido a que esto generaría un posible error en los datos.

Implementar una mayor red de estaciones meteorológicas en zonas de glaciares y en las cuencas del Pativilca y Marañón.

No usar la metodología de corrección método multiplicativo usado en la tesis en zonas de Costa.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allende, C. & Mendoza, M. E. (2010). *Hidrología y Regionalización Hidrogeográfica*. October.
- Arteaga, A. (2018). *Principales diferencias entre qGis y ArcGis | GisGeek*. 2018. <https://sig-geek.blogspot.com/2018/07/principales-diferencias-entre-qgis-y.html>
- Barnstom, A. (1992). Correspondence among the Correlation, RMSE, and Heidke Forecast Verification Measures; Refinement of the Heidke Score. *Notes and Correspondence*. [https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u30/Barnston, Anthony G., 1992.pdf](https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u30/Barnston,_Anthony_G.,_1992.pdf)
- Becker, F. & Zhao-Liang Li. (1995). Surface temperature and emissivity at various scales: definition, measurement and related problems. *Remote Sensing Reviews*, 12(3-4), 225-253. <https://doi.org/10.1080/02757259509532286>
- Benali, A., Carvalho, A. C., Nunes, J. P., Carvalhais, N. & Santos, A. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment*, 124, 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.024>
- Borges, L. (2010). *Python para Desenvolvedores*. Edição do Autor.
- Bosilovich, M. G., Lucchesi, R. & Suarez, M. (2016). Global Modeling and Assimilation Office. En *Earth* (Vol. 9, Número 9, p. 73). NASA GSFC. http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/office_notes.
- Campbell Scientific. (2009). *Model HMP45C Temperature an Relative Humidity Probe*.

- Campbell Scientific. (2012a). *Model 107 Temperature Probe*.
- Campbell Scientific. (2012b). *TE525-L: Rain Gage with 6 in. Orifice*. 2012.
<https://www.campbellsci.es/te525-l>
- Campbell Scientific. (2018). *CR1000: Measurement and Control Datalogger*. 2018.
<https://www.campbellsci.com/cr1000>
- CGIAR-CSI SRTM – *SRTM 90m DEM Digital Elevation Database*. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2019, de <http://srtm.csi.cgiar.org/>
- Chang, K. (2018). *Introduction to Geographic Information Systems* (McGraw-Hill Higher Education (Ed.); 9rd Editio).
- Chen, F. & Li, X. (2016). Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China. *Remote Sensing*, 8(6), 1-18.
<https://doi.org/10.3390/rs8060472>
- Collins, N., Theurich, G., DeLuca, C., Suarez, M., Trayanov, A., Balaji, V., Li, P., Yang, W., Hill, C., & da Silva, A. (2005). Design and Implementation of Components in the Earth System Modeling Framework. *The International Journal of High Performance Computing Applications*, 19(3), 341-350. <https://doi.org/10.1177/1094342005056120>
- Condom, T., Rau, P. & Espinoza, J. C. (2011). Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998-2007. *Hydrological Processes*, 25(12), 1924-1933. <https://doi.org/10.1002/hyp.7949>
- Contreras, L. J. (2014). *Modelos Digitales de Elevaciones*. Presentación.
<https://prezi.com/osrkbuw89ioz/modelo-digitales-de-elevaciones/>
- Cumbe, R. A. & Candeias, A. L. B. (2014). Uso De Python E Arcgis Na Avaliação Da Acessibilidade Das Populações Rurais Ao Ensino Básico - Caso Do Distrito De Chicualacuala. *V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 330-338.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD000501.pub2.Copyright>
- Dee, D. P., Balmaseda, M., Balsamo, G., Engelen, R., Simmons, A. J. & Thépaut, J.-N. (2014). Toward a Consistent Reanalysis of the Climate System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(8), 1235-1248. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00043.1>

- DeMers, M. (2008). *Fundamentals of Geographic Information Systems* (4 edition). Wiley.
- Despotovic, M., Nedic, V., Despotovic, D. & Cvetanovic, S. (2016). Evaluation of empirical models for predicting monthly mean horizontal diffuse solar radiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 246-260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.058>
- Dias, S. (2010). *ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL*. <http://www.masterantiga.iag.usp.br/ensino/Sinotica/AULA14/AULA14.HTML>
- Endara Huanca, S. M., Díaz Pabló, A., Felipe Obando, O., Acuña Azarte, J. & Acuña Azarte, J. (2016). *Ciclos horarios de precipitación utilizando información satelital*. <https://senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-34.pdf>
- ESRI. (2010). *NetCDF Tutorial*. <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/netcdf-tutorial.pdf>
- ESRI. (2019). *Learn ArcGIS*. 2019. <https://learn.arcgis.com/es/>
- Felicísimo, A. (2018). *Página personal de A.M. Felicísimo*. <http://www6.uniovi.es/~feli/index2.html>
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T. & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152(1), 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.004>
- Global Elevation Data*. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2019, de <http://vterrain.org/Elevation/SRTM/>
- Guillermo, P. (2015). *Precipitación - Ciclo hidrológico (del agua)*. Precipitación. <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- Huffman, G. J. (2018a). *27 August 2018 TMPA-to-IMERG Transition 1. August*, 1-5.
- Huffman, G. J. (2018b). *The Transition in Multi-Satellite Products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG)*. http://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_doc.pdf
- Jenner, L. (2015). *GPM - Global Precipitation Measurement*. https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html

- Lavado Casimiro, W. S., Labat, D., Guyot, J. L., Ronchail, J. & Ordonez, J. J. (2009). Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico. *Revista peruana de ge-atmosferica RPGA*, 19(1), 11-19.
- Lavado, P. R. A. U. & Condom, T. (2010). *Análisis espacio temporal de la precipitación en las zonas de montaña de Spatio-temporal analysis of rainfall in the mountain regions of Peru (1998-2007)*. 29(2), 16-29.
- LosTipos. (2018). *ZCIT: Zona De Convergencia Intertropical, Efectos Sobre El Clima Y Mas*. <https://lostipos.net/zcit/>
- Lujano Laura, E., Felipe Obando, O. G., Lujano Laura, A. & Quispe Aragón, J. (2015). Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 17(2), 221. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.116>
- Mejía, J. A. (2019). Métodos de Análisis en Recursos Hídricos. *Programa de Maestría en Recursos Hídricos*.
- Met Office. (2018). *Precipitation* - Met Office. <https://www.metoffice.gov.uk/learning/precipitation>
- Montoro, A. (2012). *Python 3 al descubierto* (1.ª ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D. & Veith, T. L. (2007). *M e g s q a w s*. 50(3), 885-900.
- Mourre, L., Condom, T., Junquas, C., Lebel, T., Sicart, J. E., Figueroa, R. & Cochachin, A. (2016). Spatio-temporal assessment of WRF, TRMM and in situ precipitation data in a tropical mountain environment (Cordillera Blanca, Peru). *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 20, 125-141. <https://doi.org/10.5194/hess-20-125-2016>
- NASA. (2000). *The Intertropical Convergence Zone*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/703/the-intertropical-convergence-zone>
- News unidata. (2019). *NetCDF-Java library version 5.1.0 Released: News@Unidata*. <https://www.unidata.ucar.edu/blogs/news/entry/netcdf-java-library-version-51>

- Ninyerola, M., Pons, X. & Roure, J. M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*, 20(14), 1823-1841. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20001130\)20:14<1823::AID-JOC566>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20001130)20:14<1823::AID-JOC566>3.0.CO;2-B)
- NOAA. (2018). *What is El Niño & La Niña?* https://www.weather.gov/media/owlie/2018_ENSO.pdf
- OMM. (2008). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. www.wmo.int
- Ouatiki, H., Boudhar, A., Tramblay, Y., Jarlan, L., Benabdelouhab, T., Hanich, L., El Meslouhi, M. & Chehbouni, A. (2017). Evaluation of TRMM 3B42 V7 Rainfall Product over the Oum Er Rbia Watershed in Morocco. *Climate*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.3390/cli5010001>
- QSIG. (s. f.). *Datos Vectoriales*. Recuperado 7 de agosto de 2019, de https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html
- Quevedo, K. & Sánchez, K. (2009). Comparación de dos métodos de interpolación para la estimación de la temperatura del aire aplicando técnicas geo-estadísticas. *Revista Peruana Geo Atmosferica*, 107(1), 90-107.
- R Foundation. (2019). *R: The R Project for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Rafael, F. (2017). *Weblet Importer*. <http://www.ciadars.com/goes>
- Rau, P., Condom, T., Espinoza, J. C. & Lavado. (2013). Análisis espacio temporal de la precipitación y temperatura mensual en las zonas de montaña del Perú. Una aproximación a la corrección de datos TRMM 3B43 y de reanálisis NCEP NCAR. *IV Congreso Nacional del Agua*, 1-9. http://www.lamolina.edu.pe/eventos/agricola/2013/IV_congreso_agua/default.htm
- Ritter, A. & Muñoz-Carpena, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33-45. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2012.12.004>
- Rogerson, T. (2016). *Órbitas de Satélites*. 2016. <https://scool.larc.nasa.gov/Spanish/orbits-sp.html>

- Rozante, J., Vila, D., Barboza, J., Fernandes, A. & Souza, D. (2018). Evaluation of TRMM/GPM Blended Daily Products over Brazil. *Remote Sensing*, 10(6), 882. <https://doi.org/10.3390/rs10060882>
- Salazar, F. (2017). Potencial Estratégico de la Geolocalización de Clientes. *Revista San Gregorio*, 19, 102-113.
- Scott Braun. (2015). *TRMM Home Page | Precipitation Measurement Missions*. <https://pmm.nasa.gov/trmm>
- US Department of Commerce, N. N. W. S. (s. f.). *What is ENSO?* Recuperado 15 de octubre de 2019, de <https://www.weather.gov/mhx/ensowhat>
- Vinuesa, P. (2012). *Análisis estadístico en ciencias biológicas utilizando R*. <http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/>
- Zerger, A. & Bishop, I. (1999). *Introduction to GIS - vector based GIS*. 2001. https://geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.htm
- Zhang, X. & Yang, F. (2004). *Manual del Usuario*. 2004. <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

ANEXOS

Descarga de imágenes satelitales	84
Extracción de data satelital	88
Corrección de precipitación	91
Datos de precipitación mensual <i>in situ</i> (CIAD)	104
Datos de temperatura mensual in situ ciad	109
Datos de precipitación mensual corregidos TRMM y GPM	113
Datos de temperatura mensual corregidos	119

ANEXO 1

DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

```

#importar librerias
from datetime import datetime,timedelta
from dateutil.relativedelta import relativedelta
#Datos de entrada
Ano1=2012
mes1=1
Ano2=2017
mes2=12
#acomodo de datos
fecha1 = datetime(Ano1,mes1,1)
meses1=(abs(Ano2-Ano1)*12)+(abs(mes2-mes1)+1)
meses=range(meses1)
Tiempo1=[]

for dato in meses:
    month = relativedelta(months=dato)
    hoy= fecha1 + month
    Tiempo1.append(str(hoy))
# In[19]:
#Extrae la informacion de las fechas generadas para el período de estudio
H1=[]
for anos in Tiempo1:
    L=anos[:4]+anos[5:7]+anos[8:10]
    H1.append(L)
#print (L[4:6])
# In[20]:
#crea la URL para el período de las fechas solicitadas
WW=[]
for i in H1:#nuevalista

    #G="https://disc2.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/TRMM_L3/TRMM_3B43.7/
    "+i[:4]+"/3B43."+i+".7.HDF.nc" #TRMM

    G="https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensdap/FLDAS/FLDAS_NOAH01_

```

```

C_GL_M.001/"+i[:4]+"/FLDAS_NOAH01_C_GL_M.A"+i[:6]+".001.nc.nc?Tair_f_t
avg[0:0][0:1499][0:3599],X[0:3599],time[0:0],time_bnds[0:0][0:1],Y[0:1499]"
#MERA

#G="https://GPM1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERG
M.05/"+i[:4]+"/3B-MO.MS.MRG.3IMERG."+i+"-S000000-
E235959."+i[4:6]+".V05B.HDF5.nc" #GPM

WW.append(G)
# In[16]:
i[:6]
# In[21]:
#crear un archivo donde estan las paginas web de las cuales se va descargar las la
informacion
archivo = open("Paginaweb_Tm.csv","w")
titulo="fecha_inicial;ESTADO;paginas_web_2012_2018\n"
archivo.write(titulo)
for i in range(len(H1)):
    KK=Tiempo1[i]
    LL=KK[:10]
    ESTA='NOTREADY'
    QQ=LL+";"+ESTA+";"+WW[i]+"\\n"
    archivo.write(QQ)
archivo.close()
# In[22]:
#Abre el archivo creado y lee las lineas guardandolas por linea
tef=open('Paginaweb_Tm.csv').readlines()
# In[23]:
#Lee el la linea separada por ","
ss=tef[1]
data=ss.split(",")
#print (data)
# In[26]:
import urllib.request
import urllib.error
import http.cookiejar
from base64 import b64encode

```

```

import re
for registro in tef[1:]:
    datosregistro=registro.split(';')
    print ("período de imagen para la fecha "+datosregistro [0])
    #sacamos el URL de cada imagen y se descuenta una posicion por "\n"
    urldatos=datosregistro[2][:-1]
    print (urldatos) # para ver la URL
    #creamos el nombre de la imagen
    nombredatos=datosregistro[0]+"_"+"MERA_Tem"
    while datosregistro[1]!='NOTREADY':
        try:
            userAndPass=b64encode(b"Eduardo_PP:Holacomoestas12").decode("ascii")
            header = {'Authorization':'Basic %s' %userAndPass}

            class MyHTTPRedirectHandler(urllib.request.HTTPRedirectHandler):
                def http_error_302(self, req, fp, code, msg, headers):
                    return urllib.request.HTTPRedirectHandler.http_error_302(self, req, fp, code,
                        msg, headers)
            cookieprocessor = urllib.request.HTTPCookieProcessor()

            opener = urllib.request.build_opener(MyHTTPRedirectHandler, cookieprocessor)
            urllib.request.install_opener(opener)

            req = urllib.request.Request(urldatos,headers = header)
            req.add_header('Authorization' , 'Basic %s' % userAndPass)
            x = urllib.request.urlopen(req)
            f = open('MERA_Temp/'+nombredatos+'.nc', 'wb')
            f.write(x.read())
            f.close()
            print('Se guardo la imagen: '+ nombredatos + '\n')
            datosregistro[1]='READY'
            #send_response(code, message=None)
        except urllib.error.URLError as e:
            print(e)

```

ANEXO 2

EXTRACCIÓN DE DATA SATELITAL

```

# # Script de extracion de datos de raster
# este script permitira extraer los datos de los raster a un shp en el cual
# se realizaran los analisis de cada uno de ellos para ello se importara la libreria **Arcpy**
# In[1]:
import arcpy
import os
import calendar
# ## Extraer la información de un conjunto de raster a un **SHP**
# In[3]:
shp="C:\Users\evg25\Desktop\Tesis 2\Shp_Estaciones\Information.gdb\EM_CIAD_Temp"
    #indicar el archivo shp
ws=arcpy.env.workspace="C:\Users\evg25\Documents\Scrip\MERA_Temp" #indicar la
    carpeta de trabajo
# ## Crea lista de los archivos raster y transformacion
# In[1]:
import arcpy
import os
import calendar
shp="C:\Users\evg25\Desktop\Tesis
    2\Shp_Estaciones\Information.gdb\EM_CIAD_Temp1" #indicar el archivo shp
ws=arcpy.env.workspace="C:\Users\evg25\Documents\Scrip\MERA_Temp" #indicar la
    carpeta de trabajo
arcpy.env.overwriteOutput = True
for listfile,sublistfile, listimage in os.walk(ws):
    for imagen in listimage:
        #####
        #Número de dias a ser multiplicado
        #j=int(imagen[:4])
        #i=int(imagen[5:7])
        #monthRange = calendar.monthrange(j,i)
        #num_day=int(monthRange[1])*24
        #####

```

```
a=imagen
b="TMP_"+imagen[2:4]+"_"+imagen[5:7]
#f=a[:-4]+".tif"
#c=f+' '+b
arcpy.MakeNetCDFRasterLayer_md(a,"Tair_f_tavg","X","Y",'Tempera')
c="Tempera "+b
#raster=arcpy.sa.Raster('Tempera')-273.5
#raster.save(f)
#outTimes =arcpy.sa.Times("Tempera", num_day)
#outTimes.save(f)
arcpy.gp.ExtractMultiValuesToPoints_sa(shp,c,"NONE")
arcpy.Delete_management("Tempera")
#print "complete "+ str(b)
```

ANEXO 3

CORRECCIÓN DE PRECIPITACIÓN

```

#!/usr/bin/env python
# coding: utf-8
# In[1]:
import os
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
get_ipython().run_line_magic('pylab', 'inline')
GG='D:\Python_TESIS\R3.xlsx'
R4_data=pd.read_excel(GG,sheet_name='Sheet1',index_col=0)
R4_data=pd.DataFrame(R4_data)
# In[2]:
list(R4_data)
# In[3]:
GG1='D:\Python_TESIS\Tesis 2\Shp_Estaciones\TRMM_Data.xlsx'
R4_data_TRMM=pd.read_excel(GG1,sheet_name='Hoja1',index_col=0)
R4_data_TRMM=pd.DataFrame(R4_data_TRMM)
# In[63]:
R4_data_TRMM
# In[4]:
a=pd.DataFrame(pd.DataFrame([R4_data_TRMM['Ocos'],R4_data_TRMM['Chiquián']]))
# In[5]:
TRMM_data=a.transpose()*((R4_data*0)+1)
TRMM_data=TRMM_data['2012-01-01':'2017-12-31']
# In[6]:
R3_data=R4_data['2012-01-01':'2017-12-31']
# In[7]:
TRMM_data_mean=pd.DataFrame(TRMM_data.transpose().mean())
TRMM_data_mean.rename(columns={0:'TRMM_mean'}, inplace=True)
# In[8]:
R4_data_mean=pd.DataFrame(R4_data.transpose().mean())
R4_data_mean.rename(columns={0:'PP_mean'}, inplace=True)
# In[9]:
figsize(20,5)
(pd.concat([TRMM_data_mean,R4_data_mean],axis=1)).plot()
title("Precipitación promedio Mensual R4 Pacifico")

```

```

plt.xlabel('Años')
plt.ylabel('Precipitacion')
#savefig('Linea Mensual promedio R4 Pacifico.png',dpi=500)
# In[10]:
s=(pd.concat([TRMM_data_mean,R4_data_mean],axis=1))
# In[11]:
Dif_Pre=pd.DataFrame(TRMM_data_mean['TRMM_mean']-R4_data_mean['PP_mean'])
Dif_Pre.rename(columns={0:'Diferencia de PP'}, inplace=True)
Dif_Pre['Centro']=0
# In[12]:
Dif_Pre.plot()
# In[13]:
MBE_R4=((pd.DataFrame(TRMM_data_mean['TRMM_mean']-
                    R4_data_mean['PP_mean'])).sum())/len(TRMM_data_mean)
# In[14]:
MBE_R4
# In[15]:
print(MBE_R4<50)
# In[16]:
RMSE_R4((((pd.DataFrame(TRMM_data_mean['TRMM_mean']-
                    R4_data_mean['PP_mean'])**2).sum())/len(TRMM_data_mean)))**0.5
# In[17]:
RMSE_R4
# In[18]:
print(RMSE_R4<50)
# # Correccion de datos
# ### Enero
# In[19]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
enero_TRMM=pd.DataFrame([a['2013-01-31 00:00:00'],a['2014-01-31 00:00:00'],a['2015-
                    01-31 00:00:00'],a['2016-01-31 00:00:00'],a['2017-01-31 00:00:00']])
log_enero_TRMM=np.array(np.log10(mean(enero_TRMM)+1))
# In[20]:
a=R4_data_mean.transpose()
enero_PP=pd.DataFrame([a['2013-01-31 00:00:00'],a['2014-01-31 00:00:00'],a['2015-01-
                    31 00:00:00'],a['2016-01-31 00:00:00'],a['2017-01-31 00:00:00']])

```

```

log_enero_PP=np.array(np.log10(mean(enero_PP)+1))
# In[21]:
f1_enero=log_enero_TRMM/log_enero_PP
# In[22]:
enero_coor=(enero_TRMM+1)**(1/f1_enero[0])+1
# In[23]:
enero_coor
# ### Febrero
# In[24]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
febrero_TRMM=pd.DataFrame([a['2013-02-28 00:00:00'],a['2014-02-28 00:00:00'],a['2015-
    02-28 00:00:00'],a['2016-02-29 00:00:00'],a['2017-02-28 00:00:00']])
log_febrero_TRMM=np.array(np.log10(mean(febrero_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
febrero_PP=pd.DataFrame([a['2013-02-28 00:00:00'],a['2014-02-28 00:00:00'],a['2015-02-
    28 00:00:00'],a['2016-02-29 00:00:00'],a['2017-02-28 00:00:00']])
log_febrero_PP=np.array(np.log10(mean(febrero_PP)+1))
f1_febrero=log_febrero_TRMM/log_febrero_PP
febrero_coor=(febrero_TRMM+1)**(1/f1_febrero[0])+1
# In[25]:
febrero_coor
# ### Marzo
# In[26]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
marzo_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-03-31 00:00:00'],a['2013-03-31 00:00:00'],a['2014-
    03-31 00:00:00'],a['2015-03-31 00:00:00'],a['2016-03-31 00:00:00'],a['2017-03-
    31 00:00:00']])
log_marzo_TRMM=np.array(np.log10(mean(marzo_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
marzo_PP=pd.DataFrame([a['2012-03-31 00:00:00'],a['2013-03-31 00:00:00'],a['2014-03-
    31 00:00:00'],a['2015-03-31 00:00:00'],a['2016-03-31 00:00:00'],a['2017-03-31
    00:00:00']])
log_marzo_PP=np.array(np.log10(mean(marzo_PP)+1))
f1_marzo=log_marzo_TRMM/log_marzo_PP
marzo_coor=(marzo_TRMM+1)**(1/f1_marzo[0])+1
# In[27]:

```

```

marzo_coor
# ### Abril
# In[28]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
abril_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-04-30 00:00:00'],a['2013-04-30 00:00:00'],a['2014-
04-30 00:00:00'],a['2015-04-30 00:00:00'],a['2016-04-30 00:00:00'],a['2017-04-
30 00:00:00']])
log_abril_TRMM=np.array(np.log10(mean(abril_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
abril_PP=pd.DataFrame([a['2012-04-30 00:00:00'],a['2013-04-30 00:00:00'],a['2014-04-30
00:00:00'],a['2015-04-30 00:00:00'],a['2016-04-30 00:00:00'],a['2017-04-30
00:00:00']])
log_abril_PP=np.array(np.log10(mean(abril_PP)+1))
f1_abril=log_abril_TRMM/log_abril_PP
abril_coor=(abril_TRMM+1)**(1/f1_abril[0])+1
# In[29]:
abril_coor
# ### Mayo
# In[30]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
mayo_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-05-31 00:00:00'],a['2013-05-31 00:00:00'],a['2014-
05-31 00:00:00'],a['2015-05-31 00:00:00'],a['2016-05-31 00:00:00'],a['2017-05-
31 00:00:00']])
log_mayo_TRMM=np.array(np.log10(mean(mayo_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
mayo_PP=pd.DataFrame([a['2012-05-31 00:00:00'],a['2013-05-31 00:00:00'],a['2014-05-
31 00:00:00'],a['2015-05-31 00:00:00'],a['2016-05-31 00:00:00'],a['2017-05-31
00:00:00']])
log_mayo_PP=np.array(np.log10(mean(mayo_PP)+1))
f1_mayo=log_mayo_TRMM/log_mayo_PP
mayo_coor=(mayo_TRMM+1)**(1/f1_mayo[0])+1
# In[31]:
mayo_coor
# ### Junio
# In[32]:
a=TRMM_data_mean.transpose()

```

```

junio_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-06-30 00:00:00'],a['2013-06-30 00:00:00'],a['2014-
06-30 00:00:00'],a['2015-06-30 00:00:00'],a['2016-06-30 00:00:00'],a['2017-06-
30 00:00:00']])
log_junio_TRMM=np.array(np.log10(mean(junio_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
junio_PP=pd.DataFrame([a['2012-06-30 00:00:00'],a['2013-06-30 00:00:00'],a['2014-06-30
00:00:00'],a['2015-06-30 00:00:00'],a['2016-06-30 00:00:00'],a['2017-06-30
00:00:00']])
log_junio_PP=np.array(np.log10(mean(junio_PP)+1))
f1_junio=log_junio_TRMM/log_junio_PP
junio_coor=(junio_TRMM+1)**(1/f1_junio[0])+1
# In[33]:
junio_coor
# ### Julio
# In[34]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
julio_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-07-31 00:00:00'],a['2013-07-31 00:00:00'],a['2014-07-
31 00:00:00'],a['2015-07-31 00:00:00'],a['2016-07-31 00:00:00'],a['2017-07-31
00:00:00']])
log_julio_TRMM=np.array(np.log10(mean(julio_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
julio_PP=pd.DataFrame([a['2012-07-31 00:00:00'],a['2013-07-31 00:00:00'],a['2014-07-31
00:00:00'],a['2015-07-31 00:00:00'],a['2016-07-31 00:00:00'],a['2017-07-31
00:00:00']])
log_julio_PP=np.array(np.log10(mean(julio_PP)+1))
f1_julio=log_julio_TRMM/log_julio_PP
julio_coor=(julio_TRMM+1)**(1/f1_julio[0])+1
# In[35]:
julio_coor
# ### Agosto
# In[36]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
agosto_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-08-31 00:00:00'],a['2013-08-31 00:00:00'],a['2014-
08-31 00:00:00'],a['2015-08-31 00:00:00'],a['2016-08-31 00:00:00'],a['2017-08-
31 00:00:00']])
log_agosto_TRMM=np.array(np.log10(mean(agosto_TRMM)+1))

```

```

a=R4_data_mean.transpose()
agosto_PP=pd.DataFrame([a['2012-08-31 00:00:00'],a['2013-08-31 00:00:00'],a['2014-08-
31 00:00:00'],a['2015-08-31 00:00:00'],a['2016-08-31 00:00:00'],a['2017-08-31
00:00:00']])
log_agosto_PP=np.array(np.log10(mean(agosto_PP)+1))
f1_agosto=log_agosto_TRMM/log_agosto_PP
agosto_coor=(agosto_TRMM+1)**(1/f1_agosto[0])+1
# In[37]:
agosto_coor
# ### Septiembre
# In[38]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
setiembre_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-09-30 00:00:00'],a['2013-09-30
00:00:00'],a['2014-09-30 00:00:00'],a['2015-09-30 00:00:00'],a['2016-09-30
00:00:00'],a['2017-09-30 00:00:00']])
log_setiembre_TRMM=np.array(np.log10(mean(setiembre_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
setiembre_PP=pd.DataFrame([a['2012-09-30 00:00:00'],a['2013-09-30 00:00:00'],a['2014-
09-30 00:00:00'],a['2015-09-30 00:00:00'],a['2016-09-30 00:00:00'],a['2017-09-
30 00:00:00']])
log_setiembre_PP=np.array(np.log10(mean(setiembre_PP)+1))
f1_setiembre=log_setiembre_TRMM/log_setiembre_PP
setiembre_coor=(setiembre_TRMM+1)**(1/f1_setiembre[0])+1
# In[39]:
setiembre_coor
# ### Octubre
# In[40]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
octubre_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-10-31 00:00:00'],a['2013-10-31
00:00:00'],a['2014-10-31 00:00:00'],a['2015-10-31 00:00:00'],a['2016-10-31
00:00:00'],a['2017-10-31 00:00:00']])
log_octubre_TRMM=np.array(np.log10(mean(octubre_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
octubre_PP=pd.DataFrame([a['2012-10-31 00:00:00'],a['2013-10-31 00:00:00'],a['2014-10-
31 00:00:00'],a['2015-10-31 00:00:00'],a['2016-10-31 00:00:00'],a['2017-10-31
00:00:00']])

```

```

log_octubre_PP=np.array(np.log10(mean(octubre_PP)+1))
f1_octubre=log_octubre_TRMM/log_octubre_PP
octubre_coor=(octubre_TRMM+1)**(1/f1_octubre[0])+1
# In[41]:
octubre_coor
# ### Noviembre
# In[42]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
noviembre_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-11-30 00:00:00'],a['2013-11-30
00:00:00'],a['2014-11-30 00:00:00'],a['2015-11-30 00:00:00'],a['2016-11-30
00:00:00'],a['2017-11-30 00:00:00']])
log_noviembre_TRMM=np.array(np.log10(mean(noviembre_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
noviembre_PP=pd.DataFrame([a['2012-11-30 00:00:00'],a['2013-11-30 00:00:00'],a['2014-
11-30 00:00:00'],a['2015-11-30 00:00:00'],a['2016-11-30 00:00:00'],a['2017-11-
30 00:00:00']])
log_noviembre_PP=np.array(np.log10(mean(noviembre_PP)+1))
f1_noviembre=log_noviembre_TRMM/log_noviembre_PP
noviembre_coor=(noviembre_TRMM+1)**(1/f1_noviembre[0])+1
# In[43]:
noviembre_coor
# ### Diciembre
# In[44]:
a=TRMM_data_mean.transpose()
diciembre_TRMM=pd.DataFrame([a['2012-12-31 00:00:00'],a['2013-12-31
00:00:00'],a['2014-12-31 00:00:00'],a['2015-12-31 00:00:00'],a['2016-12-31
00:00:00'],a['2017-12-31 00:00:00']])
log_diciembre_TRMM=np.array(np.log10(mean(diciembre_TRMM)+1))
a=R4_data_mean.transpose()
diciembre_PP=pd.DataFrame([a['2012-12-31 00:00:00'],a['2013-12-31 00:00:00'],a['2014-
12-31 00:00:00'],a['2015-12-31 00:00:00'],a['2016-12-31 00:00:00'],a['2017-12-
31 00:00:00']])
log_diciembre_PP=np.array(np.log10(mean(diciembre_PP)+1))
f1_diciembre=log_diciembre_TRMM/log_diciembre_PP
diciembre_coor=(diciembre_TRMM+1)**(1/f1_diciembre[0])+1
# In[45]:

```

```

diciembre_coor
# In[46]:
mes_corre_TRMM=[noviembre_coor,diciembre_coor,octubre_coor,setiembre_coor,agosto_coor,julio_coor,junio_coor,mayo_coor,abril_coor,marzo_coor,febrero_coor,enero_coor]

# In[47]:
mes_corre_TRMM_f=pd.concat(mes_corre_TRMM,axis=0)

# In[48]:
mes_corre_TRMM_f

# In[49]:
mes_corre_TRMM_f.rename(columns={'TRMM_mean':'TRMM corregido'}, inplace=True)

# In[50]:
mes_corre_TRMM_f=mes_corre_TRMM_f.sort_index(ascending =True)

# In[65]:
plt.plot(mes_corre_TRMM_f,color='blue')
#plt.plot(TRMM_data_mean,color='r')
plt.plot(R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean'],color='black')
plt.plot((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM corregido']),color='g')

# In[72]:
MBE_R4=(((mes_corre_TRMM_f['TRMM corregido']-R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean'])).sum())/len(TRMM_data_mean)
RMSE_R4=((((R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM corregido'])**2).sum())/len(mes_corre_TRMM_f[:'2017-12']))**0.5

# In[73]:
# RRMSE %
(RMSE_R4/R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean'].mean())*100

# In[74]:
# RMSE
RMSE_R4

# In[75]:
MBE_R4

# In[ ]:
# In[76]:
#BIAS
(((R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM corregido']).sum())/len(R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean']))

```

```

# In[77]:
#NSE
1-(((R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
    corregido'])**2).sum()
)/(((R4_data_mean[:'2017-12']['PP_mean']-(R4_data_mean[:'2017-
    12']['PP_mean']).mean())**2).sum())

# In[ ]:
# In[58]:
from sklearn import datasets, linear_model
lr=linear_model.LinearRegression()
# In[59]:
lr.fit(R4_data_mean['2012-03-01':'2017-12-31'],mes_corre_TRMM_f['2012-03-01':'2017-
    12-31'])
y_pred1=lr.predict(R4_data_mean['2012-03-01':'2017-12-31'])
r22=lr.score(R4_data_mean['2012-03-01':'2017-12-31'],mes_corre_TRMM_f['2012-03-
    01':'2017-12-31'])

# In[60]:
# R2
r22
# In[ ]:
# In[55]:
((((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
    corregido'])**2).sum()/3)**(1/2))/(R4_data_mean['PP_mean'].mean())

# In[56]:
(R4_data_mean['PP_mean'].mean())
# In[57]:
R4_data_mean['PP_mean'].mean()
# In[140]:
round((round((((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
    corregido'])**2).sum()/len(mes_corre_TRMM_f))**0.5,4)/R4_data_mean['PP_m
    ean'].mean())

# In[55]:

```

```
#####
round((((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido']**2).mean(**0.5)/R4_data_mean['PP_mean'].sum(),4)*100
#####
# In[166]:
((((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido'])/mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido']**2).sum())/len(R4_data_mean['PP_mean'])
# In[56]:
((((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido'])/mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido']**2).sum())/len(R4_data_mean['PP_mean']))*(R4_data_mean['PP_m
      ean'].mean())
# In[ ]:
# In[ ]:
# In[59]:
(round((((R4_data_mean['PP_mean']-mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido']**2).sum())/len(mes_corre_TRMM_f))**0.5
# In[129]:
R4_data_mean['PP_mean'].plot()
# In[90]:
(RMSE_R4/R4_data_mean['PP_mean'].mean())
# In[88]:
RMSE_R4
# In[87]:
R4_data_mean['PP_mean'].mean()
# In[71]:
MBE_R4
# In[85]:
((mes_corre_TRMM_f['TRMM
      corregido']-
      R4_data_mean['PP_mean']).sum())/R4_data_mean['PP_mean'].sum()
# In[81]:
R4_data_mean['PP_mean'].mean()
# In[ ]:
# In[ ]:
# # Regrecion Lineal
```

```

# In[66]:
get_ipython().run_line_magic('matplotlib', 'inline')
get_ipython().run_line_magic('config', "InlineBackend.figure_format = 'svg'")
# In[67]:
n=len(TRMM_data_mean)
y=np.array(TRMM_data_mean)
y1=np.array(mes_corre_TRMM_f)
x=np.array(R4_data_mean)
sumx=sum(x)
sumy=sum(y)
sumy1=sum(y1)
sumx2=sum(x*x)
sumy2=sum(y*y)
sumy21=sum(y1*y1)
sumxy=sum(x*y)
sumxy1=sum(x*y1)
promx=sumx/n
promy=sumy/n
promy1=sumy1/n
# In[68]:
m=(sumx*sumy - n*sumxy)/(sumx**2 - n*sumx2)
m1=(sumx*sumy1 - n*sumxy1)/(sumx**2-n*sumx2)
b=promy -m*promx
b1=promy1-m*promx
m, b
# In[69]:
m1, b1
# In[70]:
sigmax=np.sqrt(sumx2/n-promx**2)
sigmay=np.sqrt(sumy2/n-promy**2)
sigmay1=np.sqrt(sumy21/n-promy1**2)
sigmaxy=sumxy/n - promx*promy
sigmaxy1=sumxy1/n-promx*promy1
R2a=(sigmaxy/(sigmax*sigmay))**2
R2b=(sigmaxy1/(sigmax*sigmay1))**2
# In[82]:

```

```

figsize(7,5)
plt.plot(x,y,'o',label='TRMM',color='red')
plt.plot(x,y1,'o',label='TRMM coor',color='blue')
plt.plot(x,m*x+b,'--',color='red')
plt.plot(x,m1*x+b1,'--',color='blue')
plt.xlabel('Precipitacion (mm)')
plt.ylabel('TRMM (mm)')
plt.title('Regrecion lineal')
plt.text(21, 100, '$R^2$'+'+'+str(round(R2a,4)),color='red')
plt.text(23, 14, '$R^2$'+'+'+str(round(R2b,4)),color='blue')
plt.grid()
plt.legend(loc=2)
savefig('Regresion Lineal R4 Pacifico.png',dpi=500)
# In[83]:
R2a,R2b
# In[85]:
figsize(15,5)
plt.plot(TRMM_data_mean,'--',color='blue',label='TRMM')
plt.plot(mes_corre_TRMM_f,color='red',label='TRMM coor')
plt.plot(R4_data_mean,'-.',color='black',label='PP')
plt.xlabel('Años')
plt.ylabel('PP (mm)')
plt.title('R4 Pacifico Precipitación')
plt.grid()
plt.legend(loc=1)
savefig('Precipitacion corregido R4 Pacifico.png',dpi=500)
# In[86]:
F1_R4=f1_enero[0],f1_febrero[0],f1_marzo[0],f1_abril[0],f1_mayo[0],f1_junio[0],f1_julio[0],
        f1_agosto[0],f1_setiembre[0],f1_octubre[0],f1_noviembre[0],f1_diciembre[0]
# In[87]:
F1_fin_R4=pd.DataFrame(list(F1_R4))
# In[88]:
F1_fin_R4.rename(columns={0:'F1'}, inplace=True)
# In[89]:
F1_fin_R4.to_excel('F4_TRMM.xlsx', sheet_name='F1')
# In[90]:

```

ANEXO 4

DATOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL *IN SITU* (CIAD)

Fecha	CAN	COR	TIN	SHI	QUI	SHA	PAS	SAN	POM	PUR	CHA	OCR	CHI	HUA	CAS	NEP
2012-01-31	34.3		71.1											0.0		
2012-02-29	84.3		94.5	126.0										5.1		
2012-03-31	118.9	119.1	0.0	154.9	104.4	172.2	120.9	60.2	3.8	121.9	212.9	96.3	165.4	0.3	3.3	2.0
2012-04-30	116.8	66.5	0.0	218.4	196.6	170.9	127.0	75.9	1.3	139.2	142.0	48.5	113.8	2.5	1.0	1.5
2012-05-31	11.7	7.6	0.0	46.2	18.8	18.8	31.0	11.4	0.0	23.4	35.8	1.3	8.9	2.5	0.0	0.0
2012-06-30	0.0	0.5	0.0	0.8	7.4	5.1	2.5	3.8	8.6	8.6	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-07-31	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.3	1.0	1.8	1.3	6.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-08-31	0.3	0.0	0.0	0.0	7.1	0.3	0.5	2.5	9.4	8.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2012-09-30	8.6	10.4	0.0	25.4	36.6	25.1	60.7	3.0	12.7	26.4	19.1	7.6	21.3	1.5	0.0	0.0
2012-10-31	79.5	77.7	0.0	54.6	53.3	37.8	24.6	59.7	21.6	88.1	120.1	28.4	22.1	0.0	0.5	1.5
2012-11-30	56.9	0.0	0.0	119.9	138.9	88.4	108.5	104.9	120.1	95.5	105.7	14.7	62.5	0.0	0.0	18.0
2012-12-31	59.9	0.0	0.0	82.6	118.6	95.8	106.7	115.8	142.7	159.5	187.7	28.7	76.2	4.3	0.0	0.3
2013-01-31	27.2	35.1	44.2	61.2	92.7	81.8	101.1	42.4	65.5	136.4	132.6	20.6	60.5	0.0	0.0	0.3
2013-02-28	78.5	116.1	86.9	117.1	171.7	118.9	135.4	66.3	0.3	163.6	154.9	101.6	157.0	0.8	3.0	2.0
2013-03-31	153.7	192.0	148.6	201.9	206.2	150.4	165.4	114.8	0.5	199.4	163.1	99.6	163.8	0.8	7.4	7.6
2013-04-30	36.3	12.2	27.2	56.1	83.8	34.3	12.7	46.2	0.0	68.3	101.3	5.6	32.5	0.3	0.0	0.0
2013-05-31	20.1	18.8	21.1	19.6	26.7	18.5	28.7	19.1	0.0	67.8	47.8	2.0	12.7	0.0	0.0	0.0
2013-06-30	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	0.3	1.3	3.6	27.4	9.4	20.8	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8
2013-07-31	0.0	9.1	5.3	0.0	10.9	0.0	3.8	1.0	17.3	7.1	21.8	0.0	0.0	0.8	0.0	0.3
2013-08-31	3.0	15.0	3.6	4.8	20.1	8.4	11.2	22.4	63.0	41.7	67.6	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0
2013-09-30	8.9	24.1	13.0	13.0	30.2	5.8	11.9	13.5	73.2	26.9	51.8	0.3	0.5	0.0	0.5	0.0
2013-10-31	51.1	22.6	67.3	99.3	143.8	85.1	83.3	68.6	323.6	8.9	136.4	15.7	49.3	0.0	0.5	0.3
2013-11-30	13.2	5.3	20.6	28.4	85.3	62.0	63.8	62.0	182.9	79.2	106.9	3.3	30.5	0.5	0.0	6.4
2013-12-31	91.9	65.8	94.0	74.2	182.6	155.2	96.5	102.6	305.3	133.4	146.1	21.3	95.8	0.5	1.8	0.8
2014-01-31	50.5	53.8	145.3	149.1	130.6	106.9	133.1	81.3	244.9	104.4	157.0	23.4	112.8	0.0	0.3	0.0
2014-02-28	91.7	101.1	157.2	190.2	209.6	167.6	187.2	98.3	364.2	223.8	199.9	30.0	165.9	0.0	2.5	0.3
2014-03-31	126.5	149.6	165.4	180.1	203.5	166.1	195.1	68.3	310.4	194.6	198.4	67.3	195.3	1.0	0.8	0.8

2014-04-30	15.7	42.9	47.8	127.8	59.9	89.4	63.8	28.2	165.1	66.5	107.7	8.9	31.8	0.0	0.0	0.0
2014-05-31	20.6	29.0	20.6	34.0	69.6	51.3	56.1	3.3	198.6	52.1	81.3	2.8	41.7	0.0	0.0	0.0
2014-06-30	14.2	0.5	9.9	2.0	17.8	7.1	7.1	0.8	6.6	3.3	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014-07-31	0.0	3.6	0.3	0.0	7.6	0.3	5.8	0.5	12.2	11.7	47.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
2014-08-31	0.0	2.3	0.0	0.0	2.8	4.1	4.8	3.3	4.1	4.8	15.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.5
2014-09-30	9.9	18.5	29.0	19.8	53.6	35.8	21.6	31.5	102.6	61.5	75.2	0.8	14.7	0.0	0.0	0.8
2014-10-31	8.1	29.7	29.0	37.8	90.7	47.2	49.0	34.3	172.7	98.0	106.7	6.4	33.8	0.0	0.0	0.0
2014-11-30	19.1	22.9	37.1	61.5	60.7	46.2	46.7	32.0	141.2	98.6	53.6	10.9	40.4	16.0	0.0	0.0
2014-12-31	99.1	98.6	122.2	16.5	208.5	186.4	150.1	119.6	376.9	168.1	147.6	33.8	122.2	0.0	0.5	0.8
2015-01-31	124.2	110.5	164.6	115.3	171.7	134.6	131.3	85.3	283.5	145.5	192.5	56.9	131.3	0.0	1.5	0.5
2015-02-28	77.5	58.4	97.3	74.4	63.0	50.5	80.5	50.3	203.7	93.2	128.3	54.6	74.7	2.5	0.5	1.5
2015-03-31	105.7	161.3	131.3	152.7	159.5	131.3	146.1	102.4	356.1	123.4	147.6	122.4	189.0	4.1	1.5	2.0
2015-04-30	28.7	65.0	67.3	73.4	60.5	78.7	63.2	41.1	206.8	101.1	135.9	44.7	61.0	0.0	0.0	0.0
2015-05-31	0.0	39.4	52.8	68.6	86.9	56.1	76.7	69.1	241.3	119.4	111.5	8.1	27.7	2.5	0.0	2.0
2015-06-30	0.0	0.3	2.3	0.8	4.1	2.5	8.1	0.3	9.1	18.0	12.7	0.0	1.8	0.0	0.0	1.0
2015-07-31	0.0	5.3	0.5	4.3	8.9	4.3	2.5	6.6	6.1	1.3	9.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.8
2015-08-31	0.0	3.6	0.0	0.0	6.6	0.0	12.7	5.1	21.8	16.5	19.6	0.0	3.6	0.0	0.0	0.3
2015-09-30	0.0	2.0	3.0	13.2	20.6	18.3	16.0	17.8	23.9	25.4	56.1	0.5	4.1	0.0	0.0	1.0
2015-10-31	0.0	21.3	53.3	97.5	89.2	66.5	64.3	7.1	150.4	75.2	61.2	4.6	28.2	3.3	0.0	0.5
2015-11-30	0.0	42.4	34.8	62.7	86.1	88.1	62.0	32.0	235.9	124.0	129.5	14.0	41.7	0.0	0.0	2.3
2015-12-31	0.0	66.8	96.8	116.1	97.5	122.7	67.8	61.5	242.8	136.1	202.4	43.4	80.5	5.3	1.3	2.3
2016-01-31	0.0	43.9	33.8	39.9	72.4	54.4	53.1	82.0	114.3	115.3	98.3	17.8	25.9	0.3	0.0	0.0
2016-02-29	0.0	124.7	154.2	156.7	178.6	102.1	113.5	82.8	166.6	125.0	187.5	53.3	160.8	1.0	1.3	1.5
2016-03-31	0.0	101.1	79.5	106.7	142.0	105.9	119.6	68.8	150.4	92.7	106.9	43.9	83.6	0.0	2.3	1.3
2016-04-30	0.0	36.8	54.9	66.3	109.5	51.8	59.9	49.0	107.7	94.5	122.7	27.2	56.6	0.0	0.0	0.3
2016-05-31	2.0	0.8	0.0	0.0	2.0	14.2	0.5	0.5	10.2	3.6	0.8	0.0	0.5	0.8	0.0	0.0
2016-06-30	1.8	1.3	0.0	1.0	0.0	6.9	0.0	0.0	7.4	6.4	1.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
2016-07-31	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	4.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2016-08-31	0.0	0.0	0.0	0.8	6.1	0.0	2.8	19.1	0.8	40.1	2.5	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
2016-09-30	2.0	11.7	0.5	33.5	55.6	27.7	19.3	1.3	18.5	18.3	38.1	4.1	17.8	0.3	0.0	0.0
2016-10-31	14.7	16.8	6.4	27.7	74.2	41.4	13.5	0.3	124.5	112.3	106.9	0.0	19.8	0.0	0.0	0.0
2016-11-30	5.8	1.3	3.6	7.9	11.2	2.3	4.1	0.0	46.0	34.0	38.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016-12-31	61.7	50.5	102.6	130.6	166.6	43.7	142.5	16.3	130.8	198.1	122.9	22.4	118.9	0.0	0.0	0.3
2017-01-31	87.6	86.6	75.7	114.8	178.3	23.9	150.1	93.5	105.3	158.0	150.4	100.1	150.4	0.0	0.5	0.3
2017-02-28	93.0	94.2	124.2	171.5	163.8	44.2	164.3	142.2	146.6	149.9	148.3	157.7	191.8	0.0	0.0	1.3
2017-03-31	233.7	302.0	214.4	246.4	287.3	103.1	232.7	177.0	183.9	165.6	264.7	238.8	272.8	2.3	28.4	51.3
2017-04-30	78.0	64.5	142.0	107.7	109.7	120.9	72.4	82.0	112.8	99.3	117.3	26.4	61.2	0.0	0.0	0.3
2017-05-31	26.4	33.3	35.3	49.3	78.2	86.6	82.5	23.6	69.1	42.9	63.5	2.0	25.1	0.0	0.0	0.0
2017-06-30	0.0	2.5	2.3	4.6	3.6	0.3	6.4	0.6	24.4	27.2	19.8	1.3	0.3	0.0	0.0	0.0
2017-07-31	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.8	1.3	15.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
2017-08-31	0.0	1.5	0.0	0.8	5.3	2.8	4.8	4.6	18.5	10.4	8.6	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0
2017-09-30	11.9	10.9	10.7	23.4	37.3	41.1	44.7	10.9	32.0	51.1	79.0	0.0	12.7	0.0	0.0	0.0
2017-10-31	29.0	35.3	48.0	67.8	55.4	54.9	73.7	13.0	65.3	108.2	57.4	22.1	47.0	0.0	0.0	0.0
2017-11-30	35.6	10.7	26.2	36.8	39.9	34.3	61.2	44.5	58.2	124.2	35.1	9.7	10.7	14.7	0.0	0.0
2017-12-31	45.7	63.2	68.8	151.6	150.1	93.7	123.7	162.5	164.8	162.6	116.1	11.7	58.2	0.0	0.8	0.0
2012-01-31	57.2	101.6	75.2	136.4	216.7	86.4	131.8	104.6	143.8	202.7	191.8	57.2	132.3	3.8	2.3	0.0
2012-02-29	49.8	51.8	74.2	119.9	95.5	77.7	95.8	70.1	119.9	89.9	101.9	40.1	96.8	1.3	3.6	0.0
2012-03-31	152.7	140.5	159.8	227.1	241.6	166.1	193.0	133.9	187.2	218.9	232.2	73.4	145.0	1.0	0.0	0.0
2012-04-30	57.4	114.8	59.9	102.4	88.9	118.4	86.9	45.7	90.4	108.5	72.4	47.2	61.2	0.5	0.8	0.0
2012-05-31	26.4	29.5	28.2	68.8	81.3	71.6	40.6	20.1	40.4	40.6	41.4	2.3	7.9	0.0	0.0	0.0
2012-06-30	0.0	3.3	0.3	1.0	16.8	0.3	2.3	1.3	12.7	15.0	42.7	5.1	6.1	0.0	0.0	0.0
2012-07-31	0.0	22.1	0.0	0.0	0.5	0.8	0.3	3.0	7.4	6.9	32.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012-08-31	0.0	35.8	0.8	1.0	7.6	4.3	7.4	5.6	16.5	35.1	25.1	0.8	4.3	0.0	0.0	0.0
2012-09-30	0.5	14.7	8.6	37.1	20.6	23.6	23.6	18.3	36.3	23.4	46.7	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0
2012-10-31	27.4	53.3	47.2	17.0	97.5	55.9	68.6	95.3	109.0	126.5	143.8	14.2	26.4	0.0	0.0	0.0
2012-11-30	38.9	279.7	75.7	75.2	117.6	60.7	87.6	133.1	236.5	161.5	116.8	6.4	51.8	0.0	0.0	0.0

2012-12-31	51.8	33.5	1.8	1.8	6.9	115.1	112.3	20.1	188.5	112.8	30.0	0.0	0.3	0.0	0.0
2013-01-31	0.0					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				0.0	

ANEXO 5

DATOS DE TEMPERATURA MENSUAL *IN SITU* (CIAD)

Nombre	TIN	QUI	NEP	PAS	POM	HUA	SHA	PUR	CAN	SAN	COR	SHI	CAS	CHI	CHA	OCR
2012-01-31	17.7								18.7							
2012-02-29	17.2								18.2			13.9				
2012-03-31	18.3	9.4		7.4	14.5		15.3	12.0	19.3	16.8	12.6	14.8	26.1	12.7	8.9	11.4
2012-04-30	17.2	8.9		6.9	14.8		14.7	12.0	19.4	16.6	11.6	14.1	25.1	12.2	8.9	11.3
2012-05-31	17.7	8.5		6.0	14.5			12.1	18.7	17.4	11.4	14.6	22.7	13.1	8.5	12.1
2012-06-30	17.1	7.3		5.3	13.7			11.2	17.9	17.4	11.2	14.0	22.5	13.0	7.7	11.8
2012-07-31	17.2	7.2	20.1	6.1	13.6	20.1	14.1	11.5	18.0	17.5	11.5	14.3	21.0	13.7	7.9	12.4
2012-08-31	17.5	8.0	18.2	7.2	14.5	18.3	14.9	12.3	18.5	18.3	11.9	14.9	19.6	13.8	8.7	12.3
2012-09-30	18.4	8.8	19.1	7.0	14.4	18.9	15.5	12.0	19.4	18.5	12.8	15.2	20.6	14.1	8.4	12.5
2012-10-31	17.9	9.7	19.0	7.4	15.4	19.0	15.9	12.7	18.9		11.9	14.9	20.6	13.4	9.7	11.8
2012-11-30	18.0	9.4	19.9	7.0	16.1	20.6	15.5	13.0	19.2		12.0	14.7	22.3	12.9	10.0	11.7
2012-12-31	17.6	9.0	21.1	6.9	15.5	21.9	15.0	12.4	18.8		11.3	14.2	23.2	12.2	9.7	11.0
2013-01-31	19.0	10.1	23.1	8.3	16.2	23.8	16.8	12.9	19.9	19.4	12.8	15.8	25.1	13.9	10.5	12.5
2013-02-28	18.0	9.7	24.4	7.7	15.1	24.5	15.2	12.3	19.0	18.0	11.8	14.7	26.0	12.4	9.6	10.9
2013-03-31	18.2	9.6	24.1	7.6	15.5	23.9	15.5	12.3	19.4	17.6	12.3	14.9	25.8	12.6	9.6	11.7
2013-04-30	18.4	9.8	20.6	7.0	15.6	20.8	15.8	12.9	19.5	18.4	12.2	15.4	22.7	13.3	9.8	12.0
2013-05-31	17.6	9.1	19.5	6.6	15.3	19.8	15.2	12.5	18.5	18.3	10.9	14.7	21.2	12.5	9.4	11.8
2013-06-30	17.4	7.8	17.6	5.3	14.2	18.1	14.5	11.2	18.2	17.6	11.1	14.4	18.8	13.1	8.3	12.0
2013-07-31	17.0	7.0	17.0	5.3	13.3	17.4	14.1	10.8	17.9	17.2	11.6	14.0	18.2	13.1	7.6	11.5
2013-08-31	17.7	8.0	17.0	5.5	14.7	16.9	15.2	12.0	18.6	18.3	11.1	14.5	18.2	13.4	8.5	12.1
2013-09-30	18.4	9.1	18.0	6.4	15.6	18.1	16.2	12.7	19.4	19.2	11.6	15.6	19.5	14.2	9.6	12.1
2013-10-31	18.3	9.6	18.6	6.9	15.6	18.8	15.9	13.1	19.6	19.0	12.1	15.1	20.4	13.3	9.8	12.0
2013-11-30	16.9	8.7	18.7	6.3	15.5	19.5	14.9	12.7	18.5	18.4	10.7	14.1	20.6	12.7	9.6	11.4
2013-12-31	17.7	9.3	21.3	7.0	15.9	22.2	15.7	12.7	19.4	18.4	11.6	14.7	23.3	12.5	10.0	11.3
2014-01-31	17.8	9.3	23.7	7.2	15.4	24.8	15.4	12.3	19.5	18.5	11.6	14.5	25.7	12.4	9.6	11.5
2014-02-28	18.0	9.3	23.2	7.2	15.1	23.6	15.3	11.9	19.4	17.6	11.9	14.7	25.4	12.4	9.6	11.7
2014-03-31	17.4	9.2	23.5	7.0	15.0	23.7	14.9	12.0	18.6	17.1	11.5	14.2	25.6	11.7	9.4	11.1

2014-04-30	18.6	9.6	21.2	7.5	15.5	21.4	15.8	12.6	19.9	18.2	12.4	15.3	23.5	13.6	9.6	12.6
2014-05-31	18.1	9.0	22.1	6.4	15.5	22.3	15.3	12.5	19.4	19.8	11.4	14.9	23.6	12.9	9.3	12.2
2014-06-30	18.0	8.4	21.2	6.2	15.1	21.8	15.0	12.5	19.0	18.1	11.5	15.1	22.3	14.1	9.1	12.9
2014-07-31	18.0	7.9	18.5	5.5	14.0	18.9	15.1	11.5	18.9	17.8	12.4	14.9	19.5	13.9	8.0	13.0
2014-08-31	17.5	7.7	17.9	5.2	14.0	18.3	14.7	11.6	18.4	17.9	11.2	14.6	19.5	13.5	8.2	11.8
2014-09-30	18.4	8.9	18.3	6.3	15.2	18.8	15.7	12.0	19.2	18.6	12.0	15.3	20.1	14.0	9.3	12.4
2014-10-31	18.2	9.2	19.0	6.9	15.2	19.6	15.5	11.8	19.5	18.4	12.4	15.1	20.8	13.6	9.0	11.9
2014-11-30	17.7	9.4	20.0	6.4	16.3	20.8	15.5	13.1	19.3	19.1	11.4	14.7	21.7	13.3	10.1	11.8
2014-12-31	18.1	9.3	21.5	7.3	16.0	22.0	15.4	12.6	19.3	18.4	11.7	14.5	23.4	12.9	9.9	11.7
2015-01-31	18.3	9.2	22.9	7.1	15.8	23.4	15.8	12.4	19.4	18.5	12.2	14.8	24.6	12.9	9.8	11.4
2015-02-28	17.9	9.5	25.2	7.2	15.6	25.2	15.6	12.5	19.3	18.6	11.9	14.7	26.6	12.4	9.7	11.1
2015-03-31	18.3	9.5	25.0	7.4	15.5	25.4	15.6	12.4	19.7	18.0	12.4	14.9	26.8	12.7	9.5	11.2
2015-04-30	18.3	9.3	23.3	7.6	15.2	23.5	15.6	12.0	19.6	17.7	12.8	15.1	25.1	13.2	9.3	12.0
2015-05-31	18.3	9.1	23.2	6.7	14.9	23.4	15.3	11.7		17.8	11.9	15.0	24.4	13.1	9.1	12.6
2015-06-30	18.0	8.0	22.3	6.4	14.4	22.3	14.8	11.9		17.7	12.8	14.8	23.3	14.0	8.5	12.8
2015-07-31	17.7	8.0	19.9	5.4	14.5	20.5	14.8	12.4		18.1	11.1	14.6	21.4	13.9	8.7	12.6
2015-08-31	18.3	8.4	19.2	6.2	15.2	20.0	15.5	12.4		19.0	11.9	15.2	20.5	14.5	9.1	12.6
2015-09-30	19.0	9.6	20.1	6.9	16.9	20.7	16.6	13.5		20.2	12.6	16.1	21.7	14.8	10.5	13.0
2015-10-31	19.1	10.3	20.9	7.5	16.5	21.2	16.7	13.4		19.8	12.4	15.9	22.5	14.7	10.5	12.5
2015-11-30	18.7	10.1	21.5	7.6	16.7	22.0	16.2	13.5		19.9	12.4	15.4	22.9	14.2	10.5	12.6
2015-12-31	19.5	10.4	23.1	7.9	16.4	23.6	16.6	13.1		19.5	13.5	16.0	24.7	14.9	10.1	13.3
2016-01-31	19.8	11.0	24.4	8.1	17.8	25.2	17.3	14.3		20.4	12.9	16.2	26.2	14.6	11.6	13.0
2016-02-29	19.6	11.0	25.9	9.1	16.7	26.6	17.0	13.5		19.3	13.9	16.2	27.3	14.5	11.0	13.9
2016-03-31	19.5	10.8	25.6	8.8	16.8	25.8	16.9	14.0		19.4	13.3	16.2	27.2	14.3	11.3	14.2
2016-04-30	19.5	10.4	23.2	7.8	16.5	23.3	16.5	13.5		19.3	12.9	15.9	25.1	14.2	10.8	14.3
2016-05-31	18.4	9.7	20.9	6.9	15.3	21.1	16.1	12.9	20.2	19.0	12.1	15.3	22.5	14.2	10.2	14.2
2016-06-30	18.3	7.1	18.6	5.4	14.2	19.2	14.6	12.2	18.4	16.8	11.3	14.5	20.1	13.9	5.6	13.7
2016-07-31	17.9	7.7	18.1	5.3	14.0	18.8	14.5	11.9	18.3	16.2	10.7	14.2	19.6	13.9	6.4	13.2

2016-08-31	18.5	8.7	18.3	6.0	15.7	18.6	15.6	12.5	19.3	19.6	11.8	15.1	19.9	14.4	8.6	13.6
2016-09-30	18.7	9.3	19.0	6.1	16.3	19.1	15.9	12.6	19.2	19.5	12.1	15.4	20.8	14.3	10.2	13.4
2016-10-31	18.5	9.7	19.3	6.0	16.3	19.6	16.1	12.9	19.1	19.6	11.7	15.4	20.9	14.1	10.4	13.5
2016-11-30	17.5	9.6	19.4	5.9	17.1	20.1	15.8	14.2	18.3	20.8	10.6	14.7	20.9	14.1	11.0	13.0
2016-12-31	18.1	9.5	21.9	7.0	16.2	22.5	15.8	12.7	19.3	18.5	11.9	14.7	23.7	12.9	10.2	12.4
2017-01-31	17.5	8.9	25.1	7.0	15.6	25.7	15.0	11.9	18.5	17.4	11.5	14.0	26.6	12.0	9.7	12.3
2017-02-28	17.4	8.7	26.4	6.6	15.5	26.6	14.7	12.2	18.7	17.3	11.3	13.8	27.4	11.4	10.0	12.0
2017-03-31	17.5	9.0	26.5	7.2	15.4	26.8	14.9	12.1	18.5	17.2	11.7	14.2	27.8	12.1	9.8	12.9
2017-04-30	17.9	9.6	23.4	7.5	15.5	23.9	15.4	12.7	19.1	17.7	12.3	14.9	25.4	13.3	10.2	13.9
2017-05-31	18.0	9.1	22.3	6.8	15.1	22.6	15.1	12.7	18.9	18.1	11.6	14.6	23.8	13.0	9.6	14.0
2017-06-30	17.4	8.2	19.5	5.9	14.5	19.7	14.6	12.2	18.2	17.8	10.4	14.2	20.5	13.2	9.2	13.2
2017-07-31	17.3	7.5	18.5	5.5	13.9	18.5	14.1	11.7	17.8	17.2	11.2	13.9	19.7	13.8	8.7	13.4
2017-08-31	17.8	8.5		5.3	15.6	18.2	14.8	12.8	18.2	19.1	10.5	14.3	19.0	13.6	9.9	13.4
2017-09-30	19.0	9.4		6.9	16.1	18.2	16.1	13.1	19.3	19.6	12.2	15.6	19.6	14.2	10.4	13.8
2017-10-31	19.1	9.8		7.1	16.7	18.7	16.0	13.6	19.3	19.8	12.0	15.3	20.0	14.2	10.9	13.6
2017-11-30	17.9	9.3		6.6	16.7	19.1	15.5	12.9	18.4	18.6	11.0	14.5	20.2	13.8	10.5	12.9
2017-12-31	18.1	9.0		6.8	15.9	21.6	15.4	12.3	18.4	17.6	11.6	14.4	22.9	13.1	10.2	11.9

ANEXO 6

DATOS DE PRECIPITACIÓN
MENSUAL CORREGIDOS TRMM y GPM

Datos corregidos de TRMM																
Estación	CHA	SHI	CAS	SHI	COR	SAN	CAÑ	PUR	SHA	HUA	POM	PAS	NEP	TIN	QUI	OCR
2012-01-31	169.69	90.29	26.29	207.30	64.18	124.38	40.94	136.11	47.52	4.35	189.92	113.29	18.98	207.30	207.04	35.21
2012-02-29	122.37	114.88	49.83	184.56	125.77	153.13	70.57	137.52	150.89	8.91	150.42	209.84	40.16	184.56	195.76	47.51
2012-03-31	153.16	119.80	71.06	361.02	120.50	120.53	176.53	103.17	206.10	9.97	112.37	144.85	49.81	361.02	304.92	104.29
2012-04-30	72.21	64.25	29.19	119.83	74.13	93.39	48.12	74.56	69.30	3.65	80.07	121.56	20.20	119.83	93.53	49.83
2012-05-31	52.68	7.45	7.09	390.29	23.08	15.50	12.16	12.24	15.69	7.28	14.71	32.25	5.56	390.29	363.21	2.73
2012-06-30	88.46	7.00	0.00	177.89	45.31	19.77	0.11	34.29	3.39	0.00	21.76	18.98	0.00	177.89	216.83	5.84
2012-07-31	84.38	18.78	0.56	250.51	36.30	9.30	0.09	20.68	1.40	0.59	10.10	31.45	0.54	250.51	219.57	7.68
2012-08-31	32.28	3.82	1.70	142.96	2.80	4.74	0.47	5.09	2.53	0.38	5.03	7.06	1.30	142.96	197.05	2.06
2012-09-30	57.23	24.12	3.03	125.33	19.17	20.75	17.94	31.01	28.84	0.39	19.44	74.79	3.03	125.33	150.38	19.84
2012-10-31	93.74	40.26	22.92	199.24	54.61	83.67	30.15	88.95	39.89	2.21	71.34	52.43	12.48	199.24	205.05	25.65
2012-11-30	32.91	14.18	2.65	51.36	21.58	37.24	15.49	35.52	25.62	2.13	33.02	26.60	2.30	51.36	53.79	4.81
2012-12-31	53.56	38.39	14.89	90.54	56.80	108.89	31.05	59.84	63.28	1.79	71.52	52.99	12.75	90.54	117.13	12.63
2013-01-31	141.20	38.41	2.12	275.84	25.60	70.76	21.41	78.86	38.46	0.77	72.39	68.51	1.29	275.84	278.63	24.37
2013-02-28	92.97	117.90	42.00	189.27	61.81	85.23	70.13	98.49	121.23	13.70	73.28	110.70	28.81	189.27	175.15	111.66
2013-03-31	71.87	70.02	60.57	107.15	95.87	94.25	73.67	69.96	77.20	53.93	79.58	72.96	42.53	107.15	82.90	52.33
2013-04-30	69.55	14.22	5.83	106.53	17.81	35.97	26.40	29.76	16.05	0.17	31.72	25.06	7.56	106.53	114.27	5.76
2013-05-31	29.60	5.06	2.50	86.76	14.82	22.36	7.88	8.39	11.99	0.50	17.17	20.66	3.31	86.76	77.46	2.08
2013-06-30	65.21	13.99	2.14	179.83	28.43	89.24	8.77	46.53	5.46	0.00	46.70	8.59	1.97	179.83	176.06	9.87
2013-07-31	10.26	1.08	6.51	45.26	8.30	22.64	3.55	5.59	3.20	4.20	10.70	2.77	3.74	45.26	51.22	1.40
2013-08-31	21.61	1.43	1.74	89.06	13.70	21.60	2.06	14.12	2.80	0.09	14.13	7.42	1.79	89.06	108.23	1.30
2013-09-30	26.37	2.57	0.44	145.15	5.52	16.05	0.44	3.80	4.22	0.07	9.73	9.41	0.00	145.15	174.52	0.90
2013-10-31	90.48	65.63	24.08	152.52	49.03	72.27	45.65	60.00	81.15	1.07	69.45	58.71	13.71	152.52	157.36	31.08
2013-11-30	69.16	11.17	3.94	79.21	38.76	117.05	13.82	46.07	18.17	0.51	76.66	32.23	5.42	79.21	97.12	2.18
2013-12-31	103.14	61.75	14.60	184.45	41.85	113.88	53.09	76.59	63.22	1.00	78.09	79.53	12.01	184.45	198.26	28.97
2014-01-31	95.99	73.80	32.82	154.33	34.45	80.11	42.79	86.76	56.48	23.83	72.09	65.06	24.82	154.33	133.06	27.72

2014-02-28	140.12	124.70	36.89	238.02	93.83	121.17	95.19	111.03	125.72	18.90	138.35	130.62	29.50	238.02	170.58	63.51
2014-03-31	136.56	125.20	74.29	163.13	136.21	188.60	139.94	167.59	150.63	61.72	157.71	173.92	61.92	163.13	172.44	77.77
2014-04-30	63.82	29.62	23.57	166.13	43.31	74.23	30.45	55.12	78.04	12.73	70.37	85.63	20.98	166.13	184.99	8.68
2014-05-31	51.52	33.35	13.41	148.76	19.55	52.96	28.28	39.28	27.92	6.88	45.28	35.06	10.10	148.76	159.19	15.77
2014-06-30	94.42	3.74	0.11	188.83	20.36	16.58	6.60	7.13	2.82	0.21	15.08	14.68	0.27	188.83	178.69	3.05
2014-07-31	20.83	1.28	0.72	72.14	9.51	8.53	0.70	1.19	0.30	0.00	5.88	4.79	1.14	72.14	74.72	0.50
2014-08-31	15.51	1.26	0.60	82.57	7.94	1.94	0.27	2.36	0.39	0.61	2.30	7.04	1.25	82.57	77.75	0.10
2014-09-30	35.41	5.70	0.19	102.65	27.29	43.41	5.95	32.76	14.06	0.04	24.97	15.16	0.00	102.65	130.24	1.36
2014-10-31	59.12	27.47	9.59	132.88	36.43	76.83	22.10	79.30	42.21	1.41	52.14	39.58	7.09	132.88	138.64	16.37
2014-11-30	101.42	61.99	17.43	130.91	55.13	133.97	32.16	114.04	33.91	0.65	103.90	54.31	11.43	130.91	149.22	31.73
2014-12-31	98.68	55.02	29.16	117.06	47.51	99.30	55.99	91.45	68.57	1.60	85.77	82.52	21.83	117.06	128.34	32.76
2015-01-31	102.60	43.31	35.96	124.00	59.18	113.68	54.32	77.85	47.96	18.17	76.12	50.82	27.99	124.00	118.12	28.21
2015-02-28	101.45	77.02	51.96	131.54	56.45	105.33	66.74	96.72	70.83	37.80	82.69	84.29	28.89	131.54	114.73	60.46
2015-03-31	137.06	99.88	56.34	173.02	103.83	121.35	106.78	109.35	130.26	65.29	124.23	123.66	41.85	173.02	148.86	78.10
2015-04-30	59.52	19.26	25.06	99.33	34.10	50.16	40.65	43.39	50.42	15.29	53.01	39.25	22.55	99.33	77.52	16.52
2015-05-31	90.48	51.50	32.63	132.39	49.19	84.64	51.49	98.89	66.40	25.77	75.56	78.38	29.87	132.39	129.68	37.00
2015-06-30	22.94	1.02	1.56	65.14	2.89	9.95	0.78	9.91	2.70	4.36	4.61	5.87	4.17	65.14	56.93	0.71
2015-07-31	36.03	16.28	7.02	113.02	11.03	33.95	9.54	22.78	10.65	10.39	20.07	15.81	6.72	113.02	121.11	8.79
2015-08-31	22.46	3.87	1.33	74.73	2.93	5.00	1.46	10.16	0.72	0.00	3.24	7.93	1.56	74.73	103.06	0.55
2015-09-30	21.70	3.29	0.00	124.07	3.40	12.59	1.45	13.57	4.01	0.00	6.36	7.42	0.00	124.07	142.07	0.86
2015-10-31	30.24	11.00	9.55	74.60	11.56	22.24	13.66	25.06	19.07	2.68	17.97	23.85	10.00	74.60	79.26	0.98
2015-11-30	53.63	23.99	15.82	82.40	45.51	75.33	28.96	51.26	37.09	2.33	52.86	39.27	16.53	82.40	77.20	4.93
2015-12-31	154.22	78.78	52.67	197.19	60.19	121.89	104.52	127.05	114.09	12.04	103.01	84.21	48.23	197.19	210.50	38.47
2016-01-31	80.57	55.10	24.15	139.89	52.18	137.13	37.21	76.97	32.84	15.72	79.18	42.09	21.83	139.89	131.42	23.15
2016-02-29	114.88	113.50	41.03	151.08	71.40	148.48	90.74	129.33	154.01	32.80	104.83	119.15	29.99	151.08	166.19	70.53
2016-03-31	138.25	139.55	56.50	203.36	96.21	165.95	94.14	147.47	122.04	69.64	130.01	140.94	43.63	203.36	206.33	87.04
2016-04-30	51.52	14.08	17.73	90.93	30.51	37.86	29.74	39.51	28.02	8.03	35.98	32.95	18.83	90.93	72.47	9.08
2016-05-31	22.93	3.46	0.85	84.12	3.99	4.37	1.75	6.17	1.74	1.45	5.73	7.18	1.61	84.12	78.55	1.77

2016-06-30	22.69	1.48	1.18	72.84	7.42	24.32	4.87	8.98	2.62	1.91	15.12	2.24	1.56	72.84	62.55	1.60
2016-07-31	11.26	1.82	2.28	67.32	1.72	0.17	1.25	2.92	0.96	3.17	1.50	4.12	1.56	67.32	63.32	1.32
2016-08-31	14.04	0.51	2.31	38.61	1.68	6.94	0.97	12.54	1.12	0.85	3.76	6.66	2.27	38.61	55.84	0.19
2016-09-30	22.25	6.86	5.93	50.15	12.35	29.50	8.69	16.86	13.30	2.61	19.03	18.12	5.77	50.15	66.22	1.57
2016-10-31	48.31	6.82	14.10	59.42	18.05	39.57	20.25	43.18	20.01	0.39	35.21	21.03	13.99	59.42	69.80	0.78
2016-11-30	66.42	7.85	3.93	100.25	19.65	57.91	12.19	72.04	12.98	2.32	55.73	21.57	3.06	100.25	113.96	5.45
2016-12-31	197.98	116.02	69.22	178.57	103.57	200.73	112.98	233.40	135.41	48.88	183.23	149.57	50.01	178.57	222.21	77.78
2017-01-31	144.02	127.58	46.74	132.25	72.53	181.60	73.63	171.67	108.05	27.74	137.86	111.96	32.20	132.25	189.41	82.48
2017-02-28	107.25	120.71	46.03	115.86	74.41	182.24	91.75	134.03	94.77	36.39	121.62	113.72	36.45	115.86	115.30	85.45
2017-03-31	216.52	230.99	123.55	235.72	160.58	262.05	197.00	240.52	202.33	93.11	213.67	217.10	83.99	235.72	228.90	163.16
2017-04-30	53.86	19.41	13.09	89.86	34.09	56.03	40.58	45.76	40.37	4.66	51.21	43.07	11.44	89.86	71.24	8.11
2017-05-31	49.70	40.26	13.12	81.05	16.43	57.49	20.23	68.82	26.38	8.45	34.93	39.04	9.27	81.05	78.66	24.01
2017-06-30	18.56	10.64	0.67	82.76	4.54	18.34	2.64	14.76	3.33	1.92	12.20	7.60	1.25	82.76	77.42	4.48
2017-07-31	24.75	3.19	3.25	85.64	4.23	4.97	3.33	9.41	2.74	3.07	5.43	6.36	3.50	85.64	79.48	2.75
2017-08-31	21.13	15.52	2.70	53.99	9.50	25.58	5.88	19.42	4.09	1.27	16.09	10.68	2.48	53.99	72.32	8.12
2017-09-30	31.47	13.73	6.66	74.09	17.41	39.91	15.06	31.61	15.67	0.90	26.81	21.31	5.41	74.09	80.20	6.16
2017-10-31	94.92	56.93	19.76	133.15	37.96	81.99	45.51	100.60	52.87	1.62	83.14	66.83	16.31	133.15	148.94	17.42
2017-11-30	70.16	14.72	17.86	62.28	28.84	68.11	25.43	66.45	30.10	0.05	53.31	33.08	14.26	62.28	71.06	4.25
2017-12-31	136.70	74.97	26.58	117.20	67.94	168.00	48.57	137.03	44.01	0.75	127.68	71.83	18.56	117.20	127.68	30.04

Datos corregidos de GPM

Fecha	OCR	CHA	SHI	CAS	SHI	COR	SAN	CAÑ	PUR	SHA	HUA	POM	PAS	NEP	TIN	QUI
2014-04-30	6.53	99.20	19.56	22.82	75.36	37.29	58.18	45.96	38.28	88.31	12.12	71.93	48.39	19.82	75.36	76.77
2014-05-31	23.01	91.88	34.04	26.10	53.91	26.63	63.81	50.52	60.83	36.04	8.62	75.66	39.47	11.98	53.91	45.13
2014-06-30	0.94	39.25	5.46	0.34	13.47	7.12	25.96	12.23	19.84	0.79	0.07	40.00	8.11	1.27	13.47	3.57
2014-07-31	0.86	29.77	3.24	0.59	1.47	3.95	17.30	3.87	9.54	0.87	0.16	16.48	4.63	1.17	1.47	1.34
2014-08-31	0.97	11.90	1.44	0.57	0.82	1.57	8.38	1.10	2.87	0.83	0.19	7.40	0.68	1.13	0.82	0.42
2014-09-30	5.71	23.35	15.75	1.89	16.77	22.31	40.51	14.82	34.89	15.40	0.77	36.62	28.64	5.97	16.77	16.94
2014-10-31	16.77	53.60	42.33	9.60	39.55	25.78	76.61	27.09	67.89	41.88	4.66	63.59	40.01	9.34	39.55	44.96
2014-11-30	34.55	81.54	62.50	18.51	46.93	43.74	118.03	41.60	102.54	47.37	13.36	79.73	63.50	15.46	46.93	53.52
2014-12-31	32.17	94.26	52.91	27.20	78.12	46.44	94.17	67.90	90.94	69.78	11.97	75.14	71.95	25.47	78.12	67.03
2015-01-31	27.25	76.50	36.98	27.61	69.34	55.66	71.59	68.09	54.03	51.51	19.83	69.54	51.66	28.81	69.34	49.95
2015-02-28	58.13	85.59	80.28	40.86	84.87	53.31	111.61	77.09	107.29	79.93	45.48	85.56	87.82	36.81	84.87	80.64
2015-03-31	71.66	107.32	84.21	57.14	117.55	82.72	107.08	107.74	108.71	122.41	53.92	105.89	106.93	55.61	117.55	119.34
2015-04-30	15.63	66.81	20.58	25.11	55.70	36.07	50.40	54.38	40.87	60.22	16.10	61.36	34.62	23.71	55.70	54.00
2015-05-31	34.89	120.30	50.79	30.31	91.93	45.67	87.74	88.32	85.22	96.15	23.33	99.13	70.96	29.92	91.93	80.51
2015-06-30	1.66	28.22	5.38	0.41	9.65	2.83	24.16	9.30	19.26	6.39	0.13	14.21	7.52	0.87	9.65	5.54
2015-07-31	7.70	49.13	15.52	2.78	13.23	11.69	39.93	9.96	38.58	11.27	2.19	36.81	18.32	2.81	13.23	12.13
2015-08-31	1.88	7.89	5.72	1.20	1.60	1.72	16.57	1.43	12.00	2.92	0.45	8.17	6.18	1.50	1.60	2.63
2015-09-30	5.43	29.41	9.63	0.49	9.32	5.08	23.61	7.66	22.73	3.08	0.12	28.54	9.17	1.79	9.32	7.12
2015-10-31	6.06	35.47	17.97	8.30	35.36	17.16	29.21	20.67	25.95	41.26	4.41	33.05	23.20	7.62	35.36	45.05
2015-11-30	8.48	62.47	32.13	13.35	47.19	43.61	71.82	39.99	58.82	45.86	7.48	58.64	44.24	14.56	47.19	49.50
2015-12-31	37.85	163.09	82.62	43.96	175.48	65.91	116.54	116.41	117.38	212.73	23.15	108.81	86.48	77.64	175.48	164.84
2016-01-31	30.25	69.89	52.16	22.67	50.53	51.61	116.27	51.54	87.18	59.04	16.75	79.52	76.51	23.02	50.53	52.75
2016-02-29	60.47	129.72	89.85	44.26	122.50	78.00	133.87	101.06	143.08	117.24	34.85	101.52	121.86	41.23	122.50	107.57
2016-03-31	73.43	123.17	97.89	63.94	111.30	80.50	138.67	102.24	134.92	111.44	56.94	120.79	111.16	53.68	111.30	125.26
2016-04-30	7.86	55.89	16.75	15.63	40.82	27.42	47.70	35.09	31.39	33.08	10.08	53.47	24.30	18.69	40.82	39.82

2016-05-31	1.31	19.40	0.92	2.34	4.53	4.27	14.01	3.61	6.33	2.85	0.21	21.14	3.35	1.75	4.53	3.26
2016-06-30	2.97	33.75	7.81	3.15	10.03	9.53	34.44	10.16	35.43	4.72	0.76	60.74	9.28	2.88	10.03	5.98
2016-07-31	0.50	2.55	2.11	0.29	0.36	0.38	12.68	0.40	6.55	0.39	0.09	9.08	2.33	0.45	0.36	0.69
2016-08-31	2.43	8.40	7.12	1.47	2.76	2.55	22.87	2.79	14.62	4.00	0.60	17.11	7.50	1.60	2.76	4.76
2016-09-30	4.70	25.14	8.84	4.66	14.53	18.12	27.90	13.13	32.82	27.30	1.91	35.75	16.08	6.15	14.53	22.29
2016-10-31	5.92	52.84	17.02	11.72	29.95	22.50	43.97	28.10	43.51	28.72	5.15	55.38	26.06	12.54	29.95	31.15
2016-11-30	9.55	31.34	25.23	5.88	17.17	21.94	66.02	15.30	51.62	12.26	4.17	52.14	24.94	9.24	17.17	16.88
2016-12-31	75.44	161.56	103.78	61.95	126.02	93.40	180.25	115.07	182.86	133.44	47.24	162.88	124.64	51.10	126.02	141.21
2017-01-31	85.66	150.40	123.20	45.84	123.10	81.82	175.41	111.84	169.27	149.04	33.34	158.15	130.28	36.43	123.10	136.93
2017-02-28	77.98	122.86	107.55	46.95	105.63	74.39	154.49	89.69	135.45	102.01	36.86	128.48	117.47	40.61	105.63	106.67
2017-03-31	190.05	225.09	208.26	129.13	230.10	145.51	232.88	233.87	223.47	237.88	109.13	200.23	210.62	138.97	230.10	226.11
2017-04-30	16.06	86.89	24.33	14.86	65.60	40.06	73.47	57.78	54.38	53.19	7.41	75.67	47.80	13.98	65.60	56.96
2017-05-31	30.37	92.70	46.76	12.32	58.44	28.47	79.37	51.59	74.81	48.13	9.02	108.80	64.85	10.87	58.44	53.58
2017-06-30	10.82	38.26	14.32	2.30	14.29	6.71	38.76	13.10	27.33	12.36	1.38	50.10	14.64	1.80	14.29	12.63
2017-07-31	3.26	7.61	4.71	4.43	3.54	2.23	15.17	5.32	9.72	3.07	5.31	8.60	5.17	4.60	3.54	3.71
2017-08-31	9.15	30.17	16.74	3.82	10.22	12.37	32.03	9.37	26.55	9.18	2.06	24.52	15.99	3.91	10.22	11.33
2017-09-30	12.49	45.93	19.05	6.49	34.08	21.68	45.32	26.46	35.50	25.65	3.29	38.68	28.62	6.41	34.08	30.37
2017-10-31	26.91	115.54	58.68	19.51	90.86	48.26	98.11	72.39	95.02	103.44	9.37	121.63	80.54	17.54	90.86	117.29
2017-11-30	9.89	52.97	26.85	15.65	34.50	30.50	73.80	29.45	66.32	36.34	6.83	64.83	42.17	13.42	34.50	39.41
2017-12-31	34.91	84.18	70.99	22.47	58.91	53.56	129.43	62.52	108.10	71.19	13.31	109.40	79.51	19.53	58.91	73.00

ANEXO 7

DATOS DE TEMPERATURA MENSUAL

CORREGIDOS

Estaciones	TIN	QUI	NEP	PAS	POM	HUA	SHA	PUR	CAN	SAN	COR	SHI	CAS	CHI	CHA	OCR
2012-01-31	17.65								18.65							
2012-02-29	17.74								18.76			13.84				
2012-03-31	18.71	9.33		7.42	14.45	14.69	15.24	11.94	19.72	16.76	12.59	14.81	26.1	12.68	8.85	11.4
2012-04-30	18.26	8.8		7.02	14.18	14.56	14.69	11.57	19.32	16.64	12.11	14.36	25.81	12.33	8.46	11.07
2012-05-31	18.93	9.62		8.06	14.5	13.51		12.1	20.01	16.75	13.29	15.03	25.84	13.12	8.98	11.72
2012-06-30	18.37	8.99		7.52	13.68	13.12		11.38	19.53	15.97	13.02	14.47	25.6	12.51	8.19	11.41
2012-07-31	18.18	8.64	20.18	7.45	13.32	12.45	14.79	11.03	19.51	15.65	12.94	14.28	25.35	12.36	7.87	11.37
2012-08-31	18.36	8.86	19.67	7.68	13.84	11.64	14.91	11.41	19.69	16.31	13.19	14.46	24.89	12.64	8.28	11.33
2012-09-30	18.75	9.3	19.87	8.11	14.13	11.51	15.35	11.8	20.06	16.6	13.58	14.85	25.16	13.07	8.62	11.8
2012-10-31	18.78	9.71	19.1	8.1	14.65	11.04	15.55	12.3	19.81		13.21	14.88	24.22	13.09	9.09	11.17
2012-11-30	18.67	9.49	19.34	7.74	14.91	11.94	15.22	12.38	19.76		12.65	14.77	24.36	12.97	9.15	11.05
2012-12-31	18.52	9.23	19.61	7.19	14.95	12.83	14.87	12.26	19.68		12.04	14.62	24.43	12.45	9.11	10.7
2013-01-31	18.79	9.55	20.43	7.83	14.83	13.65	15.38	12.32	19.82	17.35	13.1	14.89	25.4	13.04	9.09	11.2
2013-02-28	18.58	9.22	20.51	7.05	14.91	14.77	14.93	12.14	19.56	17.35	11.9	14.68	25.44	12.48	9.09	10.96
2013-03-31	18.76	9.18	21.17	7.41	14.65	15.3	15.06	12.09	19.94	17.25	12.56	14.86	26.33	12.87	8.89	11.77
2013-04-30	19.01	9.31	20.79	7.95	14.76	13.8	15.34	12.02	20.35	17.07	13.56	15.11	26.15	13.2	8.93	12.22
2013-05-31	18.95	9.85	19.55	8.05	14.82	11.98	15.69	12.35	19.96	17.08	13.39	15.05	24.68	13.06	9.24	11.27
2013-06-30	18.41	9.01	19.71	7.7	13.59	11.55	15.1	11.36	19.72	15.86	13.1	14.51	24.85	12.65	8.16	11.53
2013-07-31	17.48	7.82	19.29	6.77	12.48	11.22	14.03	10.21	18.93	14.89	12.18	13.58	24.62	11.76	7.04	11.18
2013-08-31	18.21	8.72	19.3	7.47	13.42	11	14.81	11.1	19.64	15.74	13.05	14.31	24.44	12.45	7.94	11.43
2013-09-30	18.69	9.21	19.54	8.01	14.09	11.26	15.26	11.68	20.08	16.45	13.64	14.79	24.78	13.05	8.54	11.84
2013-10-31	18.51	9.05	19.27	7.85	14.25	11.22	15	11.83	19.85	16.89	13.06	14.61	24.6	13.05	8.54	11.52
2013-11-30	18.75	9.65	18.73	7.51	15.21	11.27	15.27	12.4	19.82	17.52	12.34	14.85	23.66	12.62	9.4	10.81
2013-12-31	18.45	9.33	19.37	7.33	14.8	12.23	15.03	12.11	19.43	17.19	12.41	14.55	24.31	12.49	8.98	10.6
2014-01-31	18.19	8.87	20.37	6.95	14.28	14.16	14.66	11.76	19.23	16.94	12.22	14.29	25.3	12.28	8.51	10.82
2014-02-28	18.17	8.74	20.55	6.85	14.38	14.35	14.54	11.73	19.23	17.02	12.19	14.27	25.58	12.28	8.5	11
2014-03-31	18.09	8.64	20.62	6.78	14.15	14.62	14.45	11.65	19.18	16.88	11.76	14.19	25.57	12.23	8.38	11

2014-04-30	18.96	9.43	20.97	7.94	14.61	13.96	15.44	12.05	20.16	16.92	13.34	15.06	26.23	13.15	8.92	12.06
2014-05-31	18.57	9.26	20.33	7.69	14.67	13.13	15.13	12.01	19.64	17.05	13.05	14.67	25.33	12.83	8.85	11.24
2014-06-30	18.71	9.24	20.65	7.92	14.17	13	15.33	11.66	19.92	16.39	13.55	14.81	25.81	12.89	8.58	11.78
2014-07-31	18.51	8.63	20.73	7.72	13.53	12.75	14.89	11.08	20.09	15.8	13.42	14.61	26.1	12.86	7.96	12.38
2014-08-31	18.21	8.38	20.23	7.33	13.39	12.35	14.57	10.89	19.75	15.77	13.12	14.31	25.57	12.43	7.79	11.88
2014-09-30	18.66	8.97	19.82	7.81	14.34	11.7	14.99	11.72	20.1	16.88	13.44	14.76	25.27	12.92	8.6	11.89
2014-10-31	18.75	9.27	19.72	7.91	14.5	11.77	15.24	11.92	20.02	16.89	13.4	14.85	25.11	13.03	8.78	11.87
2014-11-30	18.84	9.83	19.01	7.76	15.16	11.72	15.48	12.57	19.81	17.59	12.54	14.94	23.93	12.85	9.48	10.85
2014-12-31	18.74	9.62	19.53	7.61	14.99	12.51	15.32	12.42	19.74	17.42	12.71	14.84	24.51	12.83	9.25	10.96
2015-01-31	18.24	8.9	20.25	7.15	14.14	13.51	14.77	11.67	19.3	16.62	12.43	14.34	25.32	12.42	8.41	11.02
2015-02-28	18.45	9.17	20.64	7.02	14.69	14.55	14.91	12.03	19.4	17.13	12.19	14.55	25.55	12.34	8.89	10.98
2015-03-31	18.04	8.49	20.95	6.76	14.06	14.89	14.37	11.46	19.12	16.71	11.99	14.14	26.08	12.24	8.23	11.07
2015-04-30	18.46	8.84	21.28	7.45	13.97	14.49	14.91	11.52	19.67	16.46	12.91	14.56	26.51	12.66	8.31	11.81
2015-05-31	18.67	9.18	21.18	7.74	14.18	14.15	15.23	11.78		16.63	13.15	14.77	26.25	12.86	8.55	11.9
2015-06-30	18.23	8.59	21.14	7.45	13.26	13.98	14.82	11.03		15.68	12.73	14.33	26.39	12.58	7.79	12.07
2015-07-31	18.33	8.58	20.68	7.49	13.61	13.12	14.77	11.07		15.88	13.33	14.43	25.96	12.56	7.96	12.01
2015-08-31	18.91	9.21	20.67	8.05	14.15	12.73	15.37	11.65		16.42	13.94	15.01	26.01	13.1	8.54	12.46
2015-09-30	19.48	9.93	20.77	8.68	14.98	12.8	15.99	12.44		17.32	14.4	15.58	26.09	13.73	9.35	12.54
2015-10-31	19.54	10.1	20.4	8.64	15.43	12.62	16.02	12.77		17.81	14.26	15.64	25.78	13.72	9.71	12.36
2015-11-30	19.48	10.41	19.89	8.6	15.79	12.3	16.13	13.19		18.22	13.6	15.58	24.98	13.67	10.01	11.78
2015-12-31	19.55	10.02	21.49	8.61	15.28	14.29	16.05	12.65		17.64	14.33	15.65	26.79	13.79	9.5	12.7
2016-01-31	19.59	10.41	21.08	8.34	15.94	14.61	16.16	13.16		18.32	13.53	15.69	25.99	13.53	10.09	11.91
2016-02-29	19.13	9.67	21.91	7.9	15.12	15.65	15.56	12.47		17.61	13.39	15.23	26.89	13.27	9.31	12.02
2016-03-31	19.58	10.17	22.06	8.38	15.45	15.62	16.08	12.9		17.91	13.82	15.68	27.1	13.64	9.71	12.55
2016-04-30	19.38	10.04	21.45	8.41	15.08	14.49	16	12.63		17.45	13.82	15.48	26.54	13.57	9.41	12.37
2016-05-31	19.56	9.99	21.43	8.59	14.97	14.22	16.06	12.47	20.88	17.23	14.21	15.66	26.62	13.76	9.36	12.9
2016-06-30	18.06	8.43	20.44	7.3	13.11	12.87	14.64	10.83	19.41	15.44	12.77	14.16	25.74	12.37	7.62	11.8
2016-07-31	17.97	8.22	20.25	7.12	13.06	12.55	14.44	10.63	19.44	15.38	13.01	14.07	25.54	12.16	7.49	11.74

2016-08-31	18.84	9.18	20.53	8.02	14.1	12.53	15.31	11.63	20.31	16.41	13.86	14.94	25.75	13.05	8.52	12.25
2016-09-30	18.8	9.17	20.27	8.03	14.15	12.18	15.27	11.75	20.22	16.57	13.66	14.9	25.63	13.15	8.54	12.38
2016-10-31	18.55	9.11	19.53	7.71	14.72	11.84	14.96	11.99	19.86	17.34	13.03	14.65	24.57	12.82	8.84	11.39
2016-11-30	19.25	10.29	19.3	8.14	15.68	11.97	15.91	13.01	20.19	18.03	12.85	15.35	24.19	13.21	9.93	11.33
2016-12-31	18.22	9.04	19.61	7.15	14.42	12.93	14.75	11.96	19.24	17.01	11.89	14.32	24.47	12.45	8.71	10.54
2017-01-31	17.56	8.27	20.03	6.11	13.79	14.27	14.02	11.17	18.52	16.36	11.26	13.66	24.88	11.54	7.96	10.17
2017-02-28	17.58	8.08	21.14	6.13	13.74	15.83	13.86	11.21	18.65	16.54	10.97	13.68	25.88	11.79	7.9	10.52
2017-03-31	17.73	8.13	21.52	6.18	13.92	16.08	13.94	11.25	18.85	16.65	11.34	13.83	26.23	11.8	8.01	10.72
2017-04-30	18.63	9.28	21.17	7.57	14.44	14.53	15.2	12.03	19.69	16.95	12.76	14.73	26.14	12.84	8.73	11.7
2017-05-31	18.74	9.51	20.45	7.85	14.52	13.18	15.42	12.11	19.78	16.93	13.05	14.84	25.5	12.98	8.88	11.57
2017-06-30	18.5	9.2	20.05	7.68	13.93	12.38	15.21	11.67	19.69	16.36	13.15	14.6	25.1	12.67	8.42	11.57
2017-07-31	17.77	8.06	20.19	7.12	12.62	12.49	14.33	10.46	19.2	15.04	12.41	13.87	25.53	12.24	7.2	11.91
2017-08-31	18.48	8.89		7.81	13.84	11.85	15	11.44	19.88	16.25	13.54	14.58	25.36	12.94	8.21	12.06
2017-09-30	18.87	9.26		8.21	14.26	11.71	15.34	11.83	20.33	16.64	13.87	14.97	25.29	13.39	8.64	12.3
2017-10-31	19.13	9.61		8.31	14.91	11.81	15.57	12.31	20.49	17.33	13.81	15.23	25.11	13.49	9.16	12.2
2017-11-30	18.46	9.39		7.72	14.66	10.99	15.13	12.17	19.58	17.27	12.73	14.56	23.61	12.79	8.93	10.9
2017-12-31	18.05	8.78		7.19	14.21	12.56	14.59	11.75	19.2	17.05	12.36	14.15	24.5	12.43	8.36	10.84